

Diplomarbeit

Einfluss der Energieverbrauchskosten eines Gebäudes auf das Kostenoptimalitätsniveau

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

Diploma Thesis

Impact of a building's energy consumption costs on the cost optimality level

Submitted in satisfaction of the requirements for the degree of
Diplom-Ingenieur / Diplom-Ingenieurin
of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

von

Hashem Matouri

Matr.Nr.: 01328599

Betreuung: Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Thomas Bednar**
Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie
Forschungsbereich Bauphysik
Technische Universität Wien,
Karlsplatz 13/207-02, 1040 Wien, Österreich

Wien, im Mai 2024

Kurzfassung

Aufgrund der geringen Austauschrate bestehender Gebäude in EU-Ländern, In diesem Zusammenhang ist die energetische Sanierung bestehender Gebäude zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen unerlässlich. Darüber hinaus die steigende Anzahl an modernen Gebäuden und die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von neuen Gebäuden, der Gebäudesektor spielt eine entscheidende Rolle bei der Erreichung der Energie- und Umweltziele. Angesichts der Bemühungen im Bereich der energetischen Bestandssanierung zur Reduzierung des Energieverbrauchs ist es von großer Bedeutung, den Einfluss wichtiger Parameter auf die benötigte Energiemenge und deren Auswirkungen auf das optimale Kostenniveau aufzuzeigen.

Ein zentraler Bestandteil dieser Arbeit ist die Untersuchung der Verbindung Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrücke in der Gebäudehülle zur Energieeffizienz des Gebäudes. Da der Einsatz hoher Dämmstärken, Mehrscheibenfenster unterschiedlichen Arten von Wärmebrücken in der finanziellen Planung und Umsetzung deutlich aufwändiger ist und hohe Anfangskosten erfordert, sind spezielle Maßnahmen erforderlich, um diese Arbeiten zu bewältigen und energieeffiziente Gebäude zu schaffen. Anschließend werden Lösungen für Gebäude mit optimalem Kostenniveau vorgestellt und der Zusammenhang zwischen Energieeffizienz und optimalem Kostenniveau untersucht.

Durch eine Variantenstudie werden theoretische Grundlagen und Erkenntnisse erprobt und angewandt. Konkret werden bauphysikalische Berechnungen an einem vordefinierten Gebäude durchgeführt, um Optimierungspotenziale aufzuzeigen.

Der Zweck dieser Studie besteht darin, die Einfluss der Energieverbrauchs-kosten auf das optimale Kostenniveau entsprechend den Veränderungen der wichtigsten Parameter zu analysieren, die ihn in einem frühen Stadium des Gebäudes beeinflussen. Dabei wurden drei Parameter - Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrücken - zur Untersuchung ausgewählt.

Abstract

The implementation of modern buildings and the energy retrofitting of existing buildings to reduce energy consumption and associated greenhouse gas emissions is one of the major challenges for construction engineers. The main parameters affecting the amount of energy consumption (thickness of insulation, type of window and thermal bridges) - if not designed correctly - not only fail to save energy but also result in significant capital loss, making it difficult to comply with the Directive on the Energy Performance of Buildings.

The primary focus of research is on the impact of key parameters on energy consumption and their relationship with the overall energy consumption of buildings. Achieving energy-efficient buildings requires careful consideration of the appropriate ratio of insulation thickness, window type, and thermal bridges in the building envelope during the design and construction phases. Consequently, specific measures will be discussed to determine the optimal selection and interaction of these factors in energy consumption to achieve the highest energy savings and optimal cost in construction.

Theoretical knowledge is applied through the analysis of the energy consumption across various insulation thicknesses, window types, and thermal bridge configurations. To facilitate this analysis, a model building will be selected. Specific calculation and investigation methods from the field of building physics will be employed to identify potential areas for optimization.

The findings of this article aim to assist employers and building designers in assessing the effective utilization of various parameters to adhere to existing guidelines on building energy performance while optimizing costs. Therefore, it is crucial to apply this knowledge during the initial stages of projects to enhance the energy efficiency and cost-effectiveness of buildings.

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit eidesstattlich, dass ich folgende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken oder Formulierungen sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher an keiner anderen Bildungsinstitution vorgelegt und ist noch nicht veröffentlicht.“

Wien, am 31.05.2024**Unterschrift**

Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all Jenen bedanken, die mich im Laufe meiner Ausbildung unterstützt, begleitet und geprägt haben sowie während der Erstellung dieser Arbeit an meiner Seite gestanden haben.

Besonders möchte ich mich bei meinem Diplomarbeits-Betreuer von technische Universität Wien, Herrn Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar bedanken, der mit seiner fachlichen Kompetenz stets eine große Unterstützung darstellte und mir darüber hinaus interdisziplinäre Ansätze bzw. Ideen mit auf den Weg gab.

Zum Abschluss möchte ich mich bei meiner Familie und meinen engen Freunden bedanken, die mir mit ihrer uneingeschränkten Unterstützung diese Ausbildung ermöglicht haben und stets an meiner Seite waren.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung und Zielsetzung.....	1
1.1	Bedeutung von Zielen.....	1
1.2	Allgemeine Problemstellung und Relevanz	2
1.3	Forschungsfrage.....	3
2	Grundlagen.....	4
2.1	Kurze Erläuterung der verwendeten Begriffe in der Arbeit.....	4
2.1.1	Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):(10)(11).....	4
2.1.2	Heizwärmebedarf (HWB):(10)(12)	5
2.1.3	Heizenergiebedarf (HEB)(12)	6
2.1.4	Endenergiebedarf (EEB)(12).....	6
2.1.5	Primärenergiebedarf (PEB)(12).....	6
2.1.6	Heizlast (10)(13)	6
2.1.7	Dämmstoffe (14)	7
2.1.8	Fenster	14
2.1.9	Wärmebrücke.....	17
2.1.10	CO ₂ -Emissionen.....	20
2.1.11	Klimaszenarien	24
2.1.12	RCP-Szenarien	25
2.1.13	Kosten	28
2.1.14	Wärmepumpen (31).....	34
2.2	Beschreibung des untersuchten Gebäudes	37
2.2.1	Standortinformationen	37
2.2.2	Geographische und klimatische Daten	38
2.2.3	Beschreibung des Projektes und des Systemkonzeptes	39
3	Untersuchungsmethodik.....	55
3.1	Gebäudemodell mit IDA-ICE	55
3.1.1	Programmbeschreibung.....	55
3.2	Meteonorm Software (Meteonorm-Datensatz)(36)	55
3.3	Berechnungsverfahren	56
3.3.1	Modellierung des Gebäudes und Vergleich mit den Realmessdaten	56
3.3.2	Modellparameter und Annahmen	57
3.4	Energiebilanz des Gebäudes.....	66

Inhaltsverzeichnis	Seite V
3.4.1 Gesamtenergiebilanz	66
3.4.2 Energiebilanz.....	67
3.4.3 Heizwärmebedarf und Heizleistung.....	69
3.5 Variantenstudie.....	70
3.5.1 Varianten	70
3.5.2 Nachweisverfahren	71
3.5.3 Heizsystemen – Heizkessel.....	78
3.5.4 Heizsystemen – Wärmepumpe	92
4 Ergebnisse	101
4.1 Einfluss des Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrücken auf den Energieverbrauch	101
4.1.1 Einfluss des Dämmstärke – Variante A – Typ A-1.....	101
4.1.2 Einfluss des Fenstertyp – Variante B – Typ B-1 bis Typ B-3.....	103
4.1.3 Einfluss des Wärmebrücken – Variante C – Typ C-1 bis Typ C-4	108
4.2 Untersuchung des Einflusses des Energiepreises auf das optimale Kostenniveau im Bereich des Gebäudebaus	109
4.2.1 Optimales Kostenniveau entsprechend der Änderung der Dämmstärke	109
4.2.2 Optimales Kostenniveau entsprechend der Änderung der Fenstertyp	111
4.2.3 Variantenmanagement für Dämmstärke und Fenstertyp	112
4.3 Variantenmanagement mit der Wärmepumpe	114
4.4 Vergleichung der Wärmeerzeuger Typ	116
5 Schlussfolgerung	119
6 Quellenverzeichnis	120

1 Einführung und Zielsetzung

1.1 Bedeutung von Zielen

Insgesamt entfallen auf Gebäude in der EU 40 % des Energieverbrauchs und 36 % der Treibhausgasemissionen. Dies verteilt sich vor allem auf die Phasen Bau, Nutzung, Renovierung und Abriss.(1)

Heute kann bei rund 75 % des Gebäudebestands in der EU von Energieeffizienz kaum die Rede sein. Ein Großteil der Energie wird somit verschwendet. Um diesen Energieverlust zu minimieren, wäre es erforderlich, Verbesserungen an bestehenden Gebäuden vorzunehmen und beim Bau neuer Häuser intelligente Lösungen und energieeffiziente Materialien einzusetzen.(1)

So wäre es durch die Renovierung bestehender Gebäude möglich, den Gesamtenergieverbrauch in der EU um 5-6 % zu senken und die CO₂-Emissionen, um rund 5 % zu verringern. Durchschnittlich wird jedoch jährlich weniger als 1 % des nationalen Gebäudebestands renoviert.(1)

Aufgrund der geringen Austauschrate bestehender Gebäude sind die meisten Gebäude im Jahr 2050 bereits gebaut. In diesem Zusammenhang ist die energetische Sanierung bestehender Gebäude zur Reduzierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen unerlässlich und steht daher im Mittelpunkt der politischen Agenda

Ab 2021 schreibt die EU-Richtlinie 2018 zur Änderung der Richtlinie 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und der Richtlinie 2012 über Energieeffizienz vor, dass alle neuen Gebäude Niedrigstenergiegebäude (NZEB) sein müssen (EK, 2018).(2)

Der Gebäudesektor ist von entscheidender Bedeutung für die Erreichung der Energie- und Umweltziele der EU. Gleichzeitig werden bessere und energieeffizientere Gebäude die Lebensqualität der Bürger verbessern und die Energiearmut lindern, während sie der Wirtschaft und der Gesellschaft zusätzliche Vorteile wie Gesundheit, besseren Innenraumkomfort und grüne Arbeitsplätze bringen. (2)

Ziel dieser Studie ist es, Einfluss der Energieverbrauchskosten eines Gebäudes auf Kostenoptimalitätsniveau im wirtschaftlichen Lebenszyklus des Gebäudes in einem frühen Stadium zu untersuchen.

1.2 Allgemeine Problemstellung und Relevanz

Durch intelligente Konstruktionen kann unsere gebaute Umwelt einen großen Beitrag zur Erreichung von nationalen sowie internationalen Klimaschutzziele leisten. Ressourceneffiziente Gebäude haben durch ihre Energie- und Materialeffizienz minimale negative Auswirkungen auf ihre Umwelt. (3)

Diese Bedeutung wird noch deutlicher, wenn man bedenkt, dass über 27 % [Abbildung 1] des österreichischen Endenergiebedarfs für die Bereitstellung von Warmwasser sowie zur Heizung und Kühlung des Gebäudesektors anfällt und somit für einen wesentlichen Teil des CO₂-Ausstoßes verantwortlich ist. (3)

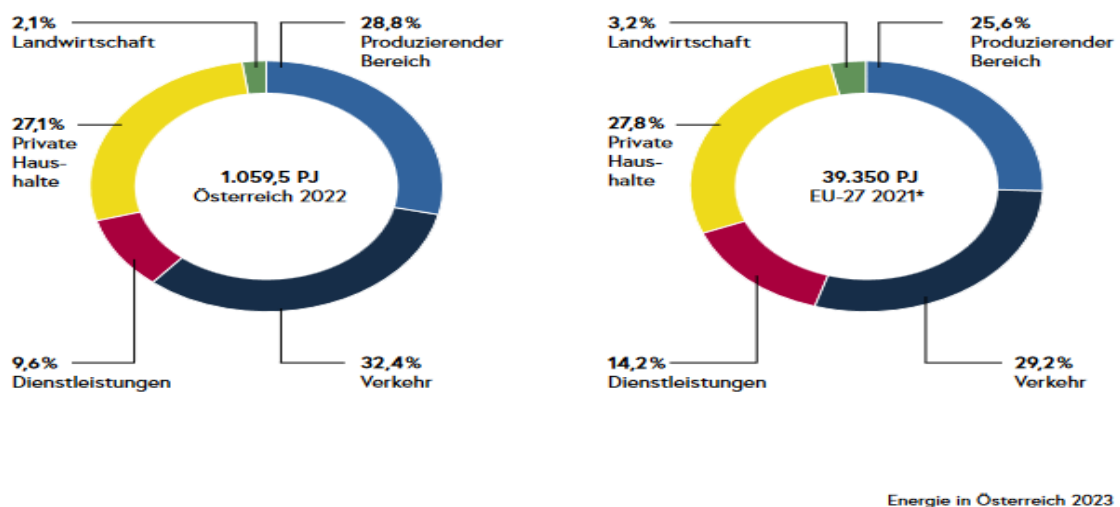


Abbildung 1: Struktur des energetischen Endverbrauches in Österreich und EU-27 nach wirtschaftlichen Sektoren in Prozent. (4)

Der Einfluss der Energiepreise auf kostenoptimale Niveaus wurde in mehreren Studien untersucht.

Beispielsweise wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um den Einfluss der Entwicklung der Erdgas- und Strompreise auf die Ergebnisse einer Studie zur Ermittlung kostenoptimaler Niveaus für die energetische Sanierung eines Wohngebäudebestands zu untersuchen. (5) Eine andere Studie ergab, dass Energiekosten und Abzinsungssatz die optimalen Pakete von Energieeffizienzmaßnahmen beeinflussen. (6) Auch eine weitere Studie ergab, Optimale Dämmstärkengestaltung der Außenwände und Sanierungskosten zur Verbesserung der Energieeffizienz. (7)

Viele Studien zeigen, dass unter den energetischen Sanierungsmaßnahmen die thermische Verbesserung der Gebäudehülle die größten Vorteile im Hinblick auf einen geringeren Endenergieverbrauch und CO₂-Emissionen bietet. (7) Stattdessen wurde der gleichzeitige Einfluss mehrerer Parameter auf das optimale Kostenniveau weniger diskutiert.

Angesichts der Bemühungen im Bereich der energetischen Bestandssanierung zur Reduzierung des Energieverbrauchs ist es von großer Bedeutung, den Einfluss wichtiger Parameter auf die benötigte Energiemenge und deren Auswirkungen auf das optimale Kostenniveau aufzuzeigen.

Das kostenoptimale Niveau wird durch den Vergleich der Kosten und Einsparungen einer potenziellen Maßnahme ermittelt, beispielsweise der Einführung eines bestimmten Niveaus von Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden.(8)

Das kostenoptimale Niveau sollte innerhalb des Bereichs von Leistungsniveaus liegen, bei denen die über den geschätzten wirtschaftlichen Lebenszyklus berechnete Kosten-Nutzen-Analyse positiv ist.(9)

Der Zweck dieser Studie besteht darin, die Einfluss des Energiepreises auf das optimale Kostenniveau entsprechend den Veränderungen der wichtigsten Parameter zu analysieren, die ihn in einem frühen Stadium des Gebäudes beeinflussen. Dabei wurden drei Parameter - Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrücken - zur Untersuchung ausgewählt. Um den Fokus zu schärfen, werden nur die für diese Parameter erforderlichen Kosten berücksichtigt, während andere Kosten des Gebäudebaus als konstant angenommen werden. Für diese Studie wurde das Wiener sozialen Passivwohnbau, Utendorfgasse 7, untersucht.

1.3 Forschungsfrage

Diese Studie versucht, vier Fragen zu beantworten:

- 1) Wie wirken sich veränderte Parameter wie Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrücken auf den Energieverbrauch aus?
- 2) Wie ändern sich die Kosten durch Änderung der einzelnen Parameter (Kostenvergleich)?
- 3) Was betrifft die Kostenoptimierung bei konstantem Energieverbrauch über 30 Jahre?
- 4) Wie würde sich das optimale Kostenniveau in Bezug auf die CO₂-Emissionen in thermischen Kessel- und Wärmepumpensystemen über den Lebenszyklus eines Gebäudes gestalten?

2 Grundlagen

2.1 Kurze Erläuterung der verwendeten Begriffe in der Arbeit

2.1.1 Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):(10)(11)

Da im Bauwesen in der Regel unterschiedliche Werkstoffe mit unterschiedlichen Dicken eingesetzt werden (z. B. Mauerwerk mit Putzschichten, Holzkonstruktionen mit Dämmschichten und Verkleidungen), ist die Klassifizierung der Bauteile und die Quantifizierung von Wärmeverlusten durch alleinige Betrachtung des λ -Werts nicht möglich. Auf Grundlage der Wärmeleitfähigkeit und der Werkstoffdicken wird der U-Wert (Unit of heat-transfer) von Bauteilen errechnet (früher »K-Wert«). Hierbei handelt es sich um den Wärmedurchgangskoeffizienten, der darstellt, wie viel Wärmeenergie in Watt bei einer Temperaturdifferenz von einem Grad Kelvin durch ein Bauteil mit einer Fläche von einem Quadratmeter gelangt: $U \text{ [W/(m}^2\text{K)]}$. Neben der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke der Baustoffe fließt in den U-Wert auch der sog. Wärmeübergangswiderstand zwischen Bauteiloberfläche und angrenzender Luft im Innenbereich und im Außenbereich eines Bauteils mit ein.(11)

Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) gibt an, wie viel Wärme bei 1 Kelvin Temperaturdifferenz pro Zeiteinheit und Flächeneinheit im stationären Zustand durch einen Bauteil fließt. Üblicherweise wird in $\text{W/m}^2\text{K}$ angegeben.(10)

Bei Homogene Bauteile, der Wärmedurchgangswiderstand ist die Summe der Übergangswiderstände (R_s) und der Wärmedurchlasswiderstände (R_i) (10).

$$U = \frac{1}{R_T} \quad \text{Formel 2-1}$$

$$R_T = R_{si} + \sum_i^n R_i + R_{se} \quad \text{Formel 2-2}$$

U Wärmedurchgangskoeffizient in $\text{W/m}^2\text{K}$

R_T Wärmedurchgangswiderstand in $\text{m}^2\text{K/W}$

R_s Wärmeübergangswiderstand in $\text{m}^2\text{K/W}$

R_i Wärmedurchlasswiderstand einer Schichte i in $\text{m}^2\text{K/W}$

Der Wärmedurchlasswiderstand R einer Bauteilschicht ergibt sich aus der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke der Bauteilschicht.

Je größer der Wert für den Wärmedurchlasswiderstand eines Bauteils ist, umso besser seine wärmedämmende Eigenschaft.(10)

Der wärmedurchlasswiderstand einer Schicht ergibt sich aus: (10)

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \text{Formel 2-3}$$

R Wärmedurchlasswiderstand einer Schichte i in $\text{m}^2\text{K/W}$

D Dicke der Schichte in m

λ Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit in W/mK

Besteht ein Bauteil aus mehreren homogenen Schichten, so ergibt sich der Wärmedurchlasswiderstand aus der Summe der einzelnen Wärmedurchlasswiderstände: (10)

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n \quad \text{Formel 2-4}$$

$$R_t = \sum_i^n \frac{d_i}{\lambda_i} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad \text{Formel 2-5}$$

R_t Wärmedurchlasswiderstand in $\text{m}^2\text{K/W}$

n Anzahl der Schichten

Für eines Gebäudes oder Gebäudeteiles bei konditionierten Räumen wird ein Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) ermittelt, der bestimmten gesetzlichen Vorgaben genügen muss, um eine Baugenehmigung zu erhalten. Die OIB Richtlinie 6 beinhaltet die wärmetechnischen Anforderungen an die wichtigsten Außenbauteile eines Gebäudes. (12)

2.1.2 Heizwärmebedarf (HWB):(10)(12)

Bei der Bestimmung des Heizwärmebedarf wird die Wärmemenge ermittelt, die notwendig ist, um den beheizten Bereich wärmend eines durchschnittlich Jahres über der Mindestraumtemperatur zu halten.(10)

Der für den Nachweis maßgebliche Heizwärmebedarf wird in OIB-Richtlinie 6 als $\text{HWB}_{\text{Ref, RK}}$ (Referenz-Heizwärmebedarf) bezeichnet. Er wird ohne Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage berechnet.

Tabelle 1 : Für die grafische Darstellung in der Energieeffizienzskaala auf der ersten Seite des Energieausweises werden folgende Klassengrenzen festgelegt. (12)

Klasse	$\text{HWB}_{\text{Ref,SK}}$ [kWh/m ² a]	PEB_{SK} [kWh/m ² a]	$\text{CO}_{2\text{eq,SK}}$ [kg/m ² a]	$\text{f}_{\text{GEE,SK}}$ [-]
A++	10	60	8	0,55
A+	15	70	10	0,70
A	25	80	15	0,85
B	50	160	30	1,00
C	100	220	40	1,75
D	150	280	50	2,50
E	200	340	60	3,25
F	250	400	70	4,00
G	> 250	> 400	> 70	> 4,00

Die verpflichtende Angabe des Heizwärmebedarfes und des Gesamtenergieeffizienz-Faktors in Anzeigen in Druckwerken und elektronischen Medien gemäß Energieausweis-Vorlage-Gesetz 2012 bezieht sich auf die dem Labeling zugrundeliegenden Werte für den $\text{HWB}_{\text{Ref,SK}}$ und den $f_{\text{GEE,SK}}$ bzw. bei Gebäuden der Gebäudekategorie 13 auf den $\text{HWB}_{\text{Ref,SK}}$. (12)

2.1.3 Heizenergiebedarf (HEB)(12)

Beim Heizenergiebedarf werden zusätzlich zum Heiz- und Warmwasser -wärmebedarf die Verluste des gebäudetechnischen Systems berücksichtigt, dazu zählen insbesondere die Verluste der Wärmebereitstellung, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeabgabe sowie allfälliger Hilfsenergie. (12)

2.1.4 Endenergiebedarf (EEB)(12)

Der Endenergiebedarf umfasst zusätzlich zum Heizenergiebedarf den Haushaltsstrombedarf, abzüglich allfälliger Endenergieerträge und zuzüglich eines dafür notwendigen Hilfsenergiebedarfs. Der Endenergiebedarf entspricht jener Energiemenge, die eingekauft werden muss (Lieferenergiebedarf). (12)

2.1.5 Primärenergiebedarf (PEB)(12)

Der Primärenergiebedarf ist der Endenergiebedarf einschließlich der Verluste in Vorketten. Der Primärenergiebedarf weist einen erneuerbaren (PEBern.) und einen nicht erneuerbaren (PEBn.ern.) Anteil auf.

2.1.6 Heizlast (10)(13)

Im Unterschied zum Heizwärme- und Kühlbedarf ist für die Größe von Radiatoren bzw. die Leistungsfähigkeit von Kühlgeräten der maximal auftretende Leistungsbedarf entscheidend. Während bei der Ermittlung des Wärmebedarfs im Wesentlichen eine mittlere Nutzung und ein mittleres Außen- und Innenklima angenommen werden, ist bei der Lastermittlung eher möglicher Extremzustand zu betrachten.

In Fall der Heizlast werden eine typische Kälteperiode, minimale oder keine inneren Lasten und eine mögliche Mitbeheizung fremdbeheizter Räume betrachtet. Fremdbeheizte Räume sind Räume, über die der/die Nutzer/in eines Raumverbundes nicht verfügen kann. (z.B. Nachbarhaus, Nachbarwohnung). (10)

Die standardisierte Berechnung der Heizlast erfolgt nach: (10)

ÖNORM H 7500:2006: Nationale Annahmen zu Klima etc.

ÖNORM EN 12831:2003: Rechenverfahren

Die Norm-Heizlast eines Raums setzt sich zusammen aus den Transmissionswärmeverlusten und den Lüftungswärmeverlusten: (13)

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i}$$

Formel 2-6

Dabei ist:

$\Phi_{HL,i}$ die Normheizlast, in Watt;

$\Phi_{T,i}$ der Transmissionswärmeverlust, in Watt;

$\Phi_{V,i}$ der Lüftungswärmeverlust; in Watt.

2.1.7 Dämmstoffe (14)

Dämmen ist sowohl beim Neubau als auch bei der Sanierung in den letzten Jahren ein wichtiges Thema für das energieeffiziente Bauen geworden.

Über die Hälfte des Endenergieverbrauchs österreichischer Haushalte fließt in die Heizung. Werden im Zuge einer Althausanierung Außenwände, Dach und Kellerdecke gedämmt und die Fenster getauscht, so können bis zu 80 % der Heizkosten eingespart werden.

Die richtige Dämmung der Gebäudehülle kann einen wichtigen Beitrag leisten, um Energie, CO₂ sowie Geld zu sparen und den Wert des Gebäudes zu steigern. (14)

Die zugehörigen Produkt-Normen und Dämmstoffbezeichnungen sind:

ÖNORM EN 13162: Mineralwolle (MW – Mineral Wool)

ÖNORM EN 13163: Expandiertes Polystyrol (EPS –Expanded Polystyrene Foam)

ÖNORM EN 13164: Extrudiertes Polystyrol (XPS –Extruded Polystyrene Foam)

ÖNORM EN 13165: Polyurethan-Hartschaum (PUR– Polyurethane Foam)

ÖNORM EN 13166: Phenolharz-Hartschaum (PF –Phenolic Foam)

ÖNORM EN 13167: Schaumglas (CG – Cellular Glass)

ÖNORM EN 13168: Holzwolle-Leichtbauplatten (WW – Wood Wool) bzw. (HWLP)

ÖNORM EN 13169: Blähperlite (EPB – Expanded Perlite)

ÖNORM EN 13170: Expandierter Kork (ICB – Insulation Cork Board)

ÖNORM EN 13171: Holzfaserdämmstoff (WF –Wood Fibre)

ÖNORM EN 13172: Wärmedämmstoffe – Konformitätsbewertung

Dämmstoffe können nach ihren hauptsächlichen Ausgangsstoffen grob in drei Kategorien eingeteilt werden: Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen (nawaro), Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen und Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen. Alle aufgelisteten Dämmstoffe werden in Folge genauer beschrieben. (14)

Bei der Auswahl des passenden Dämmstoffes sind u.a. folgende Kriterien ausschlaggebend:

Tabelle 2 : Auswahlkriterien von Dämmstoffen (14)

Physikalische Kriterien:	Wärmeleitfähigkeit $\lambda \rightarrow$ notwendige Materialstärke Wasserdampfdiffusionswiderstand μ
Ökonomische Kriterien:	Materialstärke Materialpreis
Ökologische Kriterien:	Verfügbarkeit der Rohstoffe Energiebedarf und Umweltbelastung bei der Herstellung Transportaufwand Entsorgung, Recycling
Gesundheitliche Kriterien:	Raumklima und Behaglichkeit Schimmelvermeidung Ausgasung von Innenraumschadstoffen

Tabelle 3 : Lieferformen Dämmstoffe (14)

		Platten / Matten	Schüttung	Einblas- / Stopfware	Sandwich, Paneele, Zuschlagstoffe
Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	Flachs	x		x	
	Hanf	x		x	
	Holzfaserdämmplatten	x	x		
	Holzwolle	x			x
	Kork	x	x		
	Schafwolle	x		x	
	Schilf	x			x
	Stroh	x		x	x
	Zellulose	x	x	x	x
Dämmstoffe aus mineralischen Rohstoffen	Bims		x		x
	Blähglimmer		x		x
	Blähton		x	x	x
	Calciumsilikat	x			
	Expandierter Obsidian	x	x		x
	Expandierte Perlite / Blähperlit	x	x		x
	Mineralwolle (Glaswolle, Steinwolle)	x		x	
	Mineralschaum	x			
Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen	Schaumglas	x	x		
	Expandiertes Polystyrol (EPS)	x	x		x
	Extrudiertes Polystyrol (XPS)	x			x
	Harzbasis (Phenolharz, Resolharz)	x			x
	PUR Hartschaum	x		x	x

Tabelle 4 : Einsatzbereiche der vorgestellten Dämmstoffe (14)

rot = Einsatzbereiche der Dämmstoffe, grau = nicht möglich

	1	2	3	4	a	b	5	6	7	a	b	c	8	9	10	11	12	13
Dämmstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen	Flachs		x	x														
	Hanf		x	x														
	Holzfaserdämmstoffe	x	x	x		x				x	x	x		x	+			
	Holzwohle-Leichtbauplatten	x	x	x		x				x				x	x			
	Kork	x	x	x		x				x			x	x	+	x		
	Schafwolle		x	x							x	x		x	+		x	x
	Schilf	x	x	x						x	x	x		x	+	x		
	Stroh		x	x							x	x	x		+			
Zellulose		x	x									x	x				x	
Mineralische Dämmstoffe	Bims			x										x	x			
	Blähglimmer			x										x	x			
	Blähton			x										x	x			
	Calciumsilikat																	x
	Expandierter Obsidian			x						x ²				x	x	x	x	
	Expandierte Perlite / Bläherlit			x										x	x			
	Mineralschaumplatte										x					x	x	
	Mineralwolle (Glaswolle, Steinwolle)	x	x	x		x					x	x	x	x	x	x	x	x
Schaumglas	x						x	x	x				x					
Synthetische Dämmstoffe	Expandiertes Polystyrol EPS	x ¹	x		x				x ¹	x				x ²	+			x
	Extrudiertes Polystyrol XPS	x	x		x	x	x	x	x	x				x	x ³	+		
	Harzbasis (Phenolharz, Resolharz)	x	x		x	x				x						+		
	PUR Hartschaum	x	x		x	x					x					+		x
	PUR Ortschaum				x													x

x... bei Dämmung zwischen den Sparren, Flachdach, Kellerfußboden
 x¹... hydrophobierte Platten, bei Dämmung unter der Bodenplatte, Umkehrdach
 x²... elastifizierte Platten
 x³... als Trennschicht unter schwimmendem Parkett
 +... theoretisch möglich, sollte aber aus Sicherheitsgründen vermieden werden
 x⁵... Dämmputz

Brandschutztechnische Anforderungen sind in der Tabelle nicht berücksichtigt und müssen im Einzelfall abgeklärt werden. Die geltenden einschlägigen Vorschriften und Normen sind zu berücksichtigen. Die bauphysikalische Eignung der Gesamtkonstruktionen und Anschlussdetails sind im Einzelfall zu überprüfen. Neuentwicklungen wie z.B. Wiesengras, Rindendämmstoff, Holzschau, Seegrass etc. sind nicht dargestellt.

In dieser Studie wurden ausschließlich Dämmstoffe aus synthetischen Rohstoffen verwendet. Daher wird im Folgenden nur diese Art der Dämmung beschrieben.

2.1.7.1 Synthetische Dämmstoffe

2.1.7.1.1 Expandiertes Polystyrol EPS



Abbildung 2 : Expandiertes Polystyrol EPS (14)

Herstellung

Styrol wird aus Benzol und Ethen gewonnen. Diese Grundbausteine werden aus Erdöl und Erdgas erzeugt. Unter Zugabe des Treibmittels Pentan und Flammschutzmittel wird Styrol zu expandierbarem Polystyrol polymerisiert. In weiterer Folge wird es durch Wärmezufuhr mit Wasserdampf aufgeschäumt, das Treibmittel Pentan verdampft dabei, es entsteht das expandierte Polystyrol (EPS). Als Flammschutzmittel kommt teilweise noch Hexabromcyclododecan (HBCD) zum Einsatz. HBCD gilt als persistent (wird in der Umwelt nicht abgebaut), bioakkumulierend (reichert sich in Organismen an) und giftig für Wasserorganismen nach der Europäischen Chemikalienverordnung (REACH). Aus eben diesen Gründen wurde die Verwendung von HBCD auch im Rahmen des internationalen Stockholmer Übereinkommens über persistente organische Schadstoffe streng beschränkt. Es gibt jedoch auch neue polymere Flammschutzmittel (pFR), welche keine der oben genannten Eigenschaften besitzen. Das österreichische Umweltzeichen schließt seit Juni 2013 Dämmstoffe, die HBCD enthalten, aus.

Beimengung von Grafitstaub bewirkt die silbrig-graue Färbung bei Platten mit geringerer Wärmeleitfähigkeit und besserer Dämmwirkung ($\lambda = 0,032 \text{ W/mK}$).

Eigenschaften

EPS hat gute Wärmedämmeigenschaften ($\lambda = 0,029$ bis $0,044 \text{ W/mK}$), ist resistent gegen Tierfraß und verrottet nicht. Allerdings ist es wenig UV-beständig. Das Material

hat einen hohen Dampfdiffusionswiderstand ($\mu = 10\text{--}87$) und eine geringe Fähigkeit, Wasserdampf aufzunehmen und wieder abzugeben. Es gibt auch gelochte EPS-Fassadenplatten, um die Dampfdiffusionsfähigkeit in Kombination mit geeigneten Klebern und Putzen zu erhöhen.

Durch das Flammschutzmittel weisen EPS-Platten die Brandverhaltensklasse E auf. Im Brandfall kann starker Qualm entstehen. Aus diesem Grund darf EPS je nach Bauordnungen an Fassaden im mehrgeschoßigen Wohnbau nicht oder nur unter Einhaltung bestimmter Brandschutzanforderungen eingesetzt werden.

Lieferformen

EPS wird in Form von Platten und als Granulat (für gebundene EPS-Schüttungen) geliefert.

Einsatzbereich

EPS ist für viele Anwendungsbereiche der Wärme- und Trittschalldämmung einsetzbar. Fassaden-Dämmplatten werden als wichtigste Anwendung für EPS (EPS-F) als ein Teil eines Wärmedämmverbundsystems verwendet.

Bei Verwendung als Vollwärmeschutz muss darauf geachtet werden, nur geprüfte und behördlich zugelassene Systeme zu verwenden, um Bauschäden zu vermeiden. Im Sockelbereich und zur Perimeterdämmung (zur Keller- und Außendämmung) kommen hydrophobierte EPS-Dämmplatten (EPS-P) zum Einsatz.

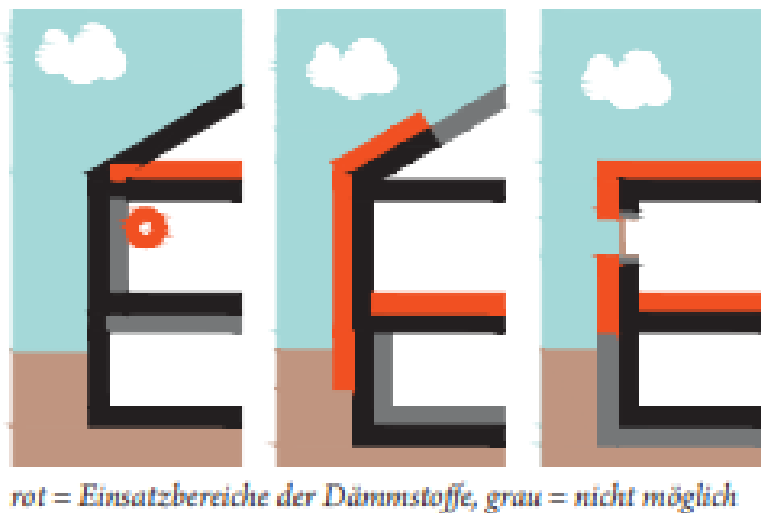


Abbildung 3 : Einsatzbereich der EPS-Platten (14)

Auch für die Dachdämmung können EPS-Platten verwendet werden. Als Umkehrdachdämmung kommen hydrophobierte Platten mit Stufenfalz zur Anwendung. Eine Flachdachdämmung erfolgt in Kombination mit Gefälledämmplatten.(14)

Tabelle 5 : Technische Daten der EPS-Platten (14)

λ (Wärmeleitzahl)	0,029 – 0,044	W/mK
μ (Dampfdiffusionswiderstand)	10 – 87	
Dichte	11 – 30	kg/m ³
Brandverhaltensklasse (gemäß EN 13501-1)	E	

Alle angegebenen Werte sind produktabhängig und ohne Gewähr

2.1.7.1.2 Extrudiertes Polystyrol-XPS

**Abbildung 4 : Extrudierter Polystyrolschaum XPS (14)**

Herstellung

Polystyrol-Hartschaumplatten werden für spezielle Anwendungsfälle als extrudiertes Polystyrol (XPS) angeboten. Rohstyrol wird, wie auch bei der Herstellung von EPS, über mehrere Stufen aus Erdöl erzeugt. Flüssiges Polystyrol wird mit Treibgasen aufgeschäumt (extrudiert) und über Breitschlitzdüsen in Plattenform verpresst. Als Treibgase kamen früher FC KW zum Einsatz (seit 1990 verboten), welche die Ozonschicht schädigen. Des Weiteren wurden auch starke Treibhausgase wie HFKW verwendet.

Heutzutage kommen vor allem CO₂ und Mischungen mit 2–3 % Ethanol zur Anwendung. In Österreich sind HFKW-Verbindungen durch die Verordnung seit 2008 verboten (HFKW-FKW-SF₆-Verordnung, BGBl. 447/2002). Es gibt aber auch in Österreich noch Ausnahmen. Erste Wahl sollten aber CO₂-geschäumte XPS-Platten sein.

Für XPS-Platten wird auch die Chemikalie HBCD als Flammschutzmittel verwendet (siehe auch EPS-Platten). Auch hier sollte man auf HBCD-freie Platten ausweichen.

Eigenschaften

XPS hat sehr gute Wärmedämmeigenschaften ($\lambda = 0,031$ bis $0,042$ W/mK). Der Wasserdampf-Diffusionswiderstand (μ) liegt bei 50 bis 200.

Wegen der geschlossenzelligen Schaumstruktur und der beidseitigen Schaumhaut der Platten ist die Wasseraufnahme extrem gering. Die Druckfestigkeit ist hoch.

Aufgrund der eingesetzten Flammschutzmittel wird die Brandverhaltensklasse E erreicht. Im Brandfall kann starker Qualm entstehen. Aus diesem Grund darf XPS je nach Bauordnungen an Fassaden im mehrgeschoßigen Wohnbau nicht oder nur unter Einhaltung bestimmter Brandschutzanforderungen eingesetzt werden.

Lieferformen

Platten

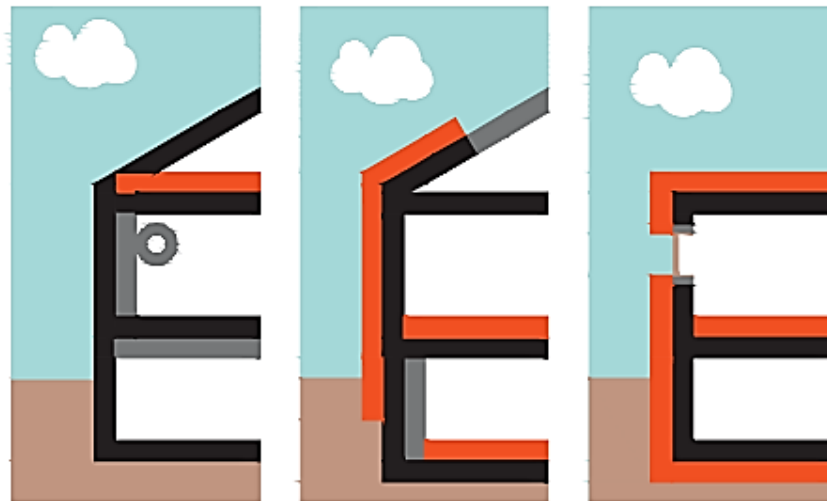
Einsatzbereich

XPS wird für Anwendungen im Nassbereich und bei hoher Druckbeanspruchung eingesetzt, wie zum Beispiel Dämmplatten zur Dämmung von Umkehrdächern (Dächer, bei denen die Dämmschicht über der Feuchtigkeitsabdichtung liegt), Gründächer, Terrassen, Kelleraußenwänden und Böden.

Da XPS nicht UV-beständig ist und außerdem die Gefahr des Aufschwimmens besteht, ist es immer mit Kies, Terrassenplatten auf Ständerkonstruktion oder mit einem Gründachsystem abzudecken.

Mit der Verwendung von Stufenfalzplatten vermeidet man Spalten, die sich als Wärmebrücken auswirken könnten.

XPS-Platten werden bei Außendämmplatten im erdberührenden Bereich (Perimeterdämmung) außen an die senkrechte Feuchtigkeitsabdichtung geklebt. (14)



rot = Einsatzbereiche der Dämmstoffe, grau = nicht möglich

Abbildung 5 : : Einsatzbereich der XPS-Platten (14)

Zu deren Schutz und zur besseren Wasserableitung kann außen noch eine Noppenfolie aufgebracht werden.(14)

Tabelle 6 : Technische Daten der EPS-Platten (14)

λ (Wärmeleitfähigkeit)	0,031 – 0,042	W/mK
μ (Dampfdiffusionswiderstand)	50 – 200	
Dichte	30 – 45	kg/m ³
Brandverhaltensklasse (gemäß EN 13501-1)	E	

Alle angegebenen Werte sind produktabhängig und ohne Gewähr

2.1.8 Fenster

Die Fensterflächen sind ein wesentlicher Faktor für den solaren Energieeintrag einerseits und den Wärmeverlust andererseits. Durch den kleinteiligen Aufbau von Fenstern, den nur beschränkten Möglichkeiten der Wärmedämmung und den hohen Kosten dieser Bauteile, kommt diesem Bauteil in der Passivtechnologie wesentliche Bedeutung zu.(15)

Ein Fenster stellt eine inhomogene Konstruktion mit unterschiedlichen Wärmedämmeigenschaften der Teilkomponenten dar. Die U-Werte von Rahmen und Glas gehen flächengewichtet in die Berechnung ein; die Wärmebrückenwirkung des Glasrandverbundes wird mit einem linearen Wärmedurchgangskoeffizienten berücksichtigt. (16)

Die wichtigen Parameter zur Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten eines Fensters sind der U-Wert Verglasung (U_g), der U-Wert Fensterrahmen (U_f), der Glasrandverbund (ψ_g) und die Fensterfläche (A_w).

Ein weiterer wichtiger Parameter ist der g-Wert, der den Anteil der Sonnenstrahlung, der durch das Glas durchgelassen wird definiert.(16)

U-Wert Verglasung (U_g)

Der Wärmedurchgangskoeffizient einer Verglasung wird mit U_g bezeichnet und nach DIN EN 673 deklariert. (16)

Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung hängt von Anzahl der Scheiben, dem Scheibenabstand, der Beschichtung der Scheiben und der Gasfüllung des Scheibenzwischenraums ab.(10)

Tabelle 7 : Wärmedurchgangskoeffizient U_g von Zweischeiben- und Dreischeiben-Isolierverglasungen mit verschiedenen Gasfüllungen(10)

Aufbau in mm	U_g in W/m ² K		
	Luft	Argon	Krypton
Zweischeiben-Isolierverglasung			
4-8-4	3,1	2,9	2,6
4-8-e4*	2,1	1,7	1,2
4-16-e4*	1,4	1,2	1,1
Dreischeiben-Isolierverglasung			
4-8-4-8-4	2,1	1,9	1,7
4-12-e4-12-e4*	1,0	0,8	0,5

U-Wert Fensterrahmen (U_f)

Der Wärmedurchgangskoeffizient des Rahmens wird von Material und der Ausbildung des Profils bestimmt. Der U-Wert kann durch eine Prüfung in einem Prüfstand oder durch Berechnung ermittelt werden.(10)

Zweidimensionaler Wärmedurchgangskoeffizient für den Abstandhalter (ψ_g)

Der Abstandhalter zwischen den Scheiben eines Isolierglases ist für die Dauerhaftigkeit und Qualität der Scheiben aus verschiedenen Gründen wesentlich. Insbesondere dichte der Abstandhalter gegen Wasserdampf von außen und Gas von innen ab. Aufgrund der höheren Wärmeleitfähigkeiten der eingesetzten Stoffe stellt der Abstandhalter eine

Wärmebrücke dar und wird über den Leitwertzuschlag ψ bei der Berechnung des Transmissionswärmeverlustes berücksichtigt. (10)

Fensterfläche (A_w)

Als maßgebende Fensterfläche A_w gilt das lichte Maß der Wand- bzw. Dachöffnung; diese Fläche wird ebenfalls als Nettofensterabmessung bezeichnet. Sie ist für die Bestimmung des Fenster-U-Wertes maßgebend

Die obersten Parameter können verwendet werden, um den Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) eines Fensters mithilfe der folgenden Formel zu berechnen. (16)

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \psi_g \cdot l}{A_w} \quad \text{Formel 2-7}$$

U, ψ Wärmedurchgangskoeffizienten

A Fläche

L Länge

Index:

w Fenster

f Rahmen

g Glas

Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung (g -Wert)

Aufgrund der Absorptions- und Reflexionseigenschaften von Gläsern und den Beschichtungen an ihren Oberflächen wird nur ein Teil der auftreffenden Sonnenstrahlung als kurzweilige Strahlung durchgelassen. Ein Teil wird durch die einzelnen Scheiben absorbiert und führt abhängig von den wärmedämmenden Eigenschaften der Scheibenzwischenräume zu einer Erwärmung der inneren Scheibe. Diese Erwärmung führt zu einem zusätzlichen Wärmeeintrag in dem betreffenden Raum. (10)

$$g = \tau_e + q_i \quad \text{Formel 2-8}$$

g Gesamtenergiedurchlassgrad

τ_e Strahlungstransmissionsgrad

q_i sekundäre Wärmeabgabe an den Raum

Tabelle 8 : Gesamtenergiedurchlassgrad, Strahlungstransmissionsgrad τ_e und Lichttransmissionsgrad τ_v bei einem senkrechten Strahlungseinfall für verschiedene Verglasungen.(10)

	U in W/m ² K	g	τ_e	τ_v
Einfachglas	5,7	0,87	0,85	0,9
Doppelverglasung	3	0,75	0,72	0,80
2-fach-Verglasung	1,1	0,60	0,50	0,78
3-fach-Verglasung	0,6	0,55	0,46	0,72
Sonnenschutzglas	1,1	0,27	0,23	0,50

Für die Berechnung des monatlichen solaren Wärmegewinns ist der Gesamtenergiedurchlassgrad um die Verschmutzung der Scheibe (Reduktion auf 98%) und den nicht senkrechten Strahlungseinfall (Reduktion auf 90%) zu korrigieren.

$$g_w = 0,9 * 0,98 * g$$

Formel 2-9

g_w effektiver Gesamtenergiedurchlassgrad

2.1.9 Wärmebrücke

Als Wärmebrücke wird ein Teil einer Gebäudehülle bezeichnet, an dem konzentrierte Wärmeverluste stattfinden. Fälschlicherweise werden

umgangssprachlich Wärmebrücken auch als »Kältebrücken« bezeichnet.

Wärmebrücken liegen bei jedem Gebäude vor. Dabei sind sie wie folgt zu unterscheiden

- form- oder geometriebedingte Wärmebrücken
- stoffbedingte Wärmebrücken

Form- oder geometriebedingte Wärmebrücken sind dadurch gekennzeichnet, dass bei einem Außenbauteil im Außenbereich größere Flächenanteile vorhanden sind als im Innenbereich. Im Außenbereich erfolgt beispielsweise bei einer Gebäudeecke die Wärmeabgabe über eine Länge, die dem zweifachen Wandquerschnitt entspricht.

Im Innenbereich konzentrieren sich die »Verluste« auf den Punkt der Ecke.(17)

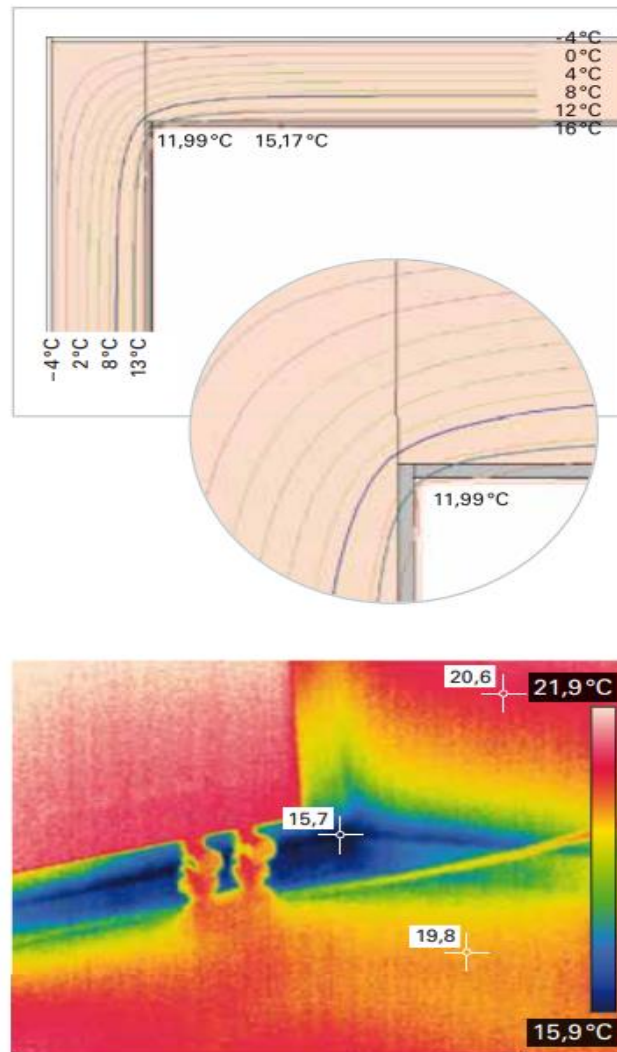


Abbildung 6 : Isotherm Berechnung(17)

Bei oben abgebildeter Isothermen Berechnung wird dies sehr deutlich dargestellt: Die Wandoberflächentemperatur liegt in der Fläche bei ca. 15 °C. Im unmittelbaren Eckbereich sinkt die Temperatur auf ca. 12 °C. In diesem Fall ist die hinsichtlich Schimmelbildung kritische Temperatur bereits unterschritten.(17)

Von stoffbedingten Wärmebrücken wird in der Regel dann gesprochen, wenn ein homogener Wandquerschnitt (z. B. Ziegelmauerwerk) durch

Bauteile mit anderen (schlechteren) wärmetechnischen Eigenschaften unterbrochen wird (z. B. Stahlbetonstütze).

Natürlich können Wärmebrücken sowohl Stoffels auch geometriebedingt sein. Die Wärmebildaufnahme oben zeigt eine Außenecke (geometrische Wärmebrücke) im Bereich des Bodenanschlusses. Hier ist im konkreten Fall die Tragkonstruktion eines Balkons im Deckenquerschnitt verankert (stoffbedingte und konstruktive Wärmebrücke).(17)

für linienförmige Wärmebrücke (z.B. Kanten, Balkonanschluss, Fensteranschluss) wird der Leitwertzuschlag für zweidimensionale Wärmebrücke L_{ψ} eingeführt.(10)

$$L_{\psi} = \sum_{j=1}^J l_j \cdot \psi_j$$

Formel 2-10

l : Kantenlänge in m

ψ : längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient in W/mK

ψ_i ist der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücken und kann nach Tabellen oder Katalogen nach ISO 14683 abgeschätzt oder nach ISO 10211 berechnet werden.

Für die punktförmigen Wärmebrücken (z.B. Ecken, Stützen, Dübel,) wird die Leitwertzuschlag für dreidimensionale Wärmebrücken L_{χ} verwendet. (10)

$$L_{\chi} = \sum_{k=1}^K \chi_k$$

Formel 2-11

χ : punktbezogener Wärmedurchgangskoeffizient in W/K

χ ist der punktbezogene Wärmedurchgangskoeffizient punktförmiger Wärmebrücken und kann nach ISO 10211-1 berechnet werden.

Wenn man keine detaillierte Berechnung der Wärmebrücken durchführen will, kann man eine in der ÖNORM B 8110-6 enthaltene pauschale Abschätzung durchführen. (10)

$$L_{\psi} + L_{\chi} = 0,2 \cdot \left(0,75 - \frac{\sum_i f_i \cdot A_i \cdot U_i}{\sum_i A_i} \right) \cdot \sum_i f_i \cdot A_i \cdot U_i > 0,1 \cdot (L_e + L_u)$$

Formel 2-12

L_{ψ} : Leitwertzuschlag für zweidimensionale Wärmebrücken in W/mK

L_{χ} : Leitwertzuschlag für dreidimensionale Wärmebrücken in W/K

f : Temperaturkorrekturfaktor (dimensionslos)

A : Bauteilfläche in m²

U : Wärmedurchgangskoeffizient in W/m²K

L_e : Leitwert für außenluftberührte Konstruktionen

L_u : Leitwert über unkonditionierte Räume

Für eine Reihe von Details enthält die Norm auch Richtwerte für den ψ -Wert und den χ -Wert, die üblicherweise durch ausgeführte Konstruktionen unterschritten werden.

Tabelle 9 : ψ -Wert zur Berücksichtigung des Einflusses zweidimensionaler Wärmebrücken (10)

Baukonstruktion	ψ -Wert in W/mK	
	gem. ÖNORM B 8110, Teil 2, Beiblatt 2	ohne Nachweis
Attika/Oberste Decke (Drempelwand)	0,2	0,6
Außenwand/Zwischendecke	0,11	0,5
Außenwand/Balkonplatte	0,7	0,7
Fenstersturz	–	0,35
Fensterleibung	–	0,18
Fensterbrüstung	–	0,15
Vorkragende Endwand	0	0
Zwischenwand	–	0,3
Wände im Freien (eingebunden in die Gebäudehülle)		
Außenwand (unterstützend)	0	0,1
Mittelwand oder Schottwand (unterstützend)	0,17	0,5
Randunterzug im Freien	0	0
„Innenunterzüge“ im Freien		
verborgener Unterzug	0	0
Bauhöhe < 300 mm	0,2	0,3
Bauhöhe 300–600 mm	0,25	0,35
Bauhöhe > 600 mm	0,30	0,40

Tabelle 10 : χ -Wert zur Berücksichtigung dreidimensionaler Wärmebrücken (10)

Baukonstruktion	χ -Wert in W/K
Innenstützen im Freien	
Umfang $\leq 1,2$ m	0,1
Umfang $> 1,2$ m	(0,2)
Randstützen im Freien	–
Sonstige Baukonstruktionen mit denkbaren Wärmebrücken	(–)

Grundsätzlich sind Wärmebrücken bei Gebäuden so weit wie möglich zu reduzieren. An Wärmebrücken finden nicht nur konzentriert Wärmeverluste statt. Durch die niedrigere Oberflächentemperatur besteht bei Wärmebrücken eine erhöhte Gefahr der Schimmelbildung oder von Bauschäden durch Tauwasser. Im Bestand können Wärmebrücken oftmals sehr einfach mit Hilfe von Wärmebildaufnahmen lokalisiert und dann Verbesserungen entworfen werden. (17)

2.1.10 CO₂-Emissionen

Laut dem Klimaschutzbericht 2019 (UBA 2019a) sind rund drei Viertel der Treibhausgase in Österreich energiebedingt. Somit werden rund ein Viertel der Treibhausgase nicht-energiebedingt in industriellen Prozessen, in der Landwirtschaft und in der Abfallwirtschaft emittiert.

In Österreich wurden im Jahr 2017 insgesamt 82,3 Mio. t CO₂-Äquivalent emittiert. Diese Emissionen lagen um 11 % unter dem Wert von 2005, allerdings um 5 % über

dem Wert von 1990. In den Jahren 2014 bis 2017 war wieder ein leicht steigender Trend mit einer Zunahme, um insgesamt 7 % zu beobachten. Seit dem Jahr 2005 wurden die Treibhausgasziele in zwei Bereiche aufgeteilt: (1) Emissionen innerhalb des Emissionshandels (EH) und (2) Emissionen außerhalb des Emissionshandels (Nicht-EH). Im Jahr 2017 wurden in den Nicht-EH-Sektoren österreichweit 51,7 Mio. t CO₂-Äquivalent ausgestoßen. Gegenüber 2005 entspricht dies im Jahr 2017 einer Reduktion um 9 %. Im Jahr 2013 wurde der Emissionshandel durch die Erfassung zusätzlicher Anlagen aus dem Nicht-EH-Bereich erweitert.(18)

Tabelle 11 : Österreichische Treibhausgasemissionen pro Person Gesamt (1990–2017) und basierend auf Emissionen der NichtEmissionshandels-Sektoren (2005–2017), Quelle: (UBA 2019b), (Statistik Austria 2020d) und Berechnungen der AEA (18)

	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017
THG-Gesamt (Mio. t CO ₂ -Äquivalent)	78,7	79,6	80,4	92,6	84,8	78,9	79,6	82,3
THG im Nicht-EH-Bereich (Mio. t CO ₂ -Äquivalent)				56,7	52,0	49,3	50,5	51,7
THG Gesamt pro Person (t CO ₂ -Äquivalent)	10,4	10,2	10,0	11,3	10,1	9,2	9,1	9,4
THG Nicht-EH-Bereich pro Person (t CO ₂ -Äquivalent)				6,9	6,2	5,7	5,8	5,9

Die Gesamtemissionen pro Person sind in Österreich von 2005 bis 2017 um 17 % gesunken. In der EU sind die THG-Emissionen in diesem Zeitraum um 19 % gefallen und in Schweden konnten sogar THG-Reduktionen pro Person um 28 % erreicht werden.

Details der Entwicklung der gesamten Treibhausgase in den letzten 30 Jahren in Österreich sind in *Tabelle 12* basierend auf dem Klimaschutzbericht 2019 (UBA 2019a) dargestellt.

Tabelle 12 : Treibhausgasemissionen gemäß THG-Inventur für Österreich (Mio. t CO₂-Äquivalent)
(18)

Mio. Tonnen CO ₂ -Äquivalent	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	1990– 2017	2005– 2017
Energie und Industrie	36,6	35,9	36,2	42,1	39,3	35,5	37,0	+1 %	-12 %
Energie und Industrie (exkl. EH)				6,3	6,6	6,0	6,4		+5 %
Energie und Industrie (EH)				35,8	32,7	29,5	30,6		-15 %
Verkehr (inkl. nat. Flugverkehr)	13,8	15,7	18,5	24,6	22,2	22,1	23,7	+72 %	-4 %
Verkehr (exkl. nat. Flugverkehr)				24,6	22,1	22,1	23,6		-4 %
Gebäude	12,9	13,5	12,4	12,5	10,1	8,1	8,3	-35 %	-34 %
Landwirtschaft	9,5	8,9	8,6	8,2	8,1	8,2	8,2	-13 %	0 %
Abfallwirtschaft	4,3	4,0	3,3	3,4	3,3	3,0	2,9	-33 %	-15 %
Fluorierte Gase (inkl. NF3)	1,7	1,5	1,4	1,8	1,9	2,0	2,2	+32 %	+22 %
Fluorierte Gase (exkl. NF3)				1,8	1,9	2,0	2,2		+22 %
Treibhausgase nach KSG				56,7	52,0	49,3	51,7		-9 %
Gesamte Treibhausgase	78,7	79,6	80,4	92,6	84,8	78,9	82,3	+5 %	-11 %

Das Übereinkommen von Paris hat das Ziel, den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2° Celsius, möglichst 1,5° Celsius, gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Laut klimapolitischer Zielsetzung bis 2020 ist eine Emissionsminderung von 16 % im Nicht-EH-Bereich auf Basis von 2005 vorgesehen.

Das Emissionsreduktionsziel bis 2030 im Nicht-EH-Bereich für Österreich besteht in einer Emissionsminderung von -36 %. Aktuell wurde auf EU-Ebene eine Treibhausgasreduktion um mindestens 55 % bis 2030 (gegenüber 1990 für die gesamten Treibhausgasemissionen) beschlossen.

Bei einer Umlegung dieses Ziels auf Österreich im selben Verhältnis wie beim 36%-Nicht-EH-Ziel, müssten die österreichischen Treibhausgasemissionen im Nicht-EH-Bereich um 50 % bis 55 % gegenüber dem Jahr 2005 reduziert werden.

Die im Klimaschutzgesetz festgeschriebene Lastenteilung der THG-Einsparungen in den Sektoren sowie die gesamten THG-Einsparungen laut Beschluss der Europäischen Kommission (Nr. 2017/1471/EU) sind in Tabelle 13 beschrieben. Die Entwicklung der Nicht-EH-Treibhausgasemissionen im Vergleich mit dem Klimaschutzgesetz, welches klare Ziel pro Sektor in der Zeitperiode 2013 bis 2020 festlegt, ist in Abbildung 7 illustriert. Daraus wird ersichtlich, dass der Verkehrsbereich und der Landwirtschaftsbereich ihren jeweiligen Sektorziele in den Jahren 2015, 2016 und 2017 nicht erreichen konnten, während der Gebäudesektor seit 2013 seinen Sektorziele, klar über- troffen hat. Allerdings hatten der Gebäudesektor sowie der Energie- und Industriesektor wieder leicht ansteigende THG-Emissionen von 2015 bis 2017.(18)

Tabelle 13 : Jährliche Höchstmengen an THG-Emissionen nach Sektoren (in Mio. t CO₂-Äquivalent) gemäß Klimaschutzgesetz und Beschluss der EU-Kommission Nr. 2017/1471/EU (18)

Sektor	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Energie und Industrie (Nicht-EH)	7,0	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,6	6,5
Verkehr	22,3	22,3	22,2	22,1	22,0	21,9	21,8	21,7
Gebäude	10,0	9,7	9,4	9,1	8,8	8,5	8,2	7,9
Landwirtschaft	8,0	8,0	8,0	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9
Abfallwirtschaft	3,1	3,0	3,0	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7
Fluorierte Gase	2,2	2,2	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1
Gesamt (ohne EH) gem. KSG	52,6	52,1	51,5	51,0	50,4	49,9	49,4	48,8
Gesamt (ohne EH) gem. Beschluss Nr. 2017/1471/EU					49,5	48,9	48,3	47,8

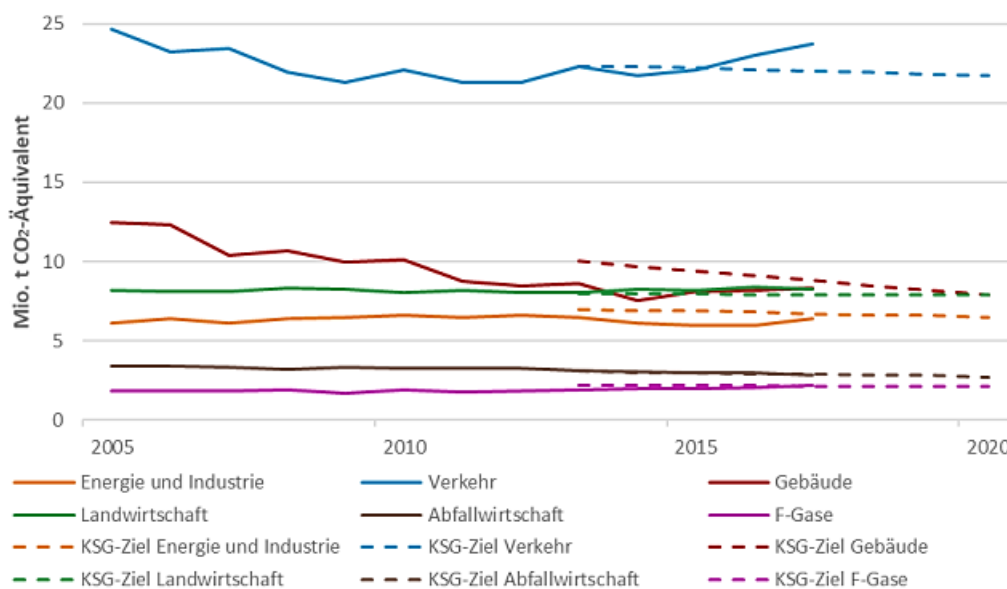


Abbildung 7 : Nicht-EH-Sektorentwicklung (2005–2017) und KSG-Ziele gemäß Klimaschutzgesetz (2013–2020); (18)

Die THG-Emissionen im Gebäudesektor betrugen im Jahr 2017 8,3 Mio. t CO₂-Äquivalent und waren somit für 10,1 % der nationalen THG-Emissionen verantwortlich. Die THG-Emissionen in diesem Sektor konnten gegenüber dem Jahr 2005 um 34 % reduziert werden, obwohl diese in den letzten Jahren (2015 bis 2017) neuerlich anstiegen. Diese Reduktion wurde trotz einer Erhöhung der durchschnittlichen Wohnnutzfläche und der Anzahl der Wohnungen durch den Rückgang des Heizöl- und Erdgaseinsatzes sowie durch bessere thermische Qualität der Gebäude und den verstärkten Einsatz von Fernwärme und erneuerbaren Energieträgern verursacht. Durch den Umstieg auf Fernwärme und verstärkte Nutzung von elektrischer Energie fallen zum Teil Emissionen an, die im Sektor Energie bilanziert werden. Die THG-Emissionen unterliegen starken jährlichen Schwankungen aufgrund der Witterung,

welche durch die Heizgradtage, die ein gängiger Indikator für die Dauer und Intensität der Heizperiode sind, dargestellt werden (UBA 2019a). Die Entwicklung der THG-Emissionen der eingesetzten Energieträger im Gebäudesektor sind in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 14 : Hauptverursacher der Treibhausgasemissionen des Gebäudesektors (in Mio. t CO₂-Äquivalent); (18)

Hauptverursacher	2005	2017	2005–2017
Kohle	0,5	0,1	-80 %
Öl	6,8	3,8	-44 %
Gas	4,9	4,3	-13 %

2.1.11 Klimaszenarien

Es ist nicht möglich, den Einfluss des Menschen auf das Klima der Erde für die nächsten Jahre und Jahrzehnte genau zu beschreiben. Möglich sind aber Annahmen über den wahrscheinlichen Verlauf. Diese Annahmen werden in der Wissenschaft Szenarien genannt. In der Wissenschaft wurde in den letzten Jahren eine Vielzahl denkbarer Szenarien entwickelt, die den Einfluss der Menschen auf das Klima beschreiben. In Vorbereitung auf den 5. Sachstandsberichtes des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) wurden vier "repräsentative" Szenarien (Repräsentative Konzentrationspfade – engl. Representative Concentration Pathways – RCPs) ausgewählt. Hierbei handelt es sich um Szenarien, die den Verlauf von Treibhausgaskonzentrationen und den Einfluss von Aerosol (kleine Partikel in der Atmosphäre wie z.B. Rußflocken) gemeinsam als Strahlungsantrieb beschreiben. Der Begriff Strahlungsantrieb ist vereinfacht als "zusätzliche/erhöhte" Energiezufuhr für die Erde zu erklären.(19)

Jedes Szenarium beschreibt eine mögliche Zukunft der globalen Wirtschaft und die damit verbundenen Treibhausgas-Emissionen. Aber welche Folgen haben diese Einflüsse auf das äußerst komplexe System Klima? Welche Wirkungen, Nebenwirkungen, Rückkopplungen, verstärkenden oder abschwächenden Prozesse zieht ein erhöhter Eintrag von Treibhausgasen in die Atmosphäre nach sich? Um diese Fragen zu beantworten, müssen zunächst die einzelnen Vorgänge bekannt sein; diese haben die Wissenschaftler inzwischen - mit einigen Ausnahmen - verstanden.(19)

Im nächsten Schritt wurden die Parameter und Prozesse in hochkomplexen Rechenmodellen nachgebildet, um möglichst realistische Simulationen unseres Klimas durchführen zu können. Die Teilsysteme des Klimasystems werden häufig in eigenen Rechenmodellen abgebildet und simuliert, beispielsweise in Ozeanmodellen, Kryosphärenmodellen (Eis- und Schneemodellen), Vegetationsmodellen, usw. Diese

Teilsystem-Modelle werden mit dem Atmosphärenmodell vernetzt und bilden so das Gesamtmodell des Klimas.

Jedes Klimamodell besteht aus einem 3-dimensionalen Gitter, das jeweils den gesamten Globus umspannt. Für die zahlreichen Gitterpunkte muss jeweils eine Vielzahl von Parametern berechnet werden. Klimamodelle sind die komplexesten und rechenaufwändigsten Modelle, die es heute gibt. Der Rechenaufwand dafür ist so groß, dass die Rechenleistung der größten Computer die Anzahl und damit den Abstand der Gitterpunkte der einzelnen Klimamodelle bestimmt.(19)

2.1.12 RCP-Szenarien

In der letzten Dekade wurden neue Erkenntnisse in den Bereichen Sozioökonomie und Technologie gewonnen. Ebenso wurden die Möglichkeiten, räumlich und sektoriell hoch aufgelöst zukünftige Szenarien zu simulieren, verbessert. Gleichzeitig bestand insbesondere aus der Wirkmodellierung und Politikberatung eine verstärkte Nachfrage nach überarbeiteten Szenarien, in denen u.a. auch die Auswirkungen möglicher Emissionsreduzierungs- und Anpassungsstrategien berücksichtigt sind.(19)

Für den 5. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wurden deshalb neue Szenarien für die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre entwickelt, die sogenannten RCP (Representative Concentration Pathways). Die neuen RCP-Szenarien lösen die bisherige "Familie" der im Jahr 2001 veröffentlichten und für den 3. und 4. IPCC Sachstandsbericht genutzten Emissionsszenarien (SRES; Special Report on Emissions Scenarios) ab.(19)

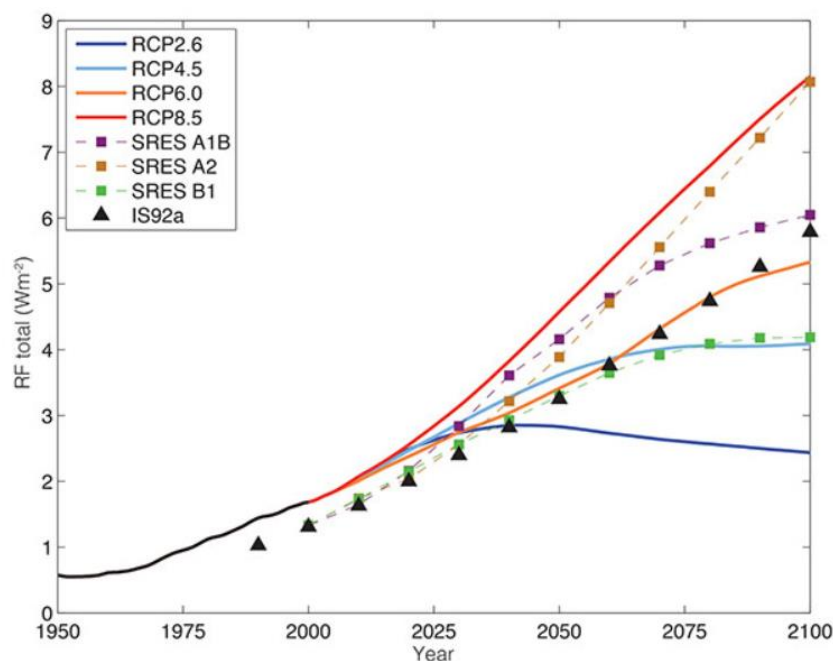


Abbildung 8 : Historischer und projizierter anthropogener Strahlungsantrieb (Wm^{-2}) relativ zu präindustriellen Bedingungen (etwa 1750) von 1950 bis 2100. (19)

Die Grafik oben zeigt den Historischen und projizierten anthropogenen Strahlungsantrieb (Wm^{-2}) relativ zu präindustriellen Bedingungen (etwa 1750) von 1950 bis 2100. Dargestellt ist ein Vergleich zwischen früheren IPCC-Bewertungen (SAR IS92a, TAR/AR4 SRES A1B, A2 und B1) und den Repräsentativen Konzentrationspfaden (representative concentration pathway: RCP) vgl. Der gesamte Strahlungsantrieb der drei Szenarien Familien, IS92, SRES und RCP, unterscheidet sich beispielsweise für das im Jahr 2000. Dies liegt im Wissen über die angenommene Emission begründet, welches sich zwischen dem dritten und vierten Bewertungsbericht geändert hat.(19)

Für den 5. Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wurden deshalb neue Szenarien für die Entwicklung der Konzentration von klimarelevanten Treibhausgasen in der Atmosphäre entwickelt, die sogenannten RCP (Representative Concentration Pathways). Die neuen RCP-Szenarien lösen die bisherige „Familie“, der im Jahr 2001 veröffentlichten und für den 3. und 4. IPCC-Sachstandsbericht genutzten Emissionsszenarien (SRES; Special Report on Emissions Scenarios) ab.(19)

2.1.12.1.1.1 Unterschiede der RCP- zu den SRES-Szenarien

Sowohl in der Erstellung wie auch den charakteristischen Größen unterscheiden sich die neuen RCP-Szenarien von den bisherigen SRES-Szenarien deutlich (Moss et al. 2010):

Die CO_2 -äquivalenten (d.h. auch die anderen klimarelevanten Spurengase, wie Methan, Lachgas und Ozon, werden im Szenario als zusätzliche CO_2 -Konzentration berücksichtigt) Konzentrationen (in Parts per Million, ppm) am Ende des Simulationszeitraumes, welche die bisherigen SRES-Szenarien charakterisierten, werden durch die Änderung des Strahlungsantriebs zum Ende des 21. Jahrhunderts (in Wm^{-2}) ersetzt. Diese Strahlungsantriebskomponente wird in den Namen der jeweiligen Szenarien aufgenommen. Das Szenario RCP4.5 ist somit gekennzeichnet durch einen zusätzlichen Strahlungsantrieb von $4.5 Wm^{-2}$ im Jahr 2100 in Bezug auf den vorindustriellen Stand Mitte des 19. Jahrhunderts. Damit ist eine Größe gegeben, in die nicht nur - wie bisher bei SRES - die Änderungen der Treibhausgasemissionen, sondern auch z.B. der Landnutzungsänderungen (und damit der Albedo) integriert sind.

Während für die Erstellung der SRES-Szenarien ein sequentieller Prozess (Erstellung sozioökonomischer Szenarien => Änderungsraten von Treibhausgasemissionen, Aerosolen und anderer chemisch aktiver Stoffe => atmosphärische Konzentrationen von Treibhausgasen => Klimamodellierung) angewandt wurde, entwickelten sich die RCP-Szenarien durch parallele Arbeiten der beteiligten Modelliergruppen, um Rückkopplungseffekte der verschiedenen Modellkompartimente in den Szenarien besser berücksichtigen zu können. Ausgehend von den vordefinierten Strahlungsantrieben am Ende des 21. Jahrhunderts wurden durch Integrated Assessment Modelle (IAM) in enger Kooperation mit Klima- und Wirkmodellierern mögliche Bandbreiten und zeitliche Verläufe der Strahlungsantriebe sowie die dazugehörigen Entwicklungen von Treibhausgasemissionen und chemischen

Konzentrationen in der Atmosphäre entwickelt. Diese repräsentieren wiederum jeweils unterschiedliche Szenarien sozioökonomischer Entwicklungen, Landnutzungsänderungen und so weiter.(19)

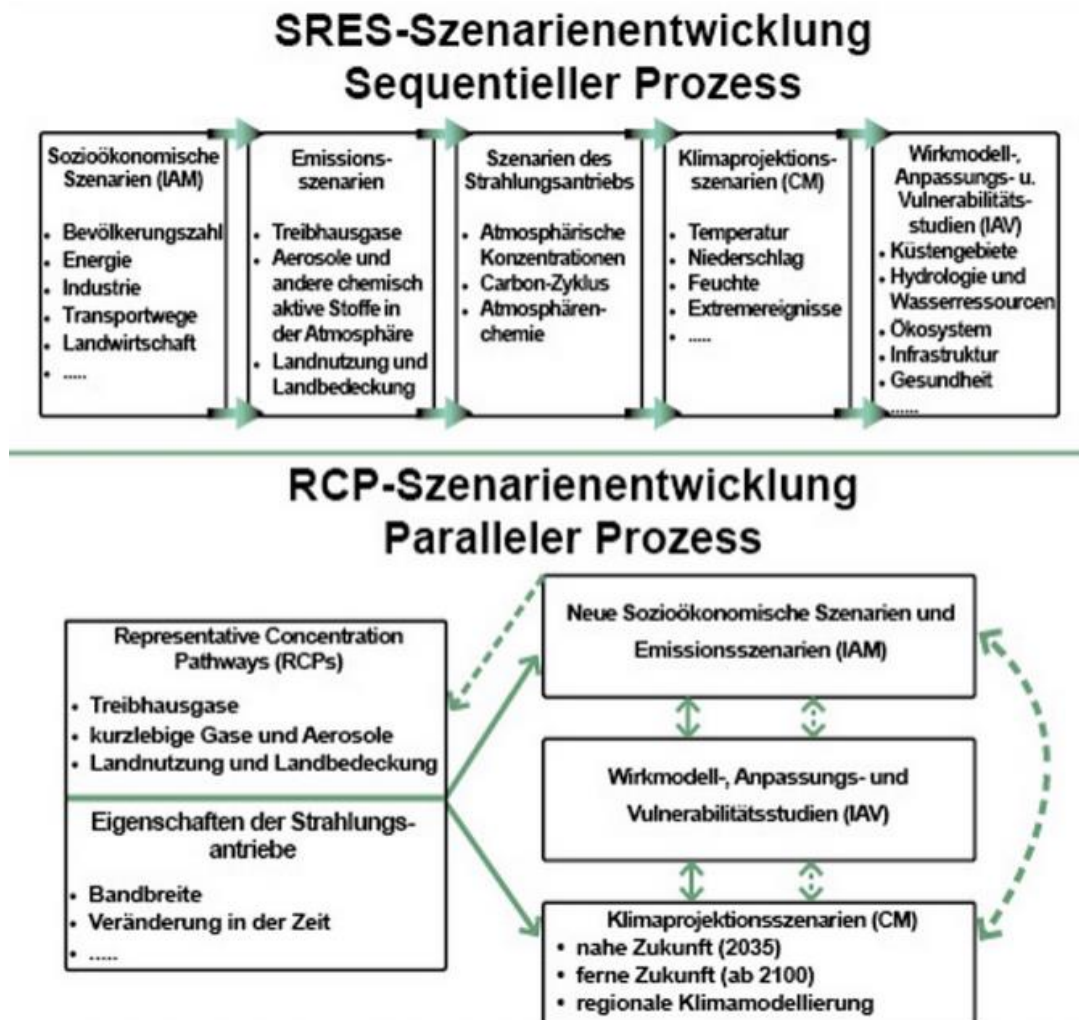


Abbildung 9 : SRES) Special Report on Emission Scenarios - und (RCP) Representative Concentration Pathways – Szenarien Entwicklung (19)

Basierend auf den entwickelten Szenarien werden für verschiedenen Zeitfenster Projektionen mittels der Klimamodelle gerechnet. Für den Zeitraum 2000 bis 2035 wurden zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Zeitreihen, mit besonderem Schwerpunkt auf den Änderungen von Extremwerten, erstellt. Bis zum Jahr 2100 werden für alle Szenarien Landnutzungs- und Emissionsänderungen in einer geringeren räumlichen Auflösung gerechnet. Für den Zeitraum 2100 bis 2300 werden dann teils die Emissionen, teils die Treibhausgaskonzentrationen konstant gehalten.(19)

Tabelle 15 : Definition RCP-"Szenarien Familien" (19)

Szenarien-name	Verantwortliche Modelliergruppe (IAM)	Szenarienentwicklung
RCP8.5	Message (A)	Ähnlich wie das bisherige A2-Szenario. Über 1370 ppm CO ₂ -Äquivalent im Jahr 2100, der Strahlungsantrieb bleibt bis 2300 auf hohem Niveau
RCP6.0	AIM (JAP)	Stabilisierung des Strahlungsantriebs im Jahr 2100 bei ca. 850 CO ₂ -Äquivalent, ähnlich dem A1B-Szenario, danach abnehmender Strahlungsantrieb bis 2300
RCP4.5	MiniCAM (USA)	Moderate Entwicklung, ähnlich dem B1-Szenario. Anstieg des CO ₂ -Äquivalent bis 2100 auf 650 ppm, der Strahlungsantrieb bleibt bei abnehmenden Emissionskonzentrationen bis 2300 auf gleichem Niveau
RCP2.6	IMAGE (NL)	"Peak-Szenario", d.h. Anstieg der Treibhausgasemissionen bis 2020 auf ca. 490 ppm, danach konstanter Treibhausgasemission- und Strahlungsantriebsrückgang auf etwa 3 Wm ⁻² im Jahr 2100. Vergleichbar dem E1-Szenario, d.h. ein "politisches" Szenario, in dem durch drastischen Rückgang der Emissionen eine globale Erwärmung um mehr als 2°C im Jahr 2100 nicht überschritten wird. Das Szenario entspricht einem Ziel der Vereinbarungen von Paris (COP21; Convention on Climate Change)

2.1.13 Kosten

Um den Preis für Dämmung und Fenster zu berechnen, wurde versucht, sich an den Preisangaben auf den Websites zuverlässiger Hersteller und Lieferanten aus der Region Wien zu orientieren. Aufgrund der geringen Differenz zwischen den Preisvorschlägen werden für die Kostenschätzung der Vorschlag von Austrotherm für Dämmung und der Vorschlag von Aluplast für Fenster berücksichtigt.

Installationskosten:

Grundsätzlich sind bei Passivhäusern an der Fassade Dämmstärken um 30 cm vorzusehen. Aus Kostengründen werden im sozialen Wohnbau überwiegend Dämmplatten aus EPS-F mit Deckschicht (Armierungsschicht +Dünnputz) auf Betonwänden eingesetzt. (15)

Die ÖNORM B 6410 empfiehlt auf Betonwänden zusätzlich zum Kleben auch das Dübeln von Außenwand-Wärmedämmverbundsystemen. Dies ist einerseits teurer als Kleben und verursacht andererseits zusätzliche Wärmebrücken. Ein Ausweg wird derzeit über eine vollständige Prüfung des Betonuntergrundes hinsichtlich der Haftzugfestigkeit gesehen. (15)

Mindestabzugfestigkeiten von 100 kN/m² erlauben eine dübellose Verklebung.¹⁵ In der Praxis wird diese von der Oberflächenqualität des Betons (Betonfläche, Verschmutzung Schalölreste, etc.) abhängen. Eine hohe Kleberqualität und eine ausreichende Festigkeit des Dämmstoffes werden dabei vorausgesetzt.⁽¹⁵⁾

Um die Komplexität der Berechnungen zu vereinfachen, wird davon ausgegangen, dass die Installationskosten für alle Dämmstärken im Hinblick auf die Verwendung von Kleber zur Befestigung der Dämmung mit Außenwänden konstant sind und Sonderpreise nicht berücksichtigt werden.

Außerdem wurde in dieser Untersuchung nur die Verwendung von Fenstertypen von Einfachverglasung bis zu Dreifachverglasung untersucht. Da sich deren Abmessungen nicht geändert haben, wird zur Vereinfachung der Berechnungen der Installationspreis für alle Fenstertypen als gleich angenommen und entsprechend in den Berechnungen berücksichtigt.

Da der Preis eines Fensters mit 1-fach Verglasung nicht verfügbar war, wurde sein Preis als Annäherung an den Preis eines Fensters mit 2-fach Verglasung betrachtet. Die Ergebnisse der Preisschätzung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 16 : Zusammenfassung die kosten für Dämmung und Fenster, Basis 2024⁽²⁰⁾

Bauteile	Bauteilspezifische Preis	Ausmaß je Bauteil	Summe Kosten je Bauteile	Kosten je Quadratmeter Wohnnutzfläche
	Euro/Einheit	Einheit	Euro	Euro/m ²
Dämmstärke 5cm	10	1149,8	11498	9
Dämmstärke 15cm	30	1149,8	34494	28
Dämmstärke 25cm	50	1149,8	57490	46
Dämmstärke 27cm	54	1149,8	62089	50
Dämmstärke 35cm	70	1149,8	80486	64
Dämmstärke 45cm	90	1149,8	103482	83
Dämmstärke 55cm	110	1149,8	126478	101
Dämmstärke 65cm	130	1149,8	149474	119
Dämmstärke 75cm	150	1149,8	172470	138
Dämmstärke 85cm	170	1149,8	195466	156
Dämmstärke 95cm	190	1149,8	218462	174
Fenster 1-fach Verglasung	240	155,4	37296	30
Fenster 2-fach Verglasung	182	155,4	28283	23
Fenster 3-fach Verglasung	361	155,4	56099	45

2.1.13.1 Energiepreis, Gas- und Strompreise

In dieser Studie werden die Auswirkungen des Energieverbrauchs über einen Zeitraum von 30 Jahren, der Lebenszyklus des Gebäudes, betrachtet. Zusätzlich wurde die jährliche Wachstumsrate des Gas- und Strompreises in den Jahren 2016 bis 2024 analysiert, und die Ergebnisse sind in dargestellt.

Tabelle 17 : Die jährliche Wachstumsrate von Gas in den Jahren 2016 bis 2024 (4,21–26)

Jahr	Gaspreis in [Cent/kWh]	Wachstumsrate [%]	Wachstumsrate ohne Jahr 2023 [%]
2024	11	-31,9	8,9
2023	16,16	60,0	0,0
2022	10,1	50,7	50,7
2021	6,7	1,5	1,5
2020	6,6	-1,5	-1,5
2019	6,7	-1,5	-1,5
2018	6,8	0,0	0,0
2017	6,8	-1,4	-1,4
2016	6,9		
Summe	54,7	76	57
jährliche Wachstumsrate [%]		6	

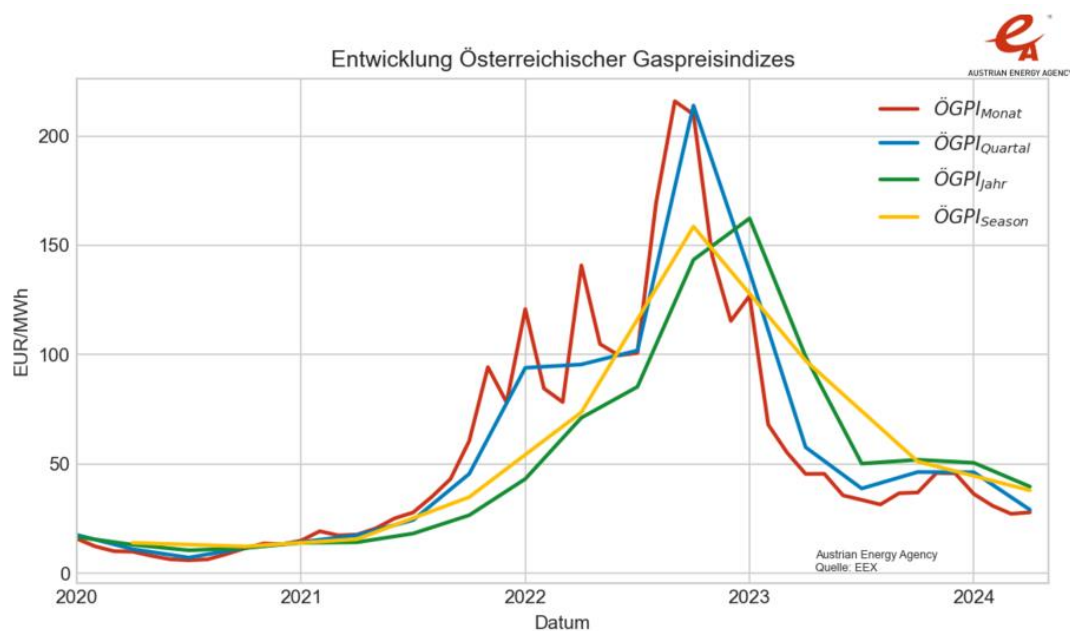


Abbildung 10 : Entwicklung Österreichischer Gaspreisindizes (27)

Bis zum Jahre 2020 bewegten sich die österreichischen und europäischen Brutto Gas- und Strompreise auf etwa gleichbleibendem Niveau, um dann 2021 und insbesondere 2022 zunächst merklich und danach – aufgrund des russischen Angriffskrieges auf die Ukraine – signifikant anzusteigen.

Tabelle 18 : Die jährliche Wachstumsrate von Strom in den Jahren 2016 bis 2024 (4,19–24)

Jahr	Gaspreis in [Cent/kWh]	Wachstumsrate [%]	Wachstumsrate ohne Jahr 2023 [%]
2024	25	-37,5	7,8
2023	40	72,4	0,0
2022	23,2	2,7	2,7
2021	22,6	5,6	5,6
2020	21,4	3,9	3,9
2019	20,6	3,5	3,5
2018	19,9	1,5	1,5
2017	19,6	-2,5	-2,5
2016	20,1		
Summe	152,3	50	22
jährliche Wachstumsrate [%]		3	

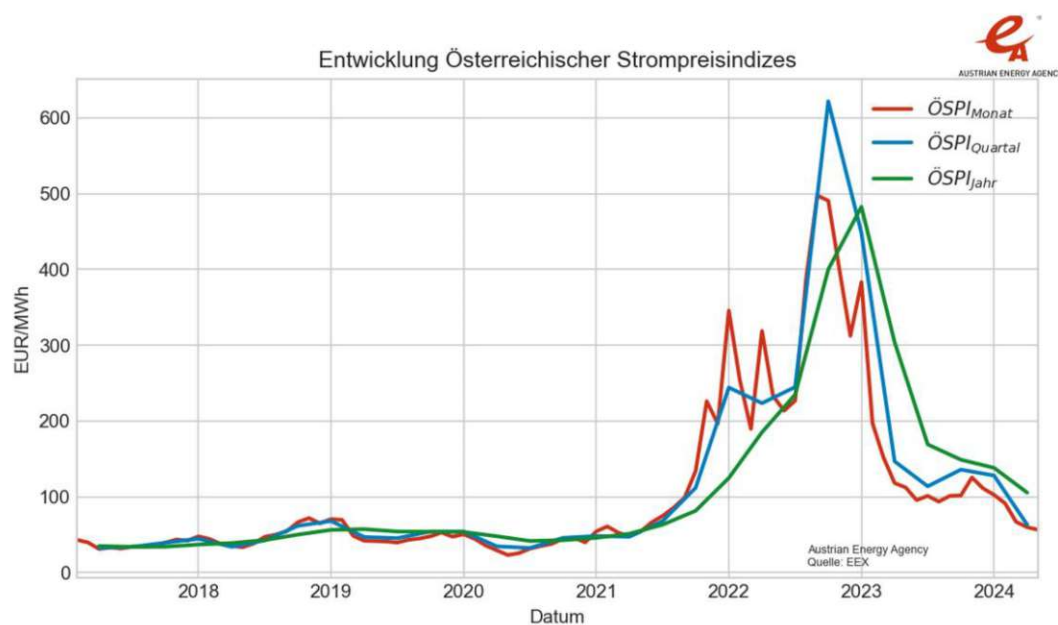


Abbildung 11 : Entwicklung Österreichischer Strompreisindizes (27)

Ohne Berücksichtigung Herausrechnen des unkonventionellen Anstiegs von 2023 kann die folgende Formel zur Ermittlung der Wachstumsrate verwendet werden.

$$CAGR = \left(\sqrt[n]{\frac{Endwert}{Anfangswert}} - 1 \right) * 100$$

Formel 2-13

CAGR Wachstumsrate

n Anzahl der Jahre

Die Abkürzung CAGR (englisch: „Compound Annual Growth Rate“) gibt die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von Investitionen oder Kennzahlen im Zeitablauf unter Berücksichtigung des Zinseszins-effekts an. Im Idealfall wird ein gleichmäßiges Wachstum unterstellt, was in der Praxis selten der Fall ist. Die Compound Annual Growth Rate (CAGR) ist eine Methode zur Darstellung der durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate über einen bestimmten Zeitraum. Sie kann für verschiedene operative Kennzahlen und Basiswerte verwendet werden. (28)

Die jährliche Wachstumsrate der Gaskosten für den Zeitraum von 2016 bis 2024 betrug 6%.

Um die Energieverbrauchs-kosten für einen Zeitraum von 30 Jahren basierend auf einer konstanten Wachstumsrate zu berechnen, wird die folgende Formel verwendet, die auf dem Konzept des exponentiellen Wachstums beruht:(28)

$$P = P_0 * (1 + r)^n$$

Formel 2-14

P zukünftigen Preis

P₀ aktuellen Preis

r Wachstumsrate

n Anzahl der Jahre

2.1.13.2 Wärmeerzeuger Preis

Für die Preisberechnung von Gas Heizkessel und Wärmepumpe von verlässlichem Hersteller und Lieferanten aus der Region Wien wurden für die Kostenschätzung das Angebot von Vaillant berücksichtigt. Um die Komplexität der Berechnungen zu vereinfachen, wird angenommen, dass die Installationskosten für alle Wärmeerzeuger konstant sind und spezifische Preise nicht berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse der Preisschätzung sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 19 : Auswahl von Modell und Preis von Wärmeerzeuger (29)(30)

Wärmeerzeuger Typ	Anbieter	Modell	Leistungsbereich [kW]	Leistungszahl	Preis [€]
Gas Heizkessel	Vaillant	ecoVIT VKK 656,4	19,6-66,3		13 738,8
Sole/Wasser Wärmepumpe	Vaillant	VWS 260/3 S1	40,4	4,7	32 865,6

2.1.13.3 steigender CO₂-Preis(15)

Die CO₂-Bepreisung führt einer Modellrechnung des Umweltbundesamtes zufolge im Jahr 2025 zu einer Reduktion der österreichischen CO₂-Emissionen in den Sektoren außerhalb des EU ETS um 4,5 %. Eine Modellrechnung des WIFO weist bei einer Bepreisung von 55 Euro pro Tonne CO₂ über einen 20-jährigen Simulationshorizont bis in die frühen 2040er Jahre eine gesamtwirtschaftliche Reduktion der CO₂-Emissionen um 6,1 % aus (WIFO, 2022). Langfristig sollte die Höhe der CO₂-Bepreisung so angepasst werden, dass keine Einnahmen aus der CO₂-Bepreisung mehr kompensiert werden müssen da auch keine Einnahmen mehr lukriert werden, wenn kein CO₂ emittiert wird, wenn genügend leistbare klimafreundliche Alternativen vorhanden sind und auch genutzt werden.(15)

Die Bepreisung von CO₂ ist neben anderen politischen Instrumenten, wie zum Beispiel Förderungen oder ordnungspolitischen Maßnahmen einer der entscheidenden Schritte für die Transformation zu einer klimaneutralen Wirtschaft, über den unter Expertinnen große Einigkeit herrscht (IPCC, 2018, Umwelt- Bundesamt, 2019c). Durch die Bepreisung von CO₂ müssen die gesellschaftlichen Kosten, die durch die Nutzung von fossilen Brennstoffen entstehen wie Klima- und Gesundheitsschäden von dem Verursacher: innen selbst getragen werden. Die resultierende Kostenwahrheit im Sinne des Verursacherprinzips soll eine volkswirtschaftlich sinnvolle und vor allem schonende Nutzung von Naturgütern gewährleisten. Ein adäquates Niveau der CO₂-Bepreisung ist dafür ein zentraler Faktor. Um Österreichs Klimaziele zu erreichen, sollte der derzeit bis 2025 festgelegte Preis pro Tonne CO₂ danach stetig weiter ansteigen.(15)

Auf Basis einer Analyse für Deutschland (Edenhofer et al., 2019) einen Preiskorridor für den Emissionshandel von 35–180 Euro pro Tonne CO₂ (2020) bis 70–450 Euro pro Tonne CO₂ (2030) vor (Stagl et al., 2020).(15)

2.1.13.4 Kosteneffizienz vs. Kostenoptimalität

Die Konzepte Kosteneffizienz und Kostenoptimalität sind verwandt, aber unterschiedlich. Kostenoptimalität ist ein Sonderfall der Kosteneffizienz. Eine

Maßnahme oder ein Maßnahmenpaket ist dann kosteneffektiv, wenn die Kosten der Umsetzung geringer sind als der Wert des resultierenden Nutzens, bezogen auf die erwartete Laufzeit der Maßnahme. Beide basieren auf dem Vergleich der Kosten und (preislichen) Einsparungen einer potenziellen Maßnahme – in diesem Fall der Einführung bestimmter Mindestanforderungen an die Energieeffizienz von Gebäuden. Zukünftige Kosten und Einsparungen werden diskontiert, wobei das Endergebnis ein „Nettobarwert“ ist. Wenn dies positiv ist, ist die Maßnahme „kosteneffektiv“ (für die besonderen Annahmen, die bei der Berechnung verwendet wurden). Das „kostenoptimale“ Ergebnis ist die Aktion oder Kombination von Aktionen, die den Kapitalwert maximiert.(8)

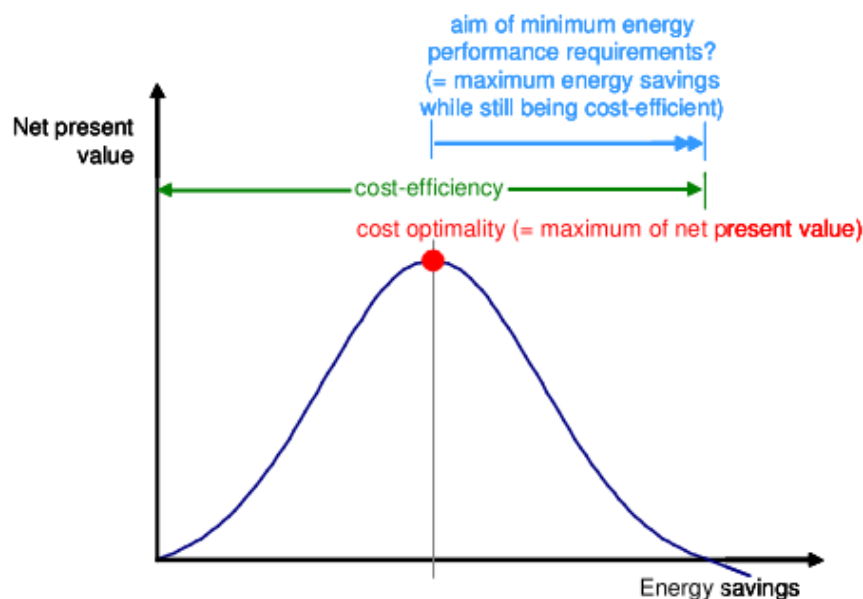


Abbildung 12 : Schema zur Darstellung von Kostenoptimalität und Kosteneffizienz(8)

2.1.14 Wärmepumpen (31)

Wärmepumpen stellen im energieeffizienten Neubau inzwischen die dominierende Heiztechnologie dar. Eine Wärmepumpe holt drei- bis viermal so viel Energie aus Umweltwärme heraus, als sie für den Betrieb benötigt. Derzeit erhältliche Wärmepumpen sind also drei- bis fünfmal energieeffizienter als Erdgaskessel. Damit sind sie bei Weitem ökologischer als Gasheizungen – auch mit dem derzeitigen österreichischen oder europäischen Strommix. Außerdem können Wärmepumpensysteme mit wenig Mehraufwand im Sommer auch kühlen und schaffen damit einen weiteren Nutzen. Wärmepumpen tragen daher doppelt bei: durch Effizienzverbesserung des Heizsystems und Energieträgerwechsel auf grünen Strom. (31)

2.1.14.1 Der Einsatz von Wärmepumpen (31)

Im Jahr 2022 wurden rund 10 % des Raumwärmebedarfs in Österreich durch Wärmepumpen gedeckt. In einigen europäischen Ländern sind Wärmepumpen bereits die häufigste Wärmequelle im Haushaltsbereich. In Norwegen sind 60 % der Gebäude mit Wärmepumpen ausgestattet, in Schweden und Finnland sind es über 40 %.

Die Verkaufszahlen und der Einsatz von Wärmepumpen steigen steil an und das Installationstempo nimmt weiter zu. Allein 2022 wurden etwa 62.000 Wärmepumpen verbaut, was eine Steigerung von 60 % im Vergleich zu 2021 bedeutet (Abbildung 13). (31)

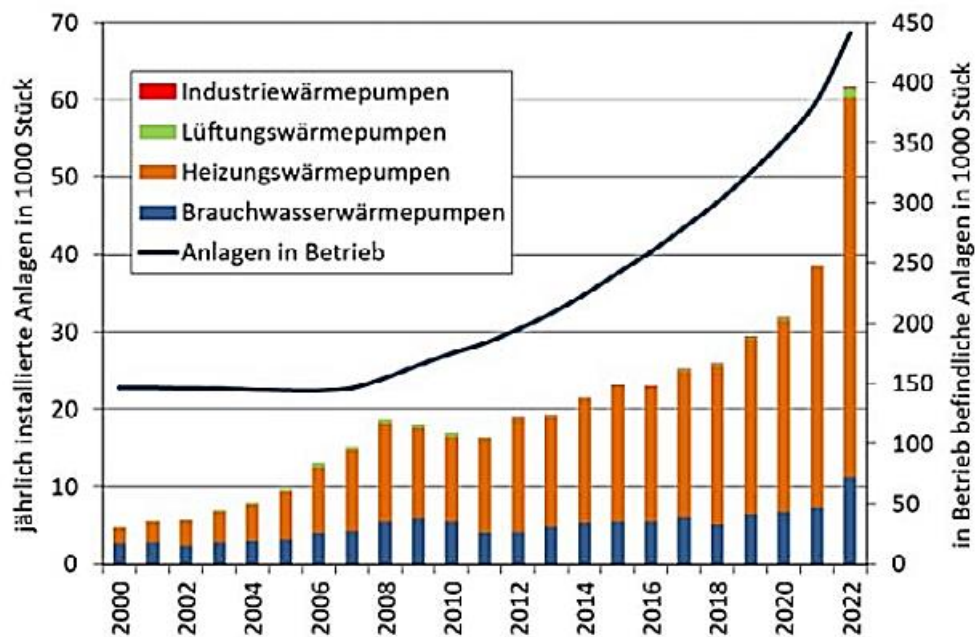


Abbildung 13 : Wärmepumpen-Installationen in Ö aus Marktentwicklung der Wärmepumpen in Österreich bis 2022, (31)

Grundsätzlich stehen drei Wärmequellen zur Verfügung. Bei allen hebt die Wärmepumpe die Temperatur einer Wärmequelle an, um sie zum Beispiel für Radiatoren oder Fußbodenheizungen zu nutzen. In der Grafik oben sind die Wärmequellen für Heizungs- Wärmepumpen dargestellt, vom Grundwasser über das Erdreich bis hin zur Luft. Eine weitere Möglichkeit ist die sogenannte Luft-Luft-Wärmepumpe, welche ebenfalls die Wärme aus der Umgebungsluft nimmt, sie aber nicht innen an ein Wasserverteilsystem abgibt, sondern die Wärme mittels Gebläse Konvektor abgibt, wie die bekannten Klimageräte. (31)

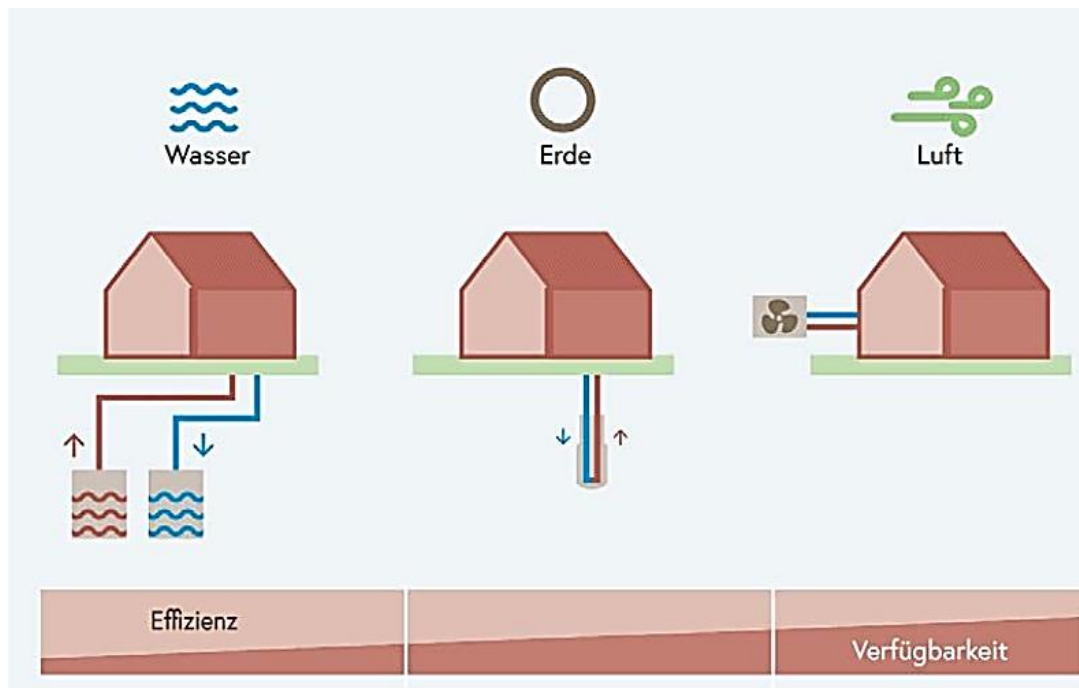


Abbildung 14 : Wärmequellen für Heizungs- Wärmepumpen (31)

Der verstärkte Einsatz von Wärmepumpen reduziert zwar insgesamt den Energieverbrauch, führt aber zu einem erhöhten Strombedarf im Netz. Dieser kann durch einen schritt- weisen Ersatz von Strom-Direktheizungen wieder reduziert werden (vgl. Abbildung 15).

2020 wurden in Österreich ca. 7 % der Energie für Heizung und Warmwasser aus Strom- Direktheizungen bereitgestellt (ca. 6 TWh), während ca. 8 % durch Wärmepumpen bereit- gestellt werden. Für diese Wärme wird jedoch nur ca. 3 % in Form von Strom eingesetzt,

und die restlichen 5 % stammen aus Umgebungswärme.

Wenn im Jahr 2040 etwa 25 % des Heizenergiebedarfs durch Wärmepumpen bereit- gestellt werden (inkl. Großwärmepumpen in der Fernwärme), kommt davon etwa 7 % aus elektrischem Strom und die restlichen 18 % aus der Umgebungswärme.

Um das Ziel zu erreichen sind daher bilanziell nur 2 % zusätzlicher Strom erforderlich, wenn die Strom-Direktheizungen ausgetauscht werden. Gleichzeitig ist auch mit einer Reduktion des gesamten Energiebedarfs durch thermische Sanierung und Effizienzverbesserungen zu rechnen. In Summe wird daher der elektrische Energieaufwand für Raumwärme und Warmwasser sinken, siehe Abbildung 15. (31)

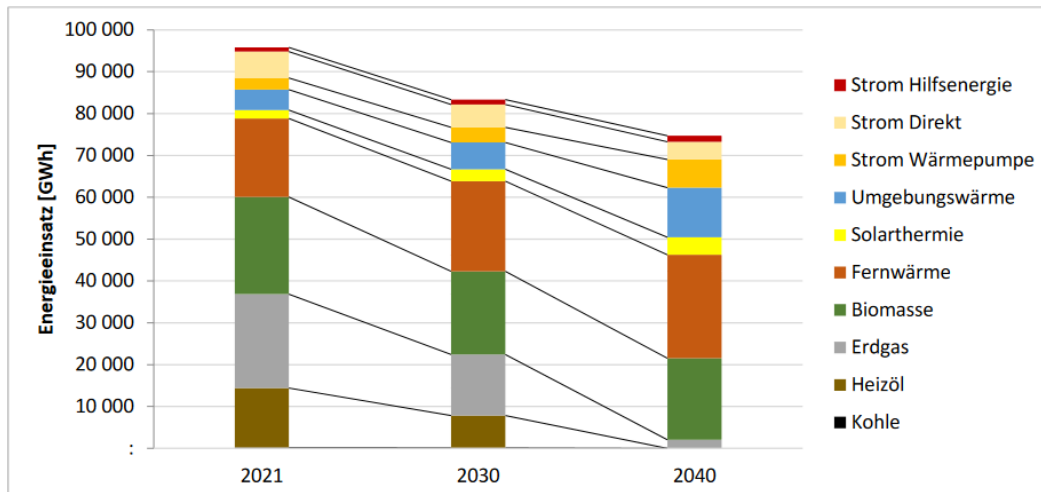


Abbildung 15 : Entwicklung der Energieträgereinsätze für Raumheizung und Warmwasser in Wohn- und Dienstleistungsgebäuden, (31)

2.2 Beschreibung des untersuchten Gebäudes

2.2.1 Standortinformationen

Die Passivhaus- Wohnanlage Utendorfsgasse liegt am westlichen Stadtrand von Wien, im

14. Wiener Gemeindebezirk Penzing.(15)

Nachfolgende Abbildung 16 zeigt die Lage der Utendorfsgasse in A-1140 Wien.



Abbildung 16: Die Lage der Utendorfsgasse in Wien (15)

Die Anlage umfasst 3 Gebäude mit insgesamt 39 Wohneinheiten inklusive Tiefgarage und bietet eine Wohnnutzfläche von 2.987 m²

In Abbildung 17 ist eine isometrische Darstellung der gesamten Wohnhausanlage ersichtlich, sowie Ansichtsdarstellungen des messtechnisch erfassten Gebäudes 2 (bzw. gekennzeichnet als Haus 2).(32)

Für diese Studie wurde Gebäude 2 von drei bestehenden Gebäuden untersucht.

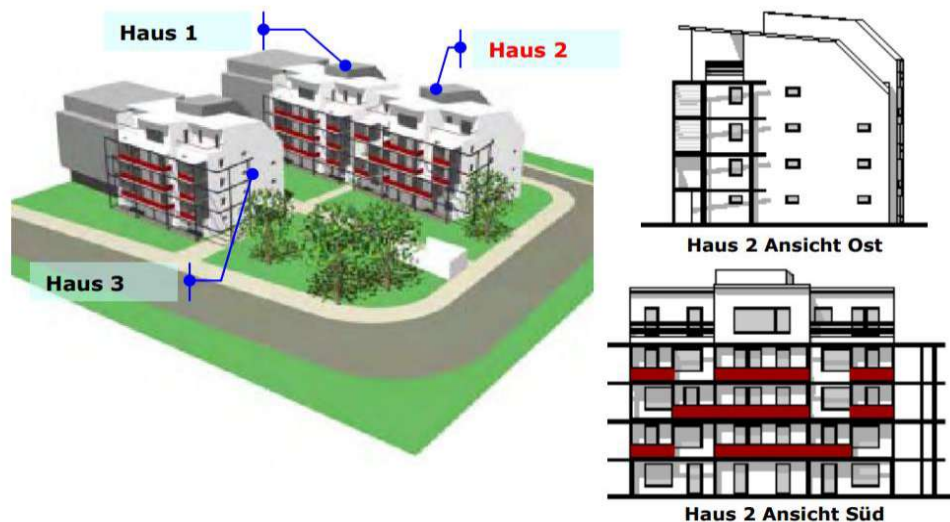


Abbildung 17: Ansichtsdarstellungen Utendorfgasse (32)

2.2.2 Geographische und klimatische Daten

In nachfolgender Tabelle 20 sind die lokalen Klimadaten für den Standort Wien Simmering laut OIB-Klimadatenkatalog angeführt.(32)

Tabelle 20: Klimadaten Wien Penzing (32)

PLZ	ORTSNAME	Seehöhe	HGT 12/20	HT ₁₂	θ_e	θ_{ne}	I _{horizontal}
		m	Kd/a	d	°C	°C	kWh/m ² a
1110	Wien Simmering	210	3474	211	3,54	-13	1122,4
Heizgradtage HGT _{12/20} in der Heizperiode Heiztage HT ₁₂ in der Heizperiode Mittlere Außentemperatur θ_e in der Heizperiode Norm-Außentemperatur θ_{ne} Globalstrahlungssumme auf horizontale Fläche I _{horizontal} für Wien nach PEP							

Gemäß Klimadatenkatalog des OIB treten in Wien Penzing im Mittel 3474 Heizgradtage auf und die Auslegungstemperatur für die Heizung liegt bei -13°C . (32)

Die Globalstrahlungssumme auf die horizontale Fläche beträgt gemäß Standardwetterdatensatz für Wien, der im Rahmen des EU-Projektes „Promotion of European Passive Houses (PEP)“ für die Verwendung im Passivhausprojektierungspaket (PHPP) festgelegt wurde $1122,4 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$. Der gemessene Wert für die Globalstrahlungssumme auf die horizontale Fläche beträgt für den Standort Utendorfgasse im ersten Messjahr 2007 gesamt $1170,9 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$ und es wurden für dieses Jahr 3726 Heizgradtage ermittelt. (32)

2.2.3 Beschreibung des Projektes und des Systemkonzeptes

2.2.3.1 Gebäudekonzept und Architektur

Für diese Studie wurde Gebäude 2 von drei bestehenden Gebäuden untersucht.

An das Grundstück Utendorfgasse 7 in Wien 1140, schließt auf der Westseite eine geschlossene Blockrandbebauung an. Die Baukörper haben eine Länge von etwa 19 m und eine Tiefe von 15 m. Die bebaute Fläche beträgt ca. 1252 m^2 .

Die Gebäude umfassen ein Erdgeschoss, 3 Obergeschosse und ein Dachgeschoss. Alle Wohnungen haben südseitige Fenster und Loggien bzw. Balkone (im Dachgeschoss Terrassen). Die Erschließung der Baukörper erfolgt durch nordseitig gelegene Stiegehäuser.

Unter dem Gebäudekomplex befindet sich eine Tiefgarage mit 13 PKW-Stellplätzen. Die warme Hülle des Passivhauses beinhaltet die Wohngeschosse und das Stiegenhaus. Das Erdgeschoss ist zur Tiefgarage hin gedämmt und thermisch entkoppelt.

Die meisten Wohnungen sind von zwei Seiten belichtet und können quergelüftet werden.

Es sind folgende Wohnungstypen vorgesehen:

2-Zimmer-Wohnungen (2 Personen)

3-Zimmer-Wohnungen (3-4 Personen)

4-Zimmer-Wohnungen (4-5 Personen)

Während die nordseitigen Fassaden bewusst kleine Fensteröffnungen haben, gibt es auf der Südseite großflächige Fenster und davor eine Zone mit Balkonen/Loggien, die thermisch vom Gebäude getrennt ist.

In nachfolgender Abbildungen ist der Wohnkomplex in der Utendorfgasse dargestellt..(32)



Abbildung 18 : Südansicht Haus 2 Utendorfsgasse (32)



Abbildung 19 : Nordansicht Haus 2 Utendorfsgasse (32)

In den nachfolgenden Abbildungen sind die Grundrisse der einzelnen Geschosse des Wohngebäudes (Haus 2) dargestellt.

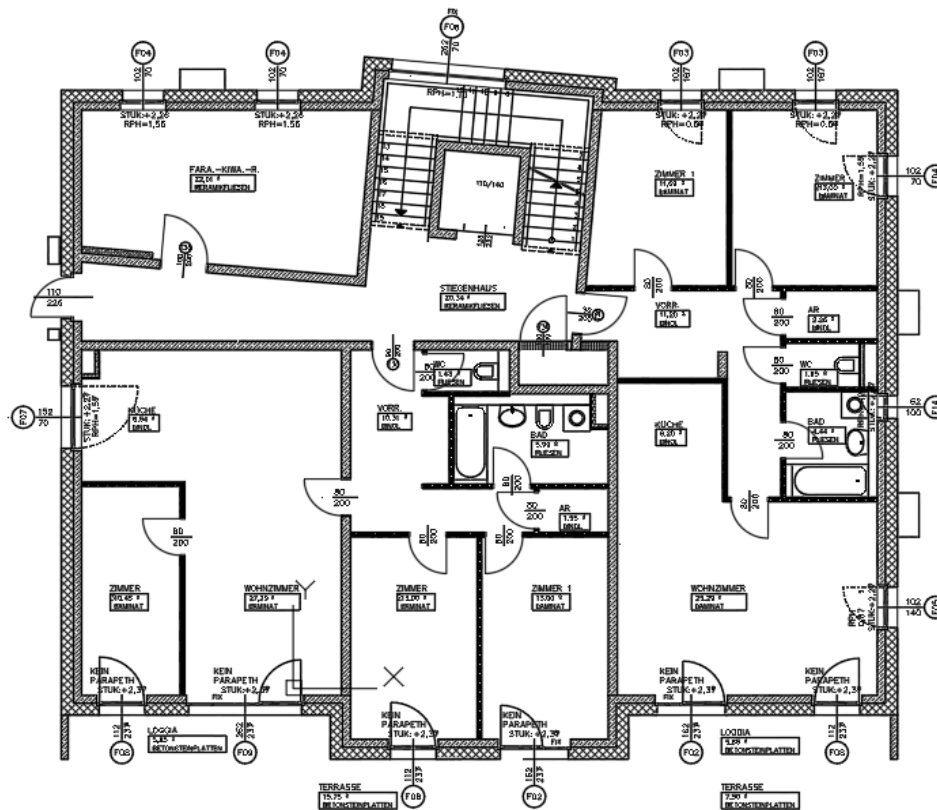


Abbildung 20 : Grundriss Erdgeschoss Haus 2 (32)

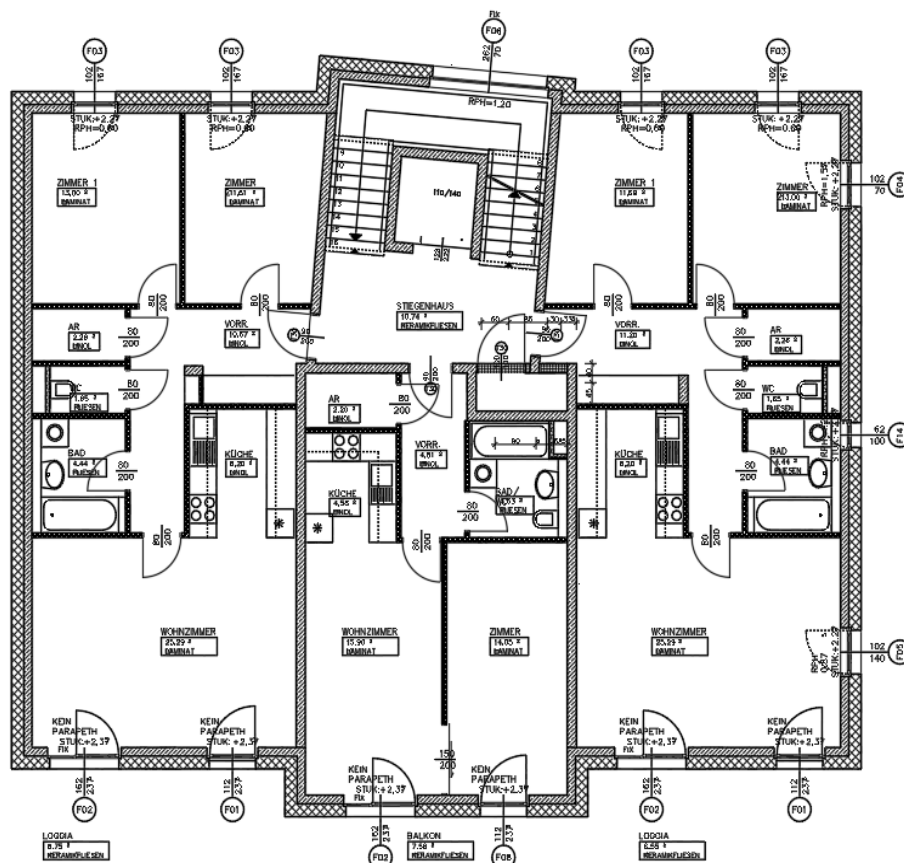


Abbildung 21 : Grundriss Regelfgeschoss Haus 2 (32)

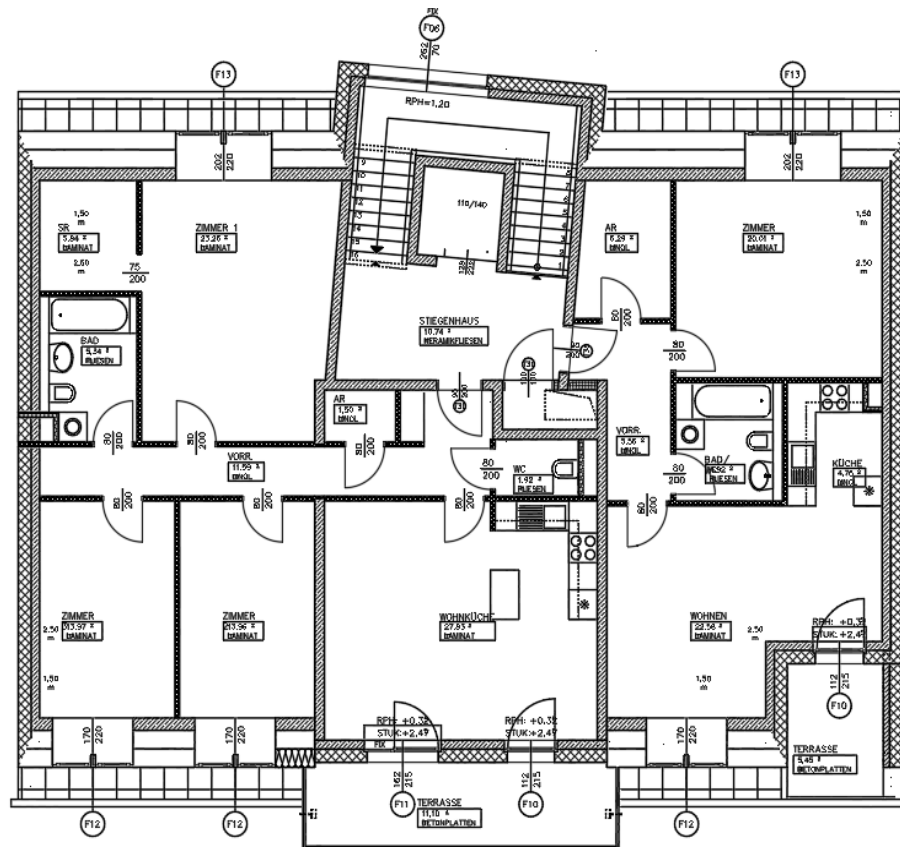


Abbildung 22 : Grundriss Dachgeschoss Haus 2 (32)

Insgesamt beträgt die Energiebezugsfläche für das gesamte Gebäude 1252,6 m²

2.2.3.2 Beschreibung der Bauweise

Die Außenwand des Gebäudes besteht aus Stahlbeton mit 27 cm außenliegender Wärmedämmung; die Fassadenoberfläche wurde verputzt ($U\text{-Wert} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die tragenden Keller- und Garagenwände sind aus Stahlbeton, ebenso die Decke der Tiefgarage, die im Bereich der Häuser 35 cm stark gedämmt wurde ($U\text{-Wert} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die geneigten Dachflächen bestehen aus Stahlbeton mit zwei Lagen 22 cm dicker Dämmung in einer Kreuzlage aus Konstruktionsvollholz und Blecheindeckung ($U\text{-Wert} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die Holzrahmen der Fenster sind mit Aluminium-Dämmschalen Typ „edition“ der Firma Internorm ausgestattet. Die Fenster haben eine 3-fach-Wärmeschutzverglasung mit Kryptonfüllung ($U_w\text{-Wert} = 0,91 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die U -Werte der Aufbauten sind in Tabelle 21 aufgelistet.(32)

Tabelle 21 : Aufbauten der wichtigsten Außenbauteile(32)

Konstruktion	Thermische relevante Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m²K]
Außenwand gegen Außenluft	Dünnputz Wärmedämmung Stahlbeton	0,5 27 18	0,115
Außenwand UG gegen Tiefgarage	Stahlbeton Wärmedämmung MF Dampfsperre sd>100mm Gipskarton	20 20 - 1,3	0,231
Schrägdach Wohnung und Stiegenhaus	Innenputz Stahlbeton Dampfsperre und Notdach Wärmedämmung EPS Wärmedämmung EPS Unterspannbahn Blecheindeckung	0,5 20 - 22 22 - -	0,096
Flachdach (Terrasse)	Stahlbeton Dampfsperre Wärmedämmung EPS Dachabdichtung Rieselschutzflies Splittbett Betonsteine	20 - 30 - - 5 -	0,119
Erdgeschossdecke gegen Tiefgarage	Bodenbelag Estrich Dampfbremse TSD Wärmedämmung EPS Stahlbeton	1 5 - 4 35 30	0,094
Erdgeschossdecke gegen Erdreich	Bodenbelag Estrich Dampfbremse Wärmedämmung EPS Abdichtung gegen Erdfeuchte WU- Beton	1 5 - 35 - -	0,106
Außenwand UG gegen Keller	Stahlbeton Wärmedämmung MF Dampfsperre, sd>100mm Gipskarton	20 20 - 1,25	0,231
Außenwand gegen Erdreich	Stahlbeton Abdichtung gegen Erdfeuchte Perimeterdämmung	25 - 28	0,138
Außentür			1,5
Fenster			0,87-0,99

2.2.3.3 Darstellung von Anschlussdetails

Gebäuden in Utendorfgasse haben nicht nur der sehr gute Wärmeschutz aller Bauteile der Gebäudehülle im Regelquerschnitt, sondern auch die wärmebrückenfreie Ausführung aller Bauteilanschlüsse.

Ein weiterer Schwerpunkt in diesem Gebäude liegt bei der Planung luftdichter Bauteilanschlüsse um den Passivhaus-Grenzwert der Luftdichtheit n_{50} von $0,6h^{-1}$ und damit eine Reduktion der Wärmeverluste durch In- und Exfiltration, um den Faktor 4 bis 6 gegenüber durchschnittlichen Neubauten zu erreichen.(32)

■ Anschlussdetail Balkon

Anforderungen an den Balkonanschluss sind die

- Wärmebrückenminimierung,
- die Aufrechterhaltung der Luftdichtheit bei allfälligen Durchdringungen der Luftdichtheitsebene und die
- Aufnahme der Vertikal- und Horizontalkräfte aus den Balkonlasten.

Um Wärmebrücken zu vermeiden sind die Balkone, als Teil der außerhalb der "warmen Zone" gelegenen Bauteile, möglichst vom Gebäude zu entkoppeln. Ab einer gewissen Höhe wird eine Befestigungsvariante mit frei vor der Fassade stehenden Balkonkonstruktionen durchgeführt.(32)

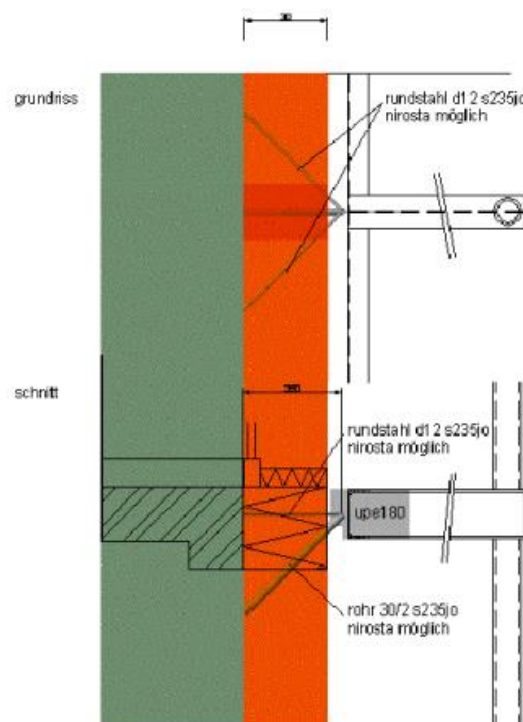


Abbildung 23 : Auflagerpunkte der Balkone(32)

Die Auslegung wird so getroffen, dass die Haltepunkte sowohl die halben Vertikallasten als auch die gesamten Horizontallasten des Balkons übernehmen können. Die andere Hälfte der Vertikallasten wird über Stahlsteher im Freien übertragen. Die Haltepunkte werden am Gebäude in jeder Querscheibe (~6.5m bis 7.5m) ausgebildet.

■ Linienförmige Lagerung mit Porenbetonaufleger

Die 27 cm Dämmung an der Außenwand und die 35 cm an der Tiefgaragendecke weisen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK auf. Der Fußboden ist aus 20 cm Beton, 35 cm Dämmung, 5 cm Estrich und 1 cm Bodenbelag aufgebaut. Der Porenbeton hat einen Querschnitt von 20 auf 40 cm und eine Wärmeleitfähigkeit von 0,11 W/mK.

Der lineare Wärmebrückenkoeffizient des Porenbetonauflegers beträgt 0,033 W/mK (siehe Abbildung 24). Für die Zwischenwände ergibt sich derselbe Wert.(32)

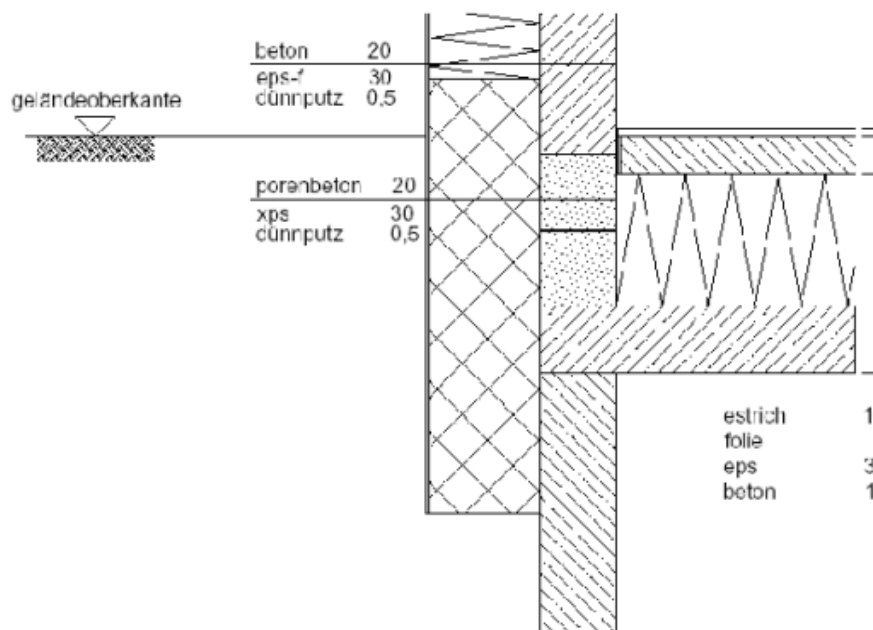


Abbildung 24 : Unterste Geschossdecke - Schnitt durch Auflager aus Porenbeton(32)

■ Thermische Zonen und Verschattungskonzept

Die thermische Zonierung in der Utendorfgasse beruht auf der Unterscheidung zwischen unbeheizten Zonen (Stiegenhaus inkl. Gangflächen) und beheizten Zonen (Wohnungen).

Diese beiden Bereiche sind von einer hochgedämmten Gebäudehülle umschlossen, die zur Vermeidung von Kältebrücken möglichst lückenlos ausgebildet werden muss. Um sommerliche Überhitzung zu vermeiden und hohe passive solare Gewinne im Winter zu erreichen ist es notwendig, den Sonneneinfall in den Wohnräumen detailliert zu betrachten. (32)

Im Sommerfall bei hohem Sonnenstand über 60 Grad dient die im übergeordneten Geschoss liegende Balkonplatte als Sonnenschutz. Im Dachgeschoss wurden zusätzliche

Verschattungseinrichtungen vorgesehen, um einen übermäßigen solaren Energieeintrag in die Wohnräume zu vermeiden.

Bei niedrigem Sonnenstand im Winter können hingegen die Sonnenstrahlen tief in die Innenräume eindringen und reduzieren als passive solare Gewinne den Heizwärmebedarf der Wohneinheiten.(32)

Abbildung 25 zeigt einen Schnitt durch das Gebäude und den theoretischen Sonneneinfall durch die Südfassade.

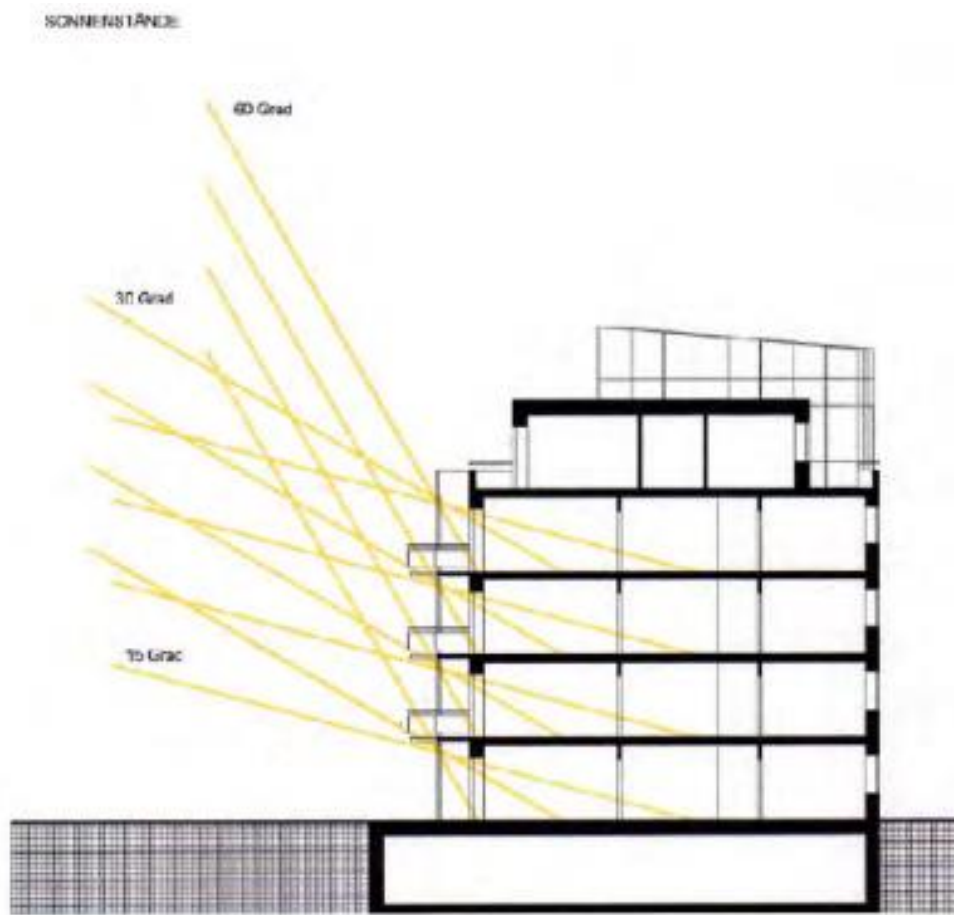


Abbildung 25 : Verschattungsschema(32)

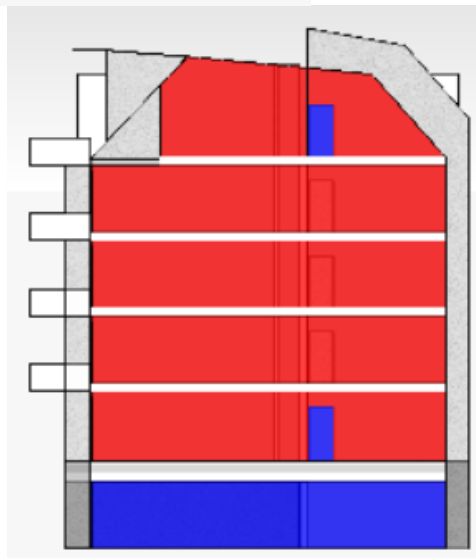
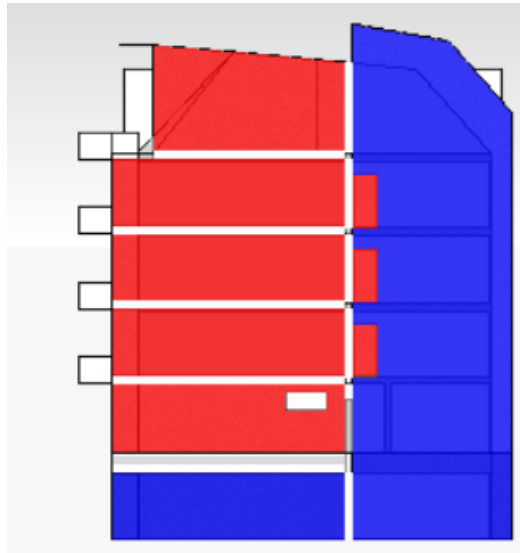


Abbildung 26 : Thermische Zonierung (Schnitt von IDA.ICE)

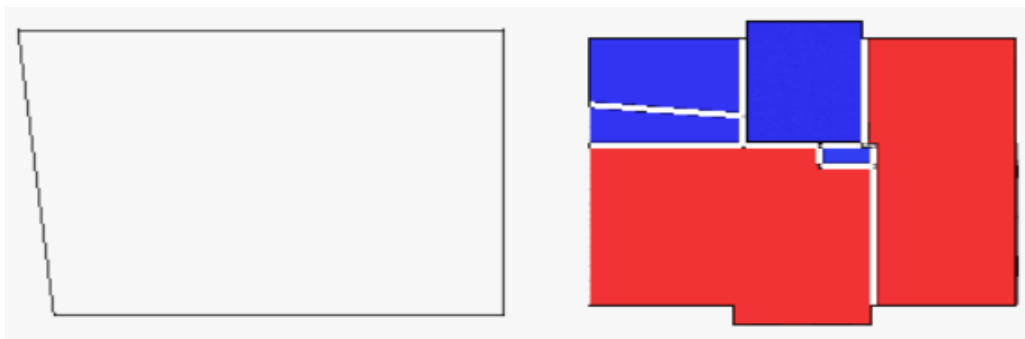


Abbildung 27 : Thermische Zonierung (Grundriss Erdgeschoss von IDA.ICE)

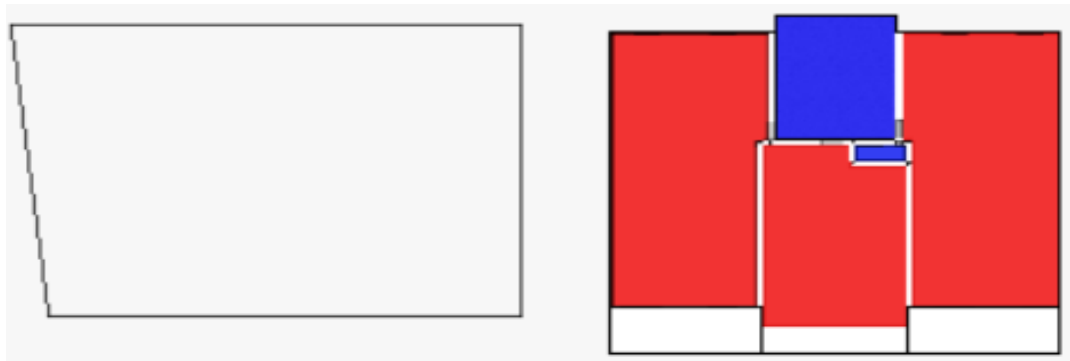


Abbildung 28 : Thermische Zonierung (Grundriss Regelgeschoss von IDA.ICE)

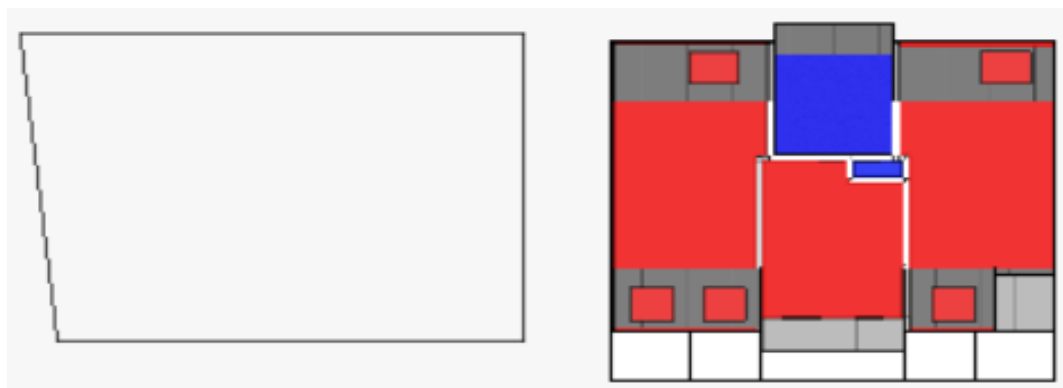


Abbildung 29 : Thermische Zonierung (Grundriss Dachgeschoss von IDA.ICE)

Unbeheizte Zone

Beheizte Zone

2.2.3.4 Haustechnikkonzept

2.2.3.4.1 Semizentrales Lüftungskonzept

Jedes der drei Gebäude ist mit einer semizentralen Lüftungsanlage mit Aufdachmontage ausgestattet (Abbildung 30). (15)

Nachheizregister

Die Regelung des Nachheizregisters zielt auf 22 °C empfundene Temperatur in der Zuluft-Zone ab. Die maximale Heizlast ist mit 10 W/m² Wohnnutzfläche begrenzt. (15)

Ventilatoren

Der Luftwechsel wurde in allen Zonen mit 0,4 /h festgelegt. Die dazu erforderlichen Volumenströme werden durch drehzahlregelte Ventilatoren in die Zonen eingeblasen bzw. abgesaugt.(15)

Die Lüftungsanlage besitzt je eine zentrale Wärmerückgewinnungseinheit, eine zentrale Luftfilterung und Stützventilatoren. Die einzelnen Wohnungen sind mit dezentral steuerbaren Zu- und Abluftventilatoren und einem Zuluft-Nachheizregister ausgestattet, welches über eine 45kW Gas- Brennwerttherme gespeist wird. Generell wird die Zuluft in Wohnzimmern, Schlafzimmern und Kinderzimmern eingebracht und die Abluft in WC's, Badezimmern, Abstellräumen und Küchen abgesaugt.(33)

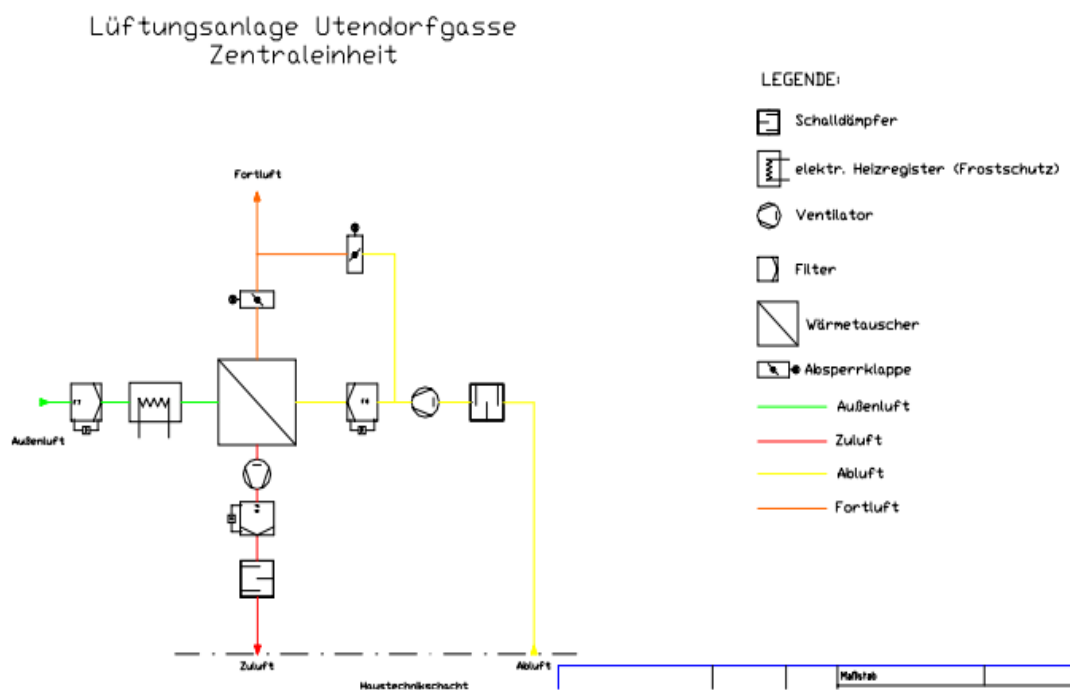


Abbildung 30: Schema Zentraleinheit der Lüftungsanlage für das Projekt Utendorfgasse (34)

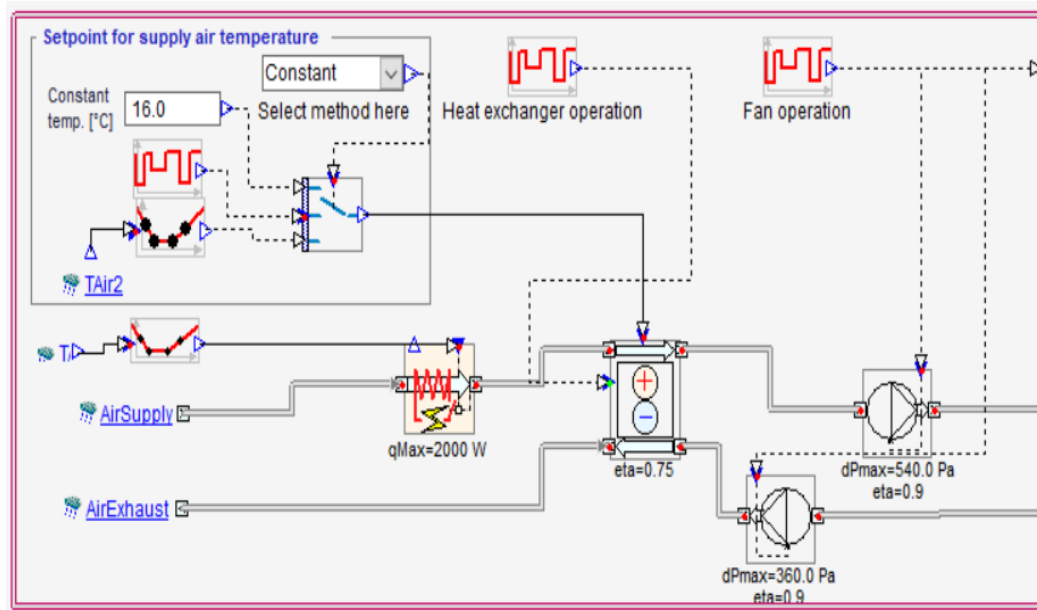


Abbildung 31: Schema Zentraleinheit der Lüftungsanlage (von IDA.ICE)

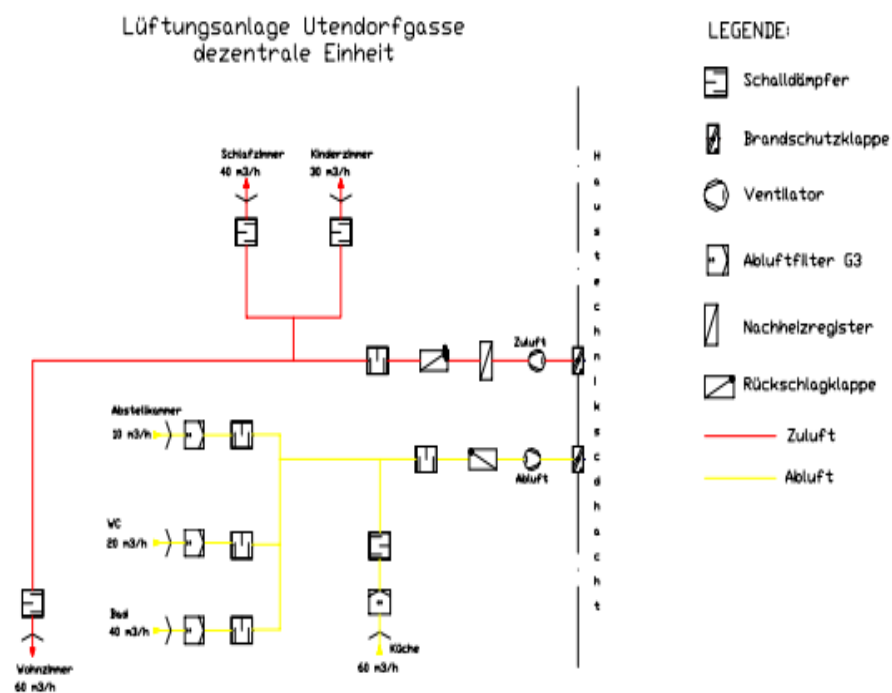


Abbildung 32 : Bauteile des Wohnungsstranges (15)

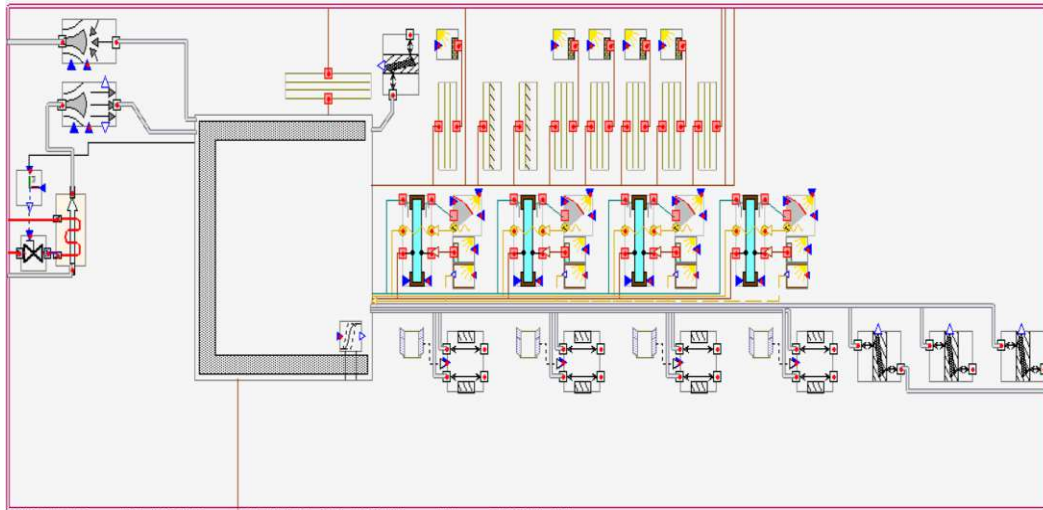


Abbildung 33 : Bauteile des Wohnungsstranges von IDA.ICE

In nachfolgender Abbildung ist das energie- und lüftungstechnische Konzept der Wohnanlage in der Utendorfgasse schematisch dargestellt.

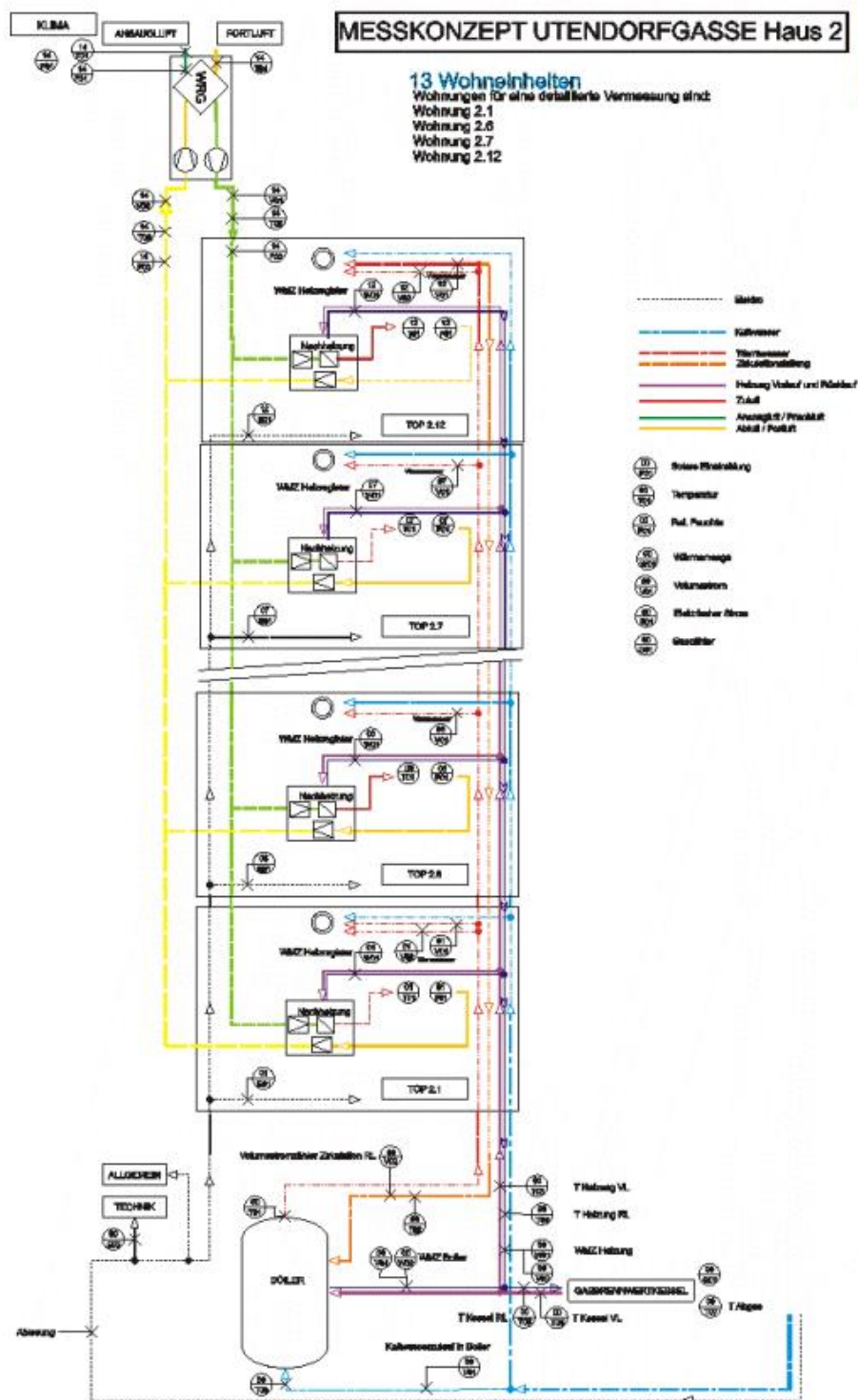


Abbildung 34 : Lüftungstechnische Konzept der Wohnanlage in der Utendorfsgasse (32)

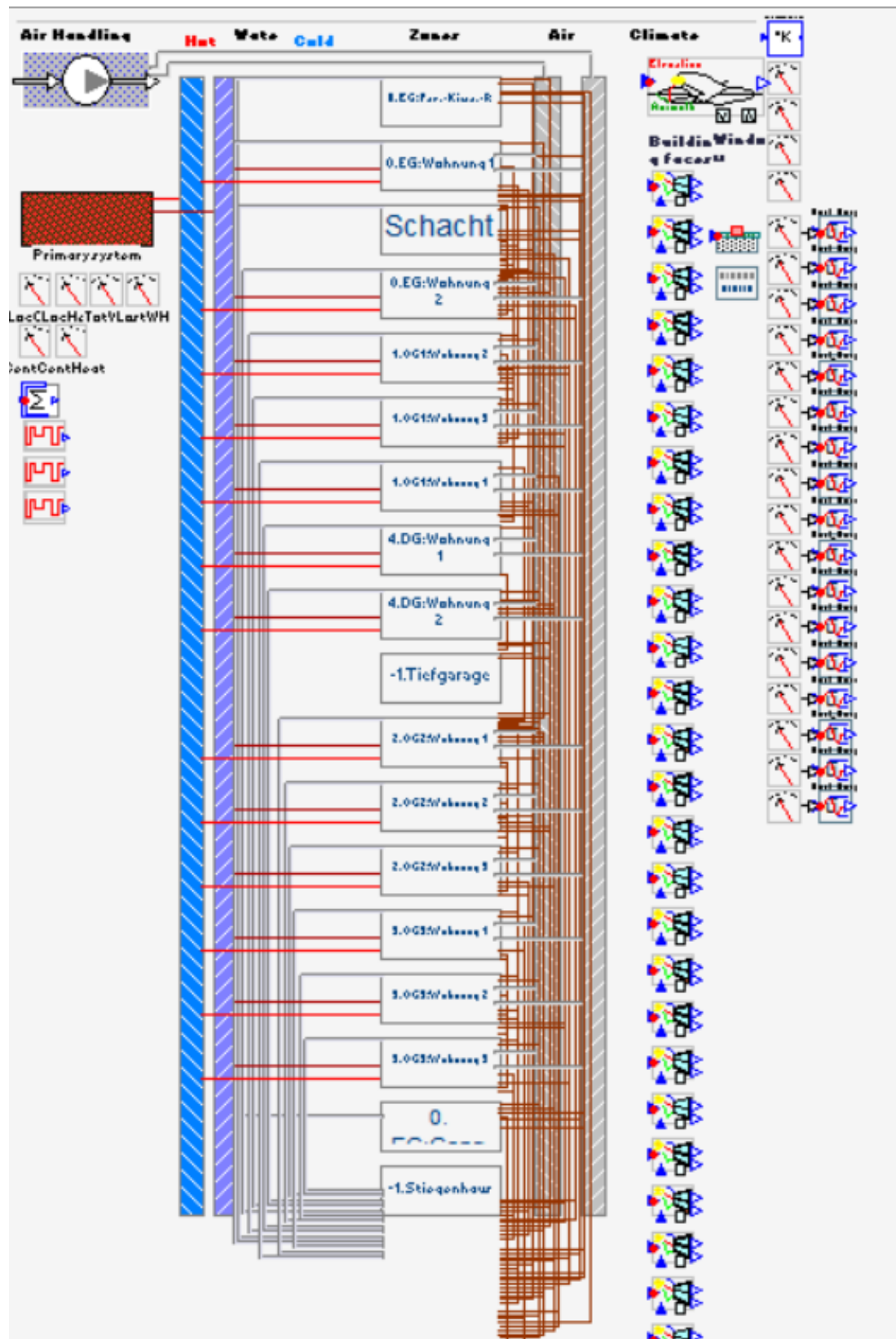


Abbildung 35 : Lüftungstechnische Konzept der Wohnanlage in der Utendorfgasse von IDA.ICE

2.2.3.5 Wärmeversorgung für Warmwasser und Heizung

Die Wärmerzeugung für Heizung und Warmwasserbereitung erfolgt je Gebäude über einen 45 kW Gasbrennwertkessel mit 1500l Brauchwarmwasserspeicher. Zur Wärmeverteilung wurde ein getrenntes Rohrleitungsnetz für Warmwasser und Heizungswasser (4-Leitersystem) gewählt. Die Brauchwarmwasserverteilung erfolgt über die Zirkulationsleitung und Zirkulationspumpe (gesteuert über Zeitschaltuhr).

Mit dem Heizungswarmwasser erfolgt die Versorgung der dezentralen Nachheizregister.

Um Verluste zu minimieren und eine Aufheizung des Gebäudes im Sommer zu verhindern wurden alle Rohrleitungen die warmen Wasser führen (Warmwasserleitung, Warmwasserzirkulationsleitung und Heizungsvor- und Rücklauf) mit einer 50 mm starken Dämmung eingefasst. (32)

3 Untersuchungsmethodik

3.1 Gebäudemodell mit IDA-ICE

3.1.1 Programmbeschreibung

Für Modellierung und Analysieren der Energieverbrauch in diesem Gebäude, wurde von Simulationsprogramm IDA ICE (Version: 4.8 SP2) verwendet.

IDA Klima und Energie (früher IDA ICE) ist ein Simulationsprogramm zur Untersuchung der Innenklimas in mehreren einzelnen Zonen (Räumen) eines Gebäudes und zur Voraussage des Energieverbrauchs des ganzen Gebäudes.

Gewöhnlich besteht das zu simulierende System aus einem Gebäude mit einer oder mehreren Zonen, einem primären System und einer oder mehreren raumlufttechnischen Anlagen (Lüftungsgeräten). Andere Gebäude in der Umgebung können ihre Schatten auf das simulierte werfen. Die Luft im Gebäude enthält sowohl Feuchte als auch Kohlendioxyd. Wetterdaten werden über Dateien eingegeben oder künstlich für eine gewünschte 24-Stunden Periode erzeugt. Wind- und thermisch getriebene Luftströmungen können durch entsprechende Modelle berücksichtigt werden. Vordefinierte Gebäudekomponenten und andere Simulationsobjekte sind von einer Datenbank abrufbar.(35)

3.2 Meteonorm Software (Meteonorm-Datensatz)(36)

In dieser Studie zur Modellierung und Analyse des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Lebenszyklus des Gebäudes wurden Klimadaten aus dem METEONORM-Programm (Version 8.2.0) verwendet.

METEONORM ist eine globale Klimadatenbank kombiniert mit einem Wettergenerator. Die Software ermöglicht sowohl die Berechnung von langjährigen und aktuellen Monatsmittelwerten als auch von Stunden- und Minutenwerte eines typischen Jahres.

Die Meteonorm 8 bietet neben Klimadaten auch Zugang zu aktuellen Zeitreihen von Einstrahlung, Temperatur, Feuchte, Niederschlag und Wind weltweit. Das neu aufgebaute Archiv enthält Stundenwerte von 2010 bis heute und wird regelmäßig aktualisiert. Diese Zeitreihen können Sie direkt aus der Meteonorm Software herunterladen.

Meteonorm verfügt über Algorithmen zur Simulation von extremen Jahren, zum Beispiel für die Evaluation von Auslegungsgrenzen. Es ist sogar möglich, den Klimawandel basierend auf IPCC-Szenarien zu simulieren. (36)

3.3 Berechnungsverfahren

Zunächst wurde das Gebäudes 2 mit IDA-ICE (Simulationsprogramm) modelliert, und anschließend wurden die jährlichen Energieverbrauchsrechnungen für den Zeitraum von Januar 2007 bis Dezember 2007 durchgeführt. Diese Berechnungen wurden dann mit den Messdaten aus demselben Zeitraum verglichen, um die Genauigkeit der Berechnungen zu überprüfen. Dies diente dazu, die Richtigkeit der Berechnungen zu bestätigen und die Forschungsfragen zu beantworten.

Im nächsten Schritt wurden die ausgewählten Parameter basierend auf den erhaltenen Ergebnissen geändert, um ihre Auswirkungen auf die Baukosten zu untersuchen und das optimale Preisniveau zu ermitteln.

Im Allgemeinen wurden die Änderungen vorgenommen, um folgende Ergebnisse zu erzielen:

- Untersuchung des Einflusses von Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrücken auf den Energieverbrauch.
- Analyse des Einflusses der Energiepreise auf das optimale Kostenniveau im Hochbau.
- Bewertung der Kostenoptimierung bei konstantem Energieverbrauch über den 30-jährigen Lebenszyklus des Gebäudes.
- Bewertung des Energieverbrauchs des Gebäudes in zwei Heizsystemen: Kessel- und Wärmepumpenheizungsanlagen.
- Bewertung der optimale Kostenniveau entsprechend der CO₂ Emissionen in thermischen Kessel- und Wärmepumpensystemen über den Lebenszyklus des Gebäudes.

3.3.1 Modellierung des Gebäudes und Vergleich mit den Realmessdaten

Das Referenzgebäude wird gemäß den Angaben aus Abschnitt 2.2 nachgebildet. Dafür werden die einzelnen Wandteilaufbauten und Fenster wie im Energieausweis aufgebaut. Die Fläche sämtlicher Wohnungen wird den Bauplänen entnommen und konstruiert. Für die Vereinfachung werden Innenwände und Zimmer vernachlässigt. Die 13 Wohneinheiten verteilen sich mit zwei Wohneinheiten im Erdgeschoss und jeweils

drei Wohnungen aufgeteilt auf das erste bis dritte Stockwerk und ein Dachgeschoss. Das Stiegenhaus und der Lift werden separat abgebildet und sind nicht konditioniert.

Die Stockwerke eins bis drei weisen allesamt die gleiche Wohnaufteilung bezüglich der Größe der Wohnfläche auf. Einzig das Erdgeschoss und Dachgeschoss verfügt über zwei anstelle drei Wohneinheiten.

Verschattung

Aus den geometrischen Eingaben für das Gebäude und der Umgebung wird monatsweise für jedes Fenster die tatsächliche Verschattungssituation ermittelt.

Eingabedaten Geometrie

Die geometrischen Eingaben basieren auf den architektonischen Vorgaben. In der folgenden Abbildung ist ein Drahtgittermodell der Geometrie von Haus 2 Projekt Utendorfsgasse exemplarisch dargestellt. Fenster werden Weiß und Äußeren schattung (Balkonen und Nachbargebäude) inklusive eines Teils der Tiefgarage dargestellt.

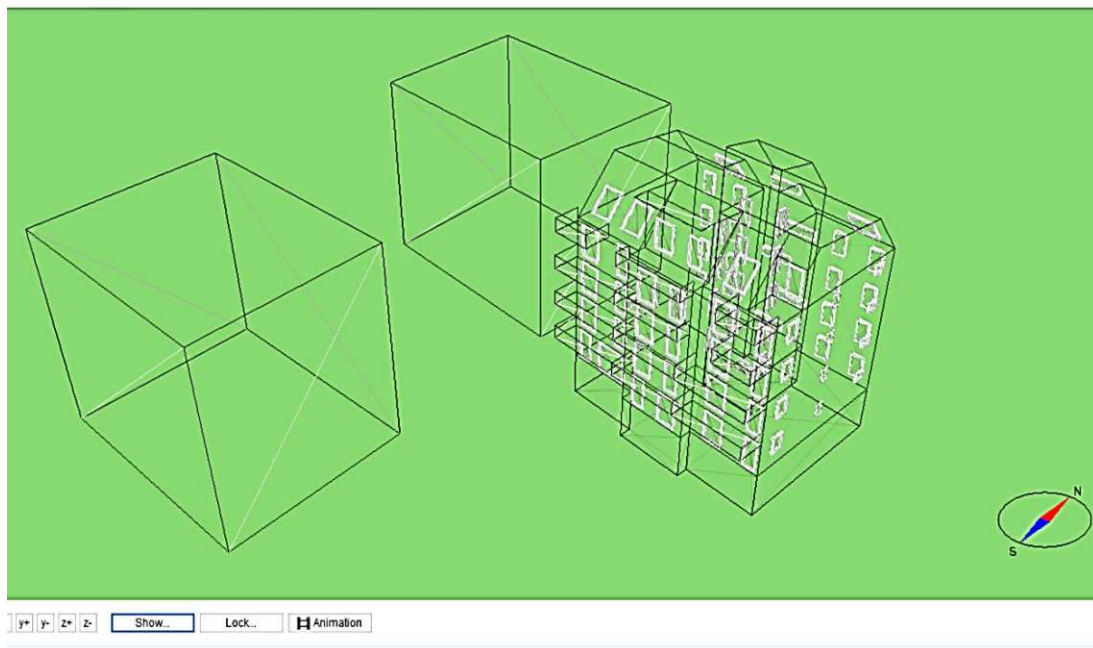


Abbildung 36 : Drahtgittermodell von Haus 2 der Utendorfsgasse [IDA ICE]. Die Darstellung der Fenster (erfolgt in Weiß) und Äußeren schattung (Balkonen und Nachbargebäude).

3.3.2 Modellparameter und Annahmen

Folgend werden die angewendeten Annahmen für die Modellierung des Referenzgebäudes erläutert.

Nutzungsprofil

Damit der Einfluss der Bewohnenden berücksichtigt wird, müssen gewisse Nutzungsprofile erstellt werden. Für die Belegungsanzahl der Personen werden in den jeweiligen Wohnungen 24 die Anzahl an Menschen hinterlegt, wie sie die Abschnitt 2,2 ergeben hat.

Die internen Gewinne aufgrund von Geräten und Anzahl der Anwesenheitsstunden werden als Funktion der Zeit wird durch einen Zeitplan vorgegeben. Der Zeitplan geht davon aus, dass die Bewohnenden von 17:00 bis 08:00 Uhr zu 100 Prozent anwesend sind und sich dieser Wert anschließend auf 50 Prozent mindert. Im Zeitraum untertags sind sieben Stunden vorhanden, in denen keine Aktivität angenommen wird aufgrund von Tätigkeiten außerhalb der Wohnung. Gesamt entspricht das Lastprofil für die Bewohnenden bei 17 Nut- zugestunden beziehungsweise 15 Volllaststunden am Tag.

Die Geräte im Gebäude sehen bei 129 Watt vor und kommen zum Einsatz. Bezüglich der Beleuchtung sind 56 W mit Lichtausbeute 12 lm/W vorgesehen.

Anlagenmodell

Das Modell besteht prinzipiell aus den Zu- und Abluftzonen, den Bauteilen und der Lüftungsanlage. Diese setzt sich aus der Lüftungszentrale, dem Hauptstrang und den Wohnungssträngen zusammen. In der folgenden Abbildung sind die Bestandteile des Modells dargestellt.

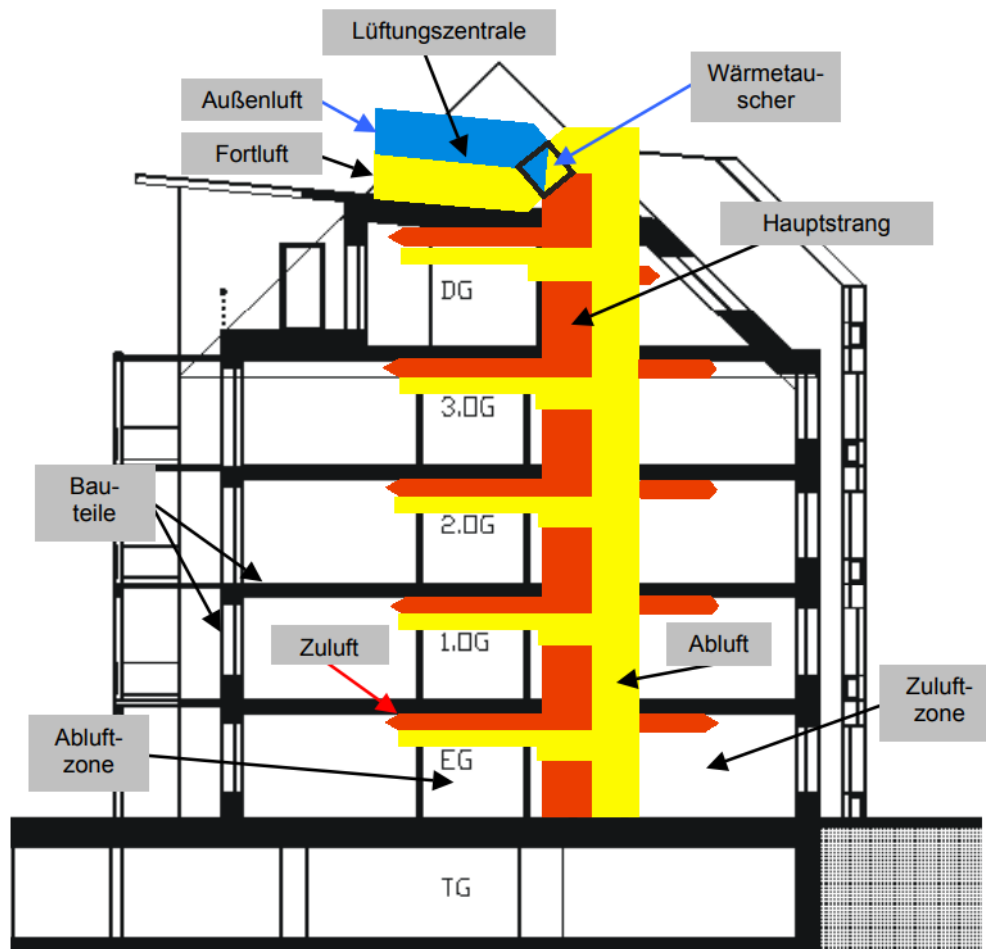


Abbildung 37 : Schematische Darstellung der Bestandteile des Modells.(15)

Lüftungsanlage

Die Lüftungsanlage besteht aus dem Zuluft- und Abluftstrang, die sich in die Bereiche Wohnungs-, Hauptstrang und Lüftungszentrale gliedern.

Nachheizregister

Die Regelung des Nachheizregisters zielt auf 22 °C empfundene Temperatur in der Zuluft Zone ab. Die maximale Heizlast ist mit 10 W/m² Wohnnutzfläche begrenzt.

Ventilatoren

Für das Modell wird daher bei einer Druckdifferenz von 50 Pa eine Luftwechselrate von 0.6 angenommen, da eine mechanisch betriebene Lüftungsanlage vorliegt. Die dazu erforderlichen Volumenströme werden durch drehzahlgeregelte Ventilatoren in die Zonen eingeblasen bzw. abgesaugt.

Abbildung 38 : Infiltrationsluftwechsel [von IDA ICE]

Infiltrationsrate des Windes

Damit die Infiltrationsrate des Windes auf das Gebäude berücksichtigt wird, werden die vorhandenen Werte seitens des Programms verwendet. Da das Gebäude in einer eher städtischen Umgebung befindet wird die Auswahl „semi exposed“ ausgewählt und weist folgende Vordefinitionen auf:

Face \ Angle	0	45	90	135	180	225	270	315	Face azi...
Body part 2									
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
Roof	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	15.0
f1a	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	15.0
f1b	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	105.0
f1c	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	15.0
f1d	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	285.0
f1e	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	15.0
f2	0.7	0.35	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	0.35	105.0
f3a	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	195.0
f3b	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	105.0
f3c	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	195.0
f3d	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	285.0
f3e	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	195.0
f4	0.7	0.35	-0.5	-0.4	-0.2	-0.4	-0.5	0.35	285.0
Body part 4									
Crawl space	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
r6	0.3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4	195.0
r7	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	15.0
r9	0.3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4	195.0
r1	0.3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4	15.0
r2	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	15.02
r3	0.3	-0.4	-0.6	-0.4	-0.5	-0.4	-0.6	-0.4	15.0
r4	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	14.98
r5	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	15.0

Abbildung 39 : Infiltrationsrate "semi exposed"

Wärmebrückenfreiheit

Für die Anforderungen von Passivhäusern sollen Gebäude so geplant werden, dass die verwendeten Konstruktionen wärmebrückenfrei sind. Lineare Wärmebrücken gelten als wärmebrückenfrei, wenn deren Verlustkoeffizienten ψ kleiner 0,01 W/mK ist. Zu diesem Zweck wurden lineare Wärmebrücken mit einem Verlustkoeffizienten ψ von 0,01 W/mK berücksichtigt. (15)

Um Wärmebrücken zu vermeiden, wurden die Balkone als Teil der außerhalb der „heißen Zone“ liegenden Bauteile getrennt vom Gebäude modelliert.

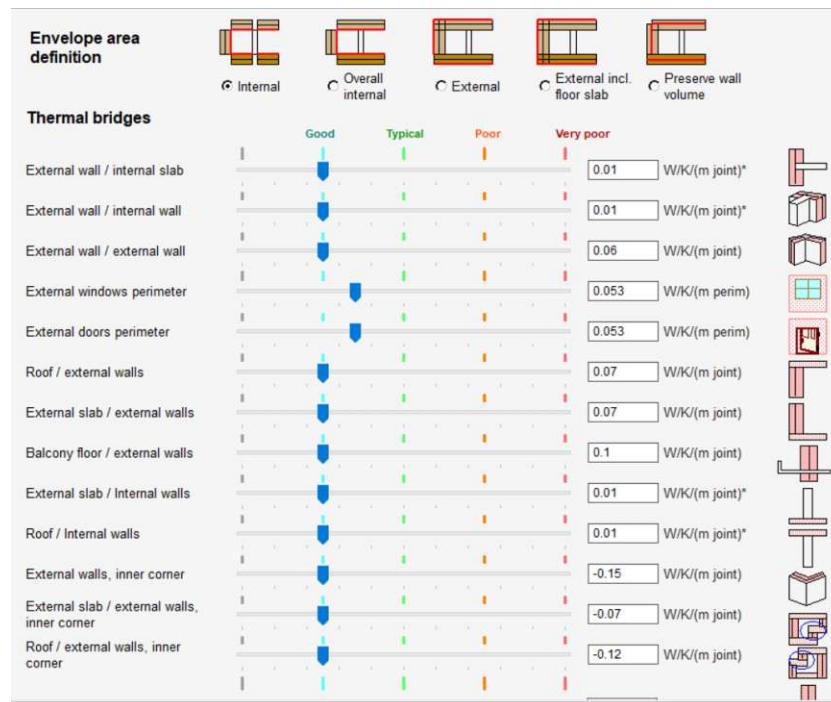


Abbildung 40 : Verlustkoeffizienten [von IDA ICE]

Systemverluste

Gemäß den verfügbaren Daten wurden die Energieverluste des Systems in der Modellierung für Zirkulationsverluste von 5416,8 kWh und Kesselverluste von 10704,8 kWh verwendet. Durch Umrechnung entsprechend der Nettogeschossfläche des 1252,6-Modells erhält man Zirkulationsverluste von 0,492 [W/m²] und Kesselverluste 1218,67 [W].

Extra energy and losses

Domestic hot water use

Average hot water use: 55 L/per occupant and day
 Number of occupants: 24.0
 Distribution of hot water use: © House living (example)

[T_DHW = 55°C (incoming 5°C); find further details in Plant and Boiler; DHW can, optionally or additionally, also be defined at the zone level]
 [The curve is automatically rescaled to render given average total usage]

Distribution System Losses

Domestic hot water circuit: 0.492 W/(m2 floor area) 100 % to zones*

Heat to zones: 0 % of heat delivered by plant (incl. delivered to ideal heaters) 100 % to zones*

Cold to zones: 0.0 W/m2 floor area 50 % to zones*

Supply air duct losses: 0.0 W/m2 floor area, at dT_duct to zone 7 °C 50 % to zones*

[*Share of loss deposited in zones according to floor area]

Plant Losses

Chiller idle consumption: 0 W Boiler idle consumption: 1218.67 W

Additional Energy Use

Name	Nominal power, kW	Nominal power, W/m2	Nominal power, total [kW]	Schedule	Energy meter	Yearly total, kWh

Abbildung 41 : Systemverluste [von IDA ICE]

Bauteilaufbauten

Das Modell wurde im Simulationsprogramm IDA ICE ausfolgenden Konstruktionen aufgebaut:

Construction definition

External wall © Außenwand UDG

Description: Render, 1/w concrete 250, render
 U-value: 0.115 W/(m2*K)
 Thickness: 0.455 m

Layers

Floor top/Wall inside

- Concrete un1, 0.18 m
- Extruded polystyrene UDG., 0.27 m
- Render, 0.005 m

Floor bottom/Wall outside

Layer data

Material: Concrete un1
 Thickness: 0.18 m

Abbildung 42 : Außenwandaufbau

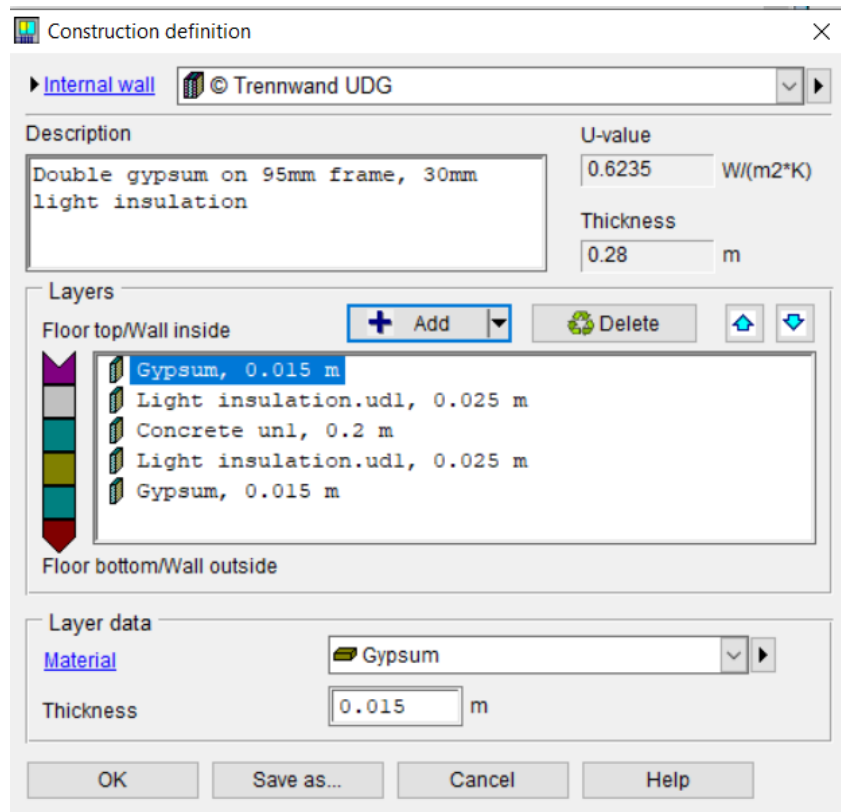


Abbildung 43 : Innenwandaufbau

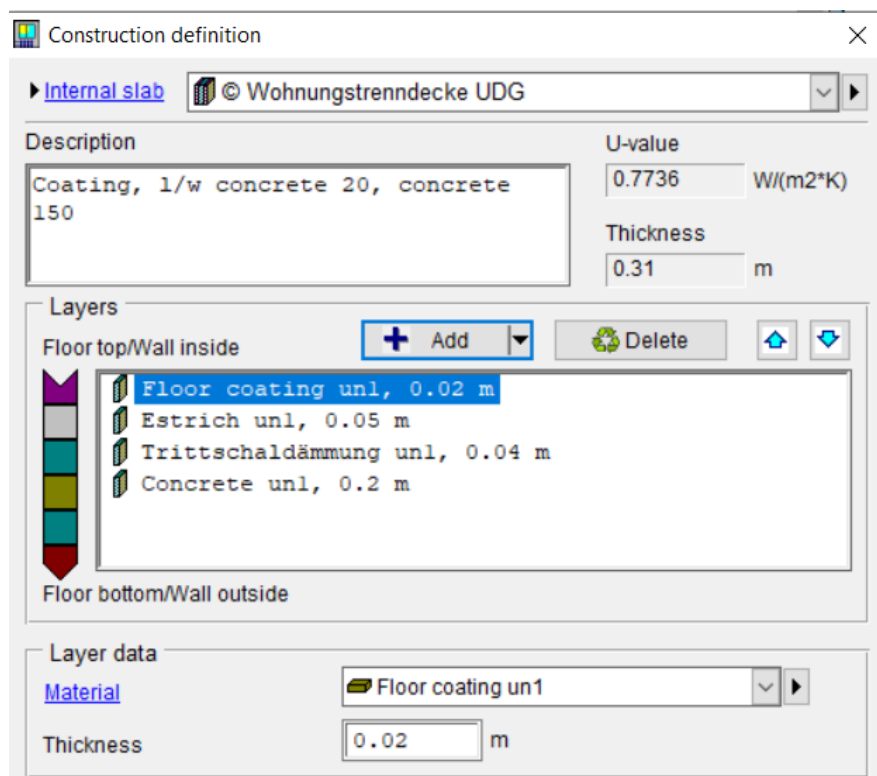


Abbildung 44 : Trenndeckeaufbau

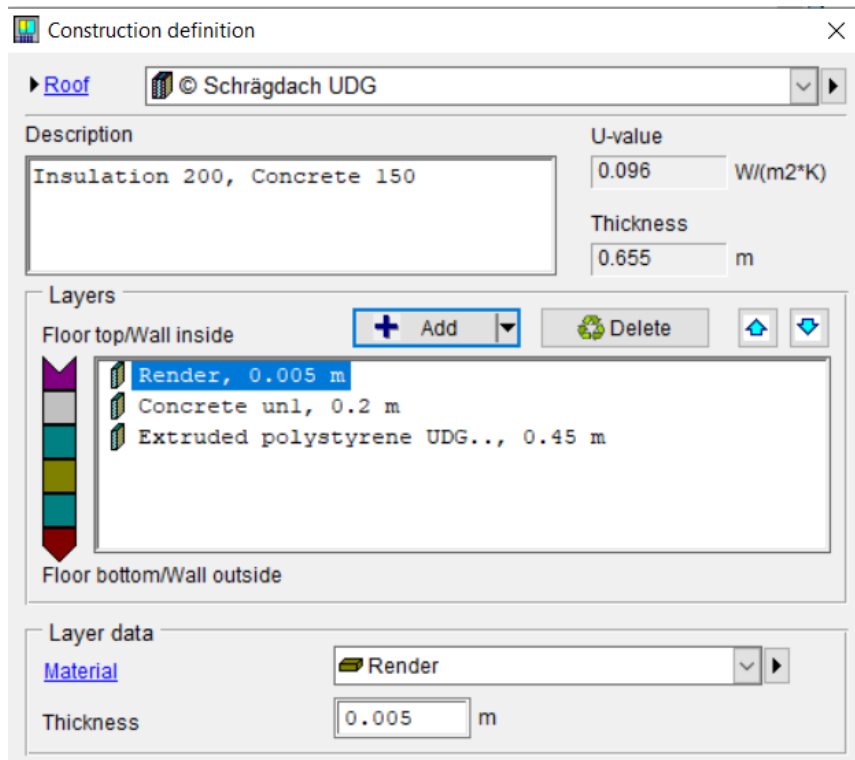


Abbildung 45 : Schrägdachaufbau

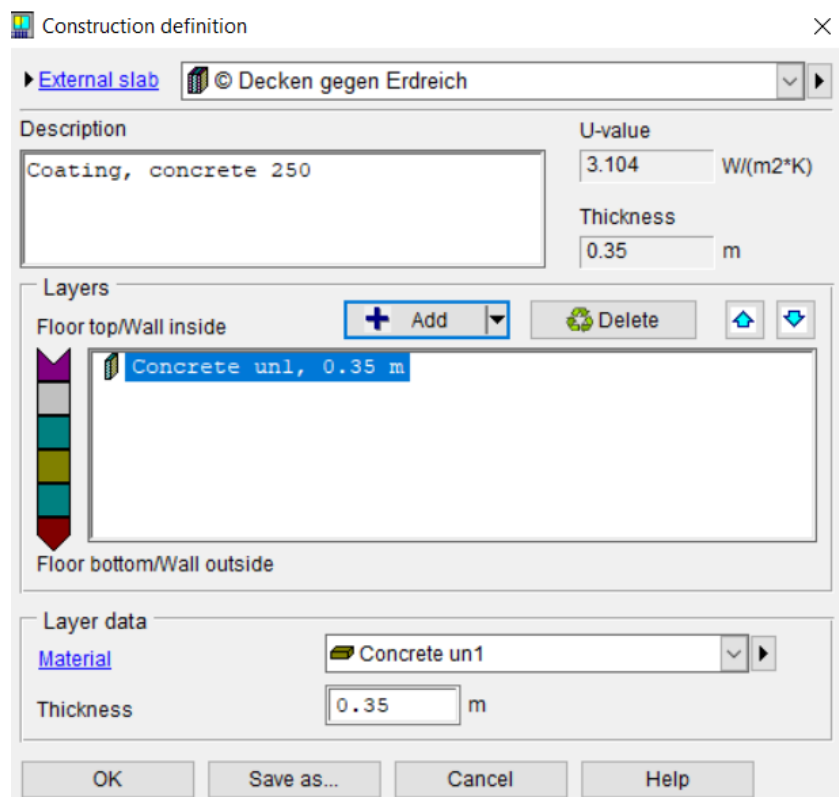


Abbildung 46 : Deckenaufbau gegen Erdreich

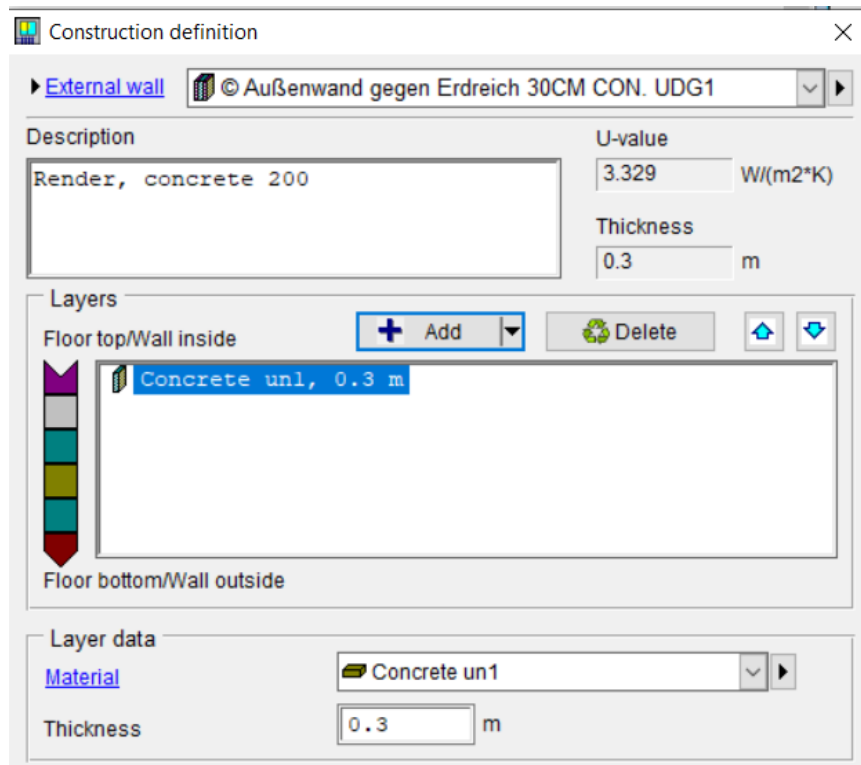


Abbildung 47 : Außenwandaufbau gegen Erdreich

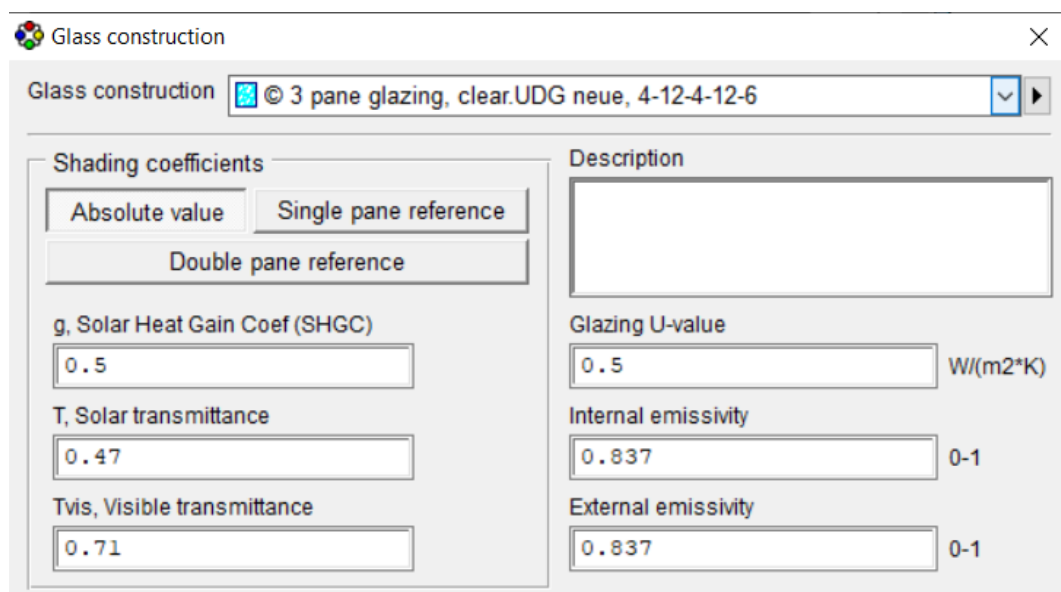


Abbildung 48 : Fenster Spezifikationen

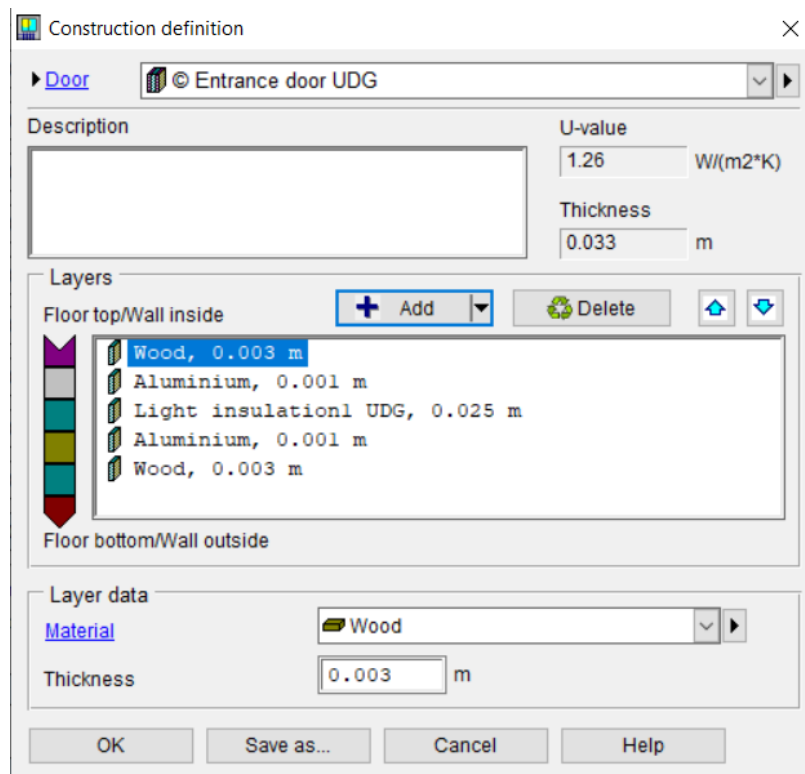


Abbildung 49 : Türen Spezifikationen

3.4 Energiebilanz des Gebäudes

3.4.1 Gesamtenergiebilanz

In Tabelle 22 ist die Gesamtenergiebilanz der IDA ICE-Simulationsergebnisse für das Messjahr vom 1. Januar 2007 bis zum 31. Dezember 2007 mit einer Energiebezugsfläche von 1252,6 m² im Haus 2 zusammengefasst.

Tabelle 22: Gesamtenergiebilanz für das Messjahr von 01.Jänner 2007 bis 31.Dezember 2007 (IDA ICE Simulationsergebnisse)

		Purchased energy		Peak demand
		kWh	kWh/m ²	kW
■	Lighting, facility	15218	12.2	2.41
■	HVAC aux	10054	8.0	1.18
■	Electric heating	1747	1.4	2.05
	Total, Facility electric	27019	21.6	
■	Fuel heating	27546	22.0	17.89
■	Domestic hot water	47042	37.6	6.75
	Total, Facility fuel*	74588	59.6	
	Total	101607	81.1	
□	Equipment, tenant	30444	24.3	4.53
	Total, Tenant electric	30444	24.3	
	Grand total	132051	105.4	

*heating value

Tabelle 23 zeigt die Energiebilanz der Messdaten für das Messjahr vom 1. Januar 2007 bis zum 31. Dezember 2007 mit einer Energiebezugsfläche von 985,56 m² im Haus 2.

Tabelle 23: Energiebilanz für den Messzeitraum 01.01.2007 bis 31.12.2007(Messdaten) (32)

Gesamtwärmeverbrauch	kWh	kWh/m²	Prozentanteil
	60099,0	61,0	100%
davon:			
Heizung gesamt inkl. Netzverteilverluste	20942,0	21,2	34,8%
Heizenergiebedarf für die Messwohnungen		15,5	
Warmwasserverbrauch	23035,4	23,4	38,3%
Zirkulationsverluste	5416,8	5,5	9,0%
Verluste (Boiler, Kessel)	10704,8	10,9	17,8%
Gesamtwärmeeintrag	60099,0	61,0	100%
davon:			
Gas	60099,0	61,0	100%
Stromverbrauch gesamt	43647,7	44,3	100%
davon:			
Lüftungsstrom	7708,4	7,8	17,7%
Allgemein Strom (Waschküche, Beleuchtung, TG,...)	11968,1	12,1	27,4%
Haushaltsstrom	23971,2	24,3	54,9%

Die Endenergie (Energie, die vom Nutzer eingekauft werden muss) umfasst den für Heizung und Warmwasser (inklusive Verluste) verbrauchten Strom sowie den allgemeinen Stromverbrauch (Waschküche, Beleuchtung, Tiefgarage usw.). Im Messjahr betrug dieser Verbrauch 105,4 kWh/(m²a). Der Energiebedarf laut IDA ICE-Simulationsergebnissen im ersten Messjahr entsprach nahezu dem von den Messdaten geforderten Wert von 105,3 kWh/(m²a).

3.4.2 Energiebilanz

Die Energiebilanz des Gebäudes beinhaltet sämtliche Energieströme, die für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Strom relevant sind. Als Bilanzgrenze wird jeweils die Passivhaus- Gebäudehülle herangezogen.

Ein Abgleich der Energiebilanz (bezogen auf einen standardisierten Klimadatensatz) mit den Vorgaben für Passivhäuser gemäß Passivhausinstitut in Darmstadt ermöglicht einen raschen Vergleich von unterschiedlichen Passivhäusern. Die Kriterien für den Bau von Passivhäuser sind primär:

- die maximal erforderliche Heizleistung ist geringer als 10 W/m²
- der spezifische Heizwärmebedarf (bestimmt nach PHPP-PassivhausProjektierungs-Paket) darf 15 kWh/(m²a) nicht überschreiten.
- der gesamte Primärenergiebedarf für alle Haushalts- Anwendungen (Heizung, Warmwasser, Strom) darf 120 kWh/(m²a) nicht überschreiten.

In Abbildung 50 sind die Messdaten der benötigten Heizenergie für Warmwasser und Heizung der verwendeten End- und Primärenergie gegenübergestellt und für das erste Messjahr dargestellt.(33)

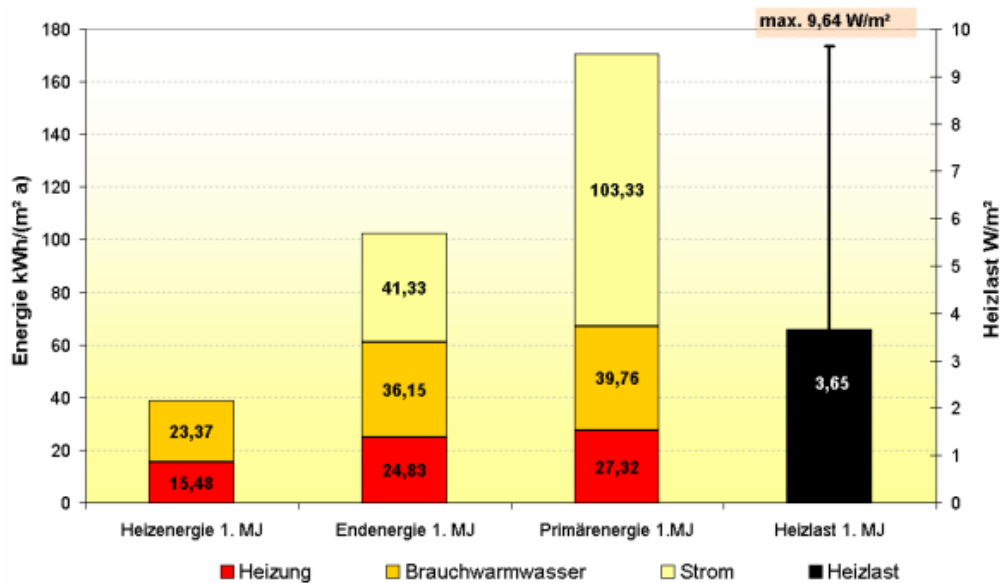


Abbildung 50 : Heizenergiebedarf (nicht klimabereinigt), End- und Primärenergieverbrauch Utendorfsgasse, erstes Messjahr(33)

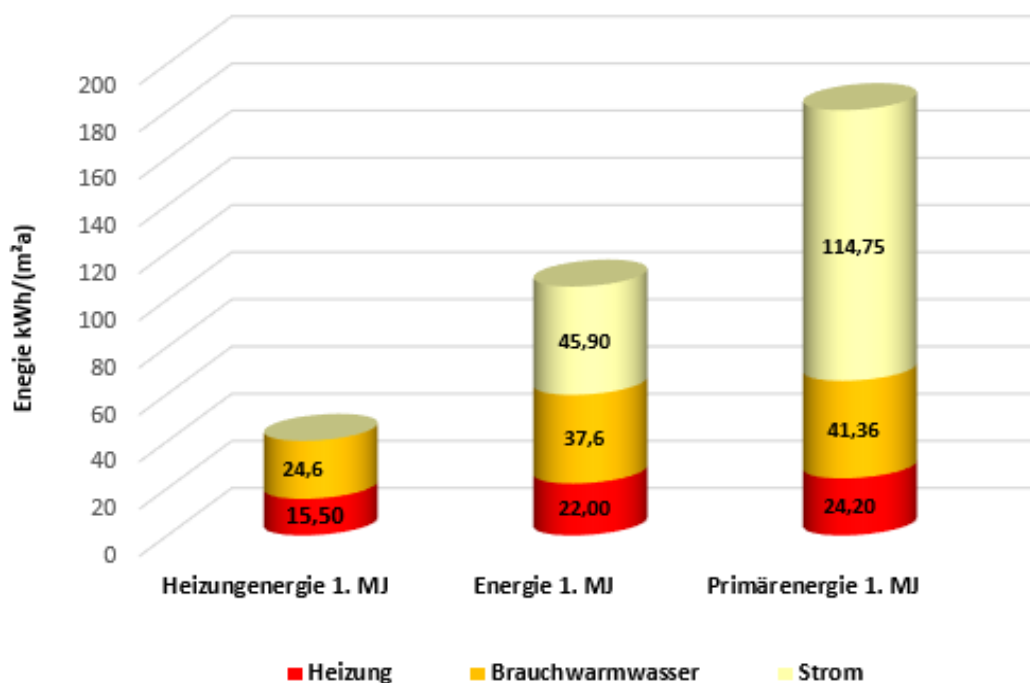


Abbildung 51 : Heizenergiebedarf (nicht klimabereinigt), End- und Primärenergieverbrauch Utendorfsgasse, erstes Messjahr (von IDA ICE Simulationsergebnisse)

Der berechnete Heizwärmebedarf des Gebäudes beträgt 15,50 kWh/(m²a), was sehr nahe am aus den Messdaten ermittelten Wert von 15,48 kWh/(m²a) liegt.

Unter Berücksichtigung von Primärenergiefaktoren (zum Beispiel 1,1 für Gas und 2,5 für Strom) wird aus dem Endenergiebedarf der sogenannte Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser und Haushaltsstrom berechnet. Die Primärenergiekennzahl liegt im ersten Messjahr bei 180,31 kWh/(m²a), was nahe am aus den Messdaten ermittelten Wert von 170,40 kWh/(m²a) liegt.

3.4.3 Heizwärmebedarf und Heizleistung

Bei der Berechnung des Heizwärmebedarf (HWB) ist zu berücksichtigen, dass dieser Wert bei dem in diesem Messjahr vorliegenden Wetterbedingungen und Raumtemperaturen.

3.4.3.1 Heizwärmebedarf

In Tabelle 24 sind die Heizwärmebedarfswerte in kWh/a und die bruttogeschossflächen- und wohnnutzflächebezogenen Heizwärmebedarfswerte in kWh/m²a von Haus 2 aufgelistet.

Tabelle 24 : Heizwärmebedarf in Haus2 (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Geschoss	Einheit	Verbrauch [kWh/a]	WNF	HWB/WNF [kWh/m ² a]
EG	Stiegenhaus	-	-	-
	Gang	-	-	-
	Wohnung 1	1805,8	94,66	19,08
	Wohnung 2	1615,9	78,8	20,15
	Far.-Kiwa.-R	-	-	-
1.OG	Wohnung 1	1549,6	78,66	19,7
	Wohnung 2	270,2	47,66	5,67
	Wohnung 3	1424,4	78,66	18,11
	Stiegenhaus	-	-	-
2.OG	Wohnung 1	1313,1	78,66	16,69
	Wohnung 2	226,6	47,66	4,75
	Wohnung 3	1219	78,66	15,5
	Stiegenhaus	-	-	-
3.OG	Wohnung 1	1162,7	78,66	14,78
	Wohnung 2	287,6	47,66	6,03
	Wohnung 3	1268,6	78,66	16,13
	Stiegenhaus	-	-	-
DG	Wohnung 1	2841,1	119,6	23,76
	Wohnung 2	1886,6	72,65	25,97
	Stiegenhaus	-	-	-
Summe bzw. flächengewichteter Mittelwert		16871,2	980,65	17,20

Der berechnete durchschnittliche Heizwärmebedarf der alle Wohnungen liegt mit 17,20 kWh/(m²a) sehr nahe am aus Messdaten ermittelten Gesamtmittelwert des Gebäudes.

Im Haus 2 ergibt sich ein Gesamtverbrauch von 16871,2 kWh/m²a. Bezogen auf die Energiebezugsfläche von 1252,6 m² im Haus 2 ergibt sich ein Heizwärmeverbrauch von 13,47 kWh/m²a.

3.4.3.2 Heizlast

In der folgenden Tabelle sind die Heizlasten in W/m² und die wohnnutzflächebezogenen der Wohnungen und sonstigen Räumlichkeiten in Haus 2 aufgelistet.

Tabelle 25 : Heizlast in Haus 2 (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Geschoss	Einheit	Heizlast	WNF	Heizlast/WNF[W/m ²]
EG	Stiegenhaus	-	-	-
	Gang	-	-	-
	Wohnung 1	695,6	94,66	7,35
	Wohnung 2	708,8	78,8	8,99
	Far.-Kiwa.-R	-	-	-
1.OG	Wohnung 1	930	78,66	11,82
	Wohnung 2	392,1	47,66	8,23
	Wohnung 3	712	78,66	9,06
	Stiegenhaus	-	-	-
2.OG	Wohnung 1	867,3	78,66	11,03
	Wohnung 2	385,9	47,66	8,10
	Wohnung 3	717,6	78,66	9,12
	Stiegenhaus	-	-	-
3.OG	Wohnung 1	732,1	78,66	9,13
	Wohnung 2	363,7	47,66	7,63
	Wohnung 3	713,1	78,66	9,07
	Stiegenhaus	-	-	-
DG	Wohnung 1	1765	119,6	14,76
	Wohnung 2	634,2	72,65	8,73
	Stiegenhaus	-	-	-
Summe bzw. flächengewichteter Mittelwert		9618,3	980,65	9,8

Die theoretisch ermittelte Heizlast für das Gebäude beträgt im Mittel 9,80 W/m² bezogen auf die Wohnnutzfläche, was sehr nahe am maximalen Heizlastwert von 9,64 W/m² liegt, der aus den Messdaten abgeleitet wurde.

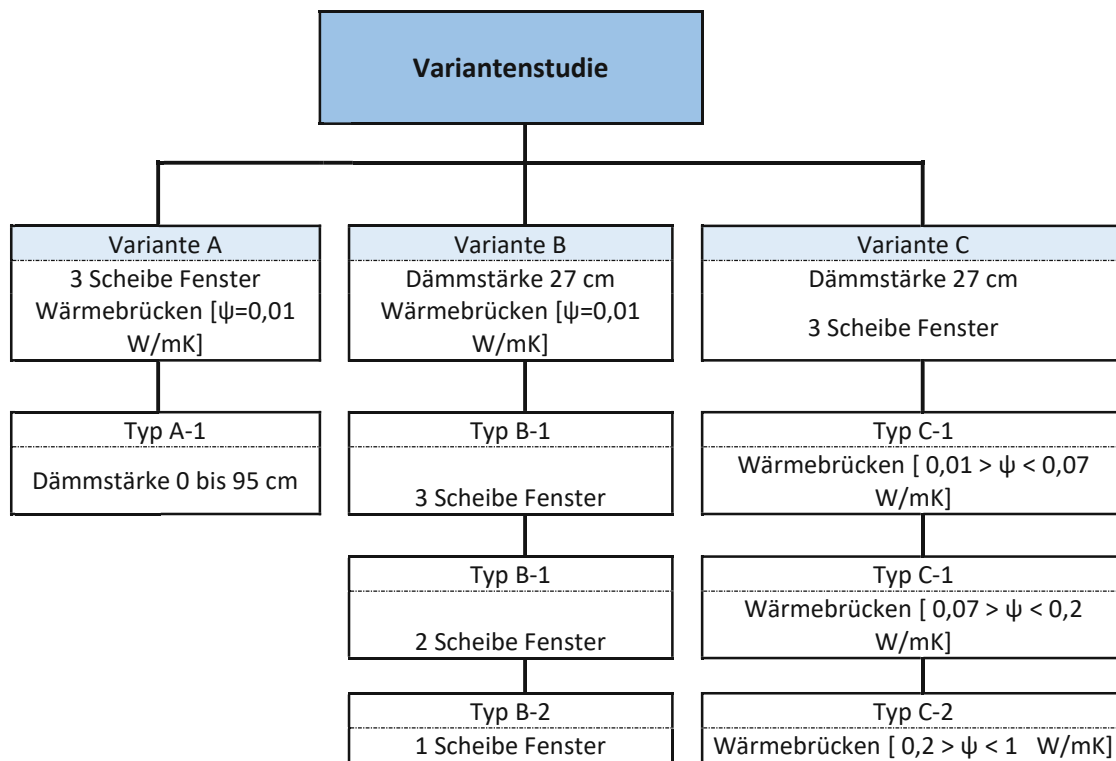
Die Heizlast liegt bezogen auf die Wohnnutzfläche im Mittel bei 9,8 W/m². Die Gebäudeheizlast beträgt 9618,3 W. Bezogen auf die Energiebezugsfläche von 1252,6 m² im Haus 2 ergibt sich eine Gebäudeheizlast von 7,68 W/m².

3.5 Variantenstudie

3.5.1 Varianten

In diesem Zusammenhang wurden konventionelle Wärmedämmsysteme aus EPS sowie Fenster mit verschiedenen Scheibenvarianten und Wärmebrücken mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von weniger als 0,01 bis 1 [W/mK] untersucht.

Um die Auswirkungen verschiedener Parameter auf den Energieverbrauch zu beurteilen, werden im Folgenden drei Varianten in zwei Arten von Heizsystemen - Heizkessel- und Wärmepumpenheizung - untersucht. Das nachfolgende Ablaufdiagramm soll die Variantenstudie übersichtlich darstellen und den Optimierungsprozess skizzieren.



3.5.2 Nachweisverfahren

Folgende Nachweise werden im Zuge der Variantenstudie durchgeführt:

- Niedriger Energieverbrauch - Passivhausstandard
- Vermeidung sommerlicher Überwärmung
- Behaglichkeit-Referenz

3.5.2.1 Niedriger Energieverbrauch- Passivhausstandard

Bei der vereinfachten Berechnung des Niedriger Energieverbrauch wird die vorhandene Passivhausstandard bei den erhaltenen Ergebnissen verglichen.

Basis der Arbeiten sind die publizierten Ergebnisse bereits errichteter Passivhäuser, insbesondere aus dem CEPHEUS-Projekt. Als wesentliche Planungsziele wurden folgende Punkte identifiziert:(15)

- Niedriger Energieverbrauch - Passivhausstandard

Heizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$

Heizlast $\leq 10 \text{ W/m}^2$

Luftdichtheit $n_{50} \leq 0,6/\text{h}$

Primärenergiebedarf $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})(15)$

3.5.2.2 Vermeidung sommerlicher Überwärmung

Bei Gebäuden ohne Kühlung muss das sommerliche Temperaturverhalten bei der Planung unbedingt berücksichtigt werden.

Zur Vermeidung einer sommerlichen Überwärmung sind folgende Aspekte wesentlich:

geringer solarer Wärmeeintrag

geringe innere Wärmelasten

hohe nächtliche Luftwechselzahl

große Wärmespeicherung durch Baukonstruktion, Möbel etc.

In Österreich wird dieses Thema in der ÖNORM 8110-3 behandelt.

Die Berechnung dieser komplexen Temperatursimulation wird im gegenständlichen Dokument mittels Simulationssoftware IDA-ICE vorgenommen.

3.5.2.3 Thermische Behaglichkeit nach [ÖNORM EN ISO 7730] (37)

„Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit“. [ÖNORM EN ISO 7730, 2006]

Die thermische Behaglichkeit beschreibt die Empfindung eines Menschen bezogen auf das thermische Klima im Raum. 1970 gelang es dem dänischen Physiker P. Ole Fanger die unterschiedlichen Einflüsse und die teils unterschiedliche Wahrnehmung des Raumklimas in mathematischen Formeln zu widerlegen. Aus zahlreichen Untersuchungen und Experimenten entwickelte er das Berechnungskonzept des PMV-Indexes, welches von der Behaglichkeitsnorm [ÖNORM EN ISO 7730, 2006] übernommen wurde. Fanger hat festgestellt, dass es eine charakteristische Thermische Umgebung gibt, die für die Mehrheit der Menschen als Behaglich empfunden wird. Das Wohlbefinden in einem Raum kann somit durch einen Prozentsatz an Unzufriedenen ausgedrückt werden. Um das unterschiedliche subjektive Empfinden des Einzelnen zu berücksichtigen, geht Fanger davon aus, dass bei einem optimalen Raumklima bereits 5% der Rauminsassen mit dem Klima nicht zufrieden sind. (vgl. [Schnieders, 2005])

Folgende Faktoren fließen in die Berechnung der thermischen Behaglichkeit nach Fanger ein:

- Bekleidung
- Aktivität

- Luftgeschwindigkeit
- Lufttemperatur
- Mittlere Strahlungstemperatur
- Luftfeuchte

Die Norm unterscheidet zwischen 2 verschiedenen Behaglichkeitsempfinden:

Empfinden des Körpers als Ganzem: (37)

„Das menschliche Wärmeempfinden hängt im Wesentlichen vom thermischen Gleichgewicht (Wärmebilanz) des Körpers als Ganzem ab“ [ÖNORM EN ISO 7730, 2006].

Eine Aussage dafür erhält man durch die Berechnung des vorausgesagten mittleren Votums PMV (predicted mean vote) und dem daraus abgeleiteten Prozentsatz der Unzufriedenen PPD (predicted percentage of dissatisfied).

Lokales Empfinden des Körpers:(37)

Das Behaglichkeitsempfinden wird auch durch lokale Temperaturänderungen am Körper bestimmt. Besonders bemerkbar macht sich dies bei Personen die wenig bis keine Tätigkeit ausüben (z.B. sitzend ein Buch lesen). Das heißt, der Einfluss der lokalen Temperaturänderung sinkt mit steigender Aktivität.

Lokale Unbehaglichkeit entsteht durch:

- Zugluft (häufigste Ursache)
- Asymmetrische Strahlungstemperatur durch eine warme oder kalte Decke, und einer warmen oder kalten Wand
- Vertikale Lufttemperaturunterschiede zwischen Kopf und Fußgelenk
- Temperatur des Fußbodens

All diese möglichen Ursachen werden wiederum mit dem Prozentsatz der vorausgesagten Unzufriedenen bewertet.

Kategorien des Umgebungsklimas

Um eine Klassifikation des Umgebungsklimas zu erhalten, schlägt die Norm 3 Kategorien (A, B und C) mit verschiedenen Behaglichkeitsniveaus vor. Jede dieser Kategorien wird durch Kriterien bestimmt, die alle gleichzeitig eingehalten werden müssen (siehe Tabelle 26).

Tabelle 26 : Kategorien des Umgebungsklimas nach [ÖNORM EN ISO 7730, 2006](37)

	Thermischer Zustand des Körpers insgesamt		Lokale Behaglichkeit			
	PPD [%]	PMV	DR [%]	Vertikaler Lufttemperaturunterschied	PD [%] warmer oder kalter Fußboden	asymmetrische Strahlung
A	< 6	-0,2 < PMV < 0,2	< 10	< 3	< 10	< 5
B	< 10	-0,5 < PMV < 0,5	< 20	< 5	< 10	< 5
C	< 15	-0,7 < PMV < 0,7	< 30	< 10	< 15	< 10

Kategorie A....hohes Behaglichkeitsniveau

Kategorie B....mittleres Behaglichkeitsniveau

Kategorie C....gemäßigtes Behaglichkeitsniveau

Die Kategorien werden durch die Anzahl der Vorausgesagten Unzufriedenen bestimmt. Die unterschiedlichen Prozentsätze innerhalb einer Kategorie resultieren aus dem Ziel so wenige Unzufriedene wie möglich zu erhalten, und der Messgenauigkeit aufgrund technischer Möglichkeiten.

PMV (37)

Das vorausgesagte mittlere Votum (PMV) gibt Auskunft über die durchschnittliche Klimabeurteilung einer größeren Gruppe von Personen.

Der Grundgedanke der Berechnung ist, dass der Mensch zur Aufrechterhaltung seiner Körperfunktionen eine nahezu konstante Körpertemperatur ($\sim 37^\circ\text{C}$) benötigt. Der Mensch wandelt im Körperinneren chemische Energie in Wärme um (metabolischer

Prozess), zusätzlich gibt er Wärme wieder über seine Hautoberfläche an die Umgebung ab. Dadurch erhält man ein Gleichgewicht, welches Auskunft über das Wohlbefinden des Menschen gibt. Ist die abgegebene Wärme gleich der gebildeten Wärme, so herrscht ein optimales Raumklima. Bildet ein Körper mehr Wärme als er an die Umgebung abgeben kann, wird sich die Empfindung „zu warm“ einstellen. Im Umgekehrten Falle, wenn ein Körper mehr Wärme abgibt als er zum Nachliefern im Stande ist, wird ein Mensch das Klima als „zu kalt“ empfinden. Je mehr die zwei Wärmen voneinander abweichen, desto unwohler fühlt sich der Mensch in Bezug auf das Raumklima.

Wärmebildung:

Die Wärmebildung eines Körpers hängt hauptsächlich von der Tätigkeit ab, die ein Mensch ausübt. Diese fließt in die Gleichung durch die Grundgröße „met“ ein

Tabelle 27 : Energieumsätze nach [ÖNORM EN ISO 7730, 2006](37)

Aktivität	Energieumsatz	
	W/m ²	met
Angelehnt	46	0,8
Sitzend, entspannt	58	1
Sitzende Tätigkeit (Büro, Wohnung, Schule, Labor)	70	1,2
Sitzende, leichte Tätigkeit (Einkaufen, Labor, leichte Industriearbeit)	93	1,6
Stehende, mittelschwere Tätigkeit (Verkaufstätigkeit, Hausarbeit, Maschinenbedienung)	116	2
Gehen auf der Ebene:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
5 km/h	200	3,4

Wärmeabgabe:

Die Wärmeabgabe hängt von der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, der Luftgeschwindigkeit und dem thermischen Widerstand der Bekleidung zwischen Haut und Umgebung ab. Angegeben wird dieser durch den Bekleidungsisolationswert I_{cl} in clo. In der Norm wird einem die Möglichkeit gegeben, den I_{cl} -Wert aus einer Tabelle mit typischen Bekleidungskombinationen zu wählen (siehe Tabelle 28 **Tabelle 28**).

Tabelle 28 : Auszug aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006], typische Bekleidungskombinationen(37)

Arbeitskleidung	I_{cl}	
	m ² K/W	clo
Unterhose, Latzhose, Socken, Schuhe	0,11	0,7
Unterhose, Hemd, Latzhose, Socken, Schuhe	0,125	0,8
Unterhose, Hemd, Hose, Arbeitskittel, Socken, Schuhe	0,14	0,9
Unterwäsche mit kurzen Ärmeln und Beinen, Hemd Hose, Jacke, Socken, Schuhe	0,155	1
Unterwäsche mit langen Beinen und Ärmeln Thermojacke, Socken, Schuhe	0,185	1,2
Tägliche Kleidung		
Slip, T-Shirt, Shorts, leichte Socken, Sandalen	0,05	0,3
Unterhose, Hemd mit kurzen Ärmeln, leichte Hose leichte Socken, Schuhe	0,08	0,5
Slip, Petticoat, Strümpfe, Kleid, Schuhe	0,105	0,7
Unterwäsche, Hemd, Hose, Socken, Schuhe	0,11	0,7
Slip, Hemd, Hose, Jacke, Socken, Schuhe	0,155	1

Zusätzlich enthält die Norm eine Tabelle mit dem clo-Wert der einzelnen Kleidungsstücke (siehe Tabelle 29). Durch Summieren dieser einzelnen Werte lässt sich der I_{cl} -Wert für eine individuelle Kleidungskombination ermitteln.

Tabelle 29 : Auszug aus [ÖNORM EN ISO 7730, 2006], Isolationswert von Bekleidungsstücken (37)

Bekleidungsstück	I_{cl}	
	m^2K/W	clo
Unterwäsche		
Ärmelloses Unterhemd	0,006	0,04
T-Shirt	0,014	0,09
Hemden		
Kurze Ärmel	0,023	0,15
Leicht, lange Ärmel	0,031	0,2
Hosen		
Shorts	0,009	0,06
Normale	0,039	0,25
Pullover		
Dünnere Pullover	0,031	0,2
Pullover	0,043	0,28
Jacken		
Leicht, Sommerjacke	0,039	0,25
Jacken	0,054	0,35

Der ermittelte PMV-Wert kann dann in eine Klimabeurteilungsskala eingeordnet werden (siehe Tabelle 30). Diese wurde von Fanger mittels Experimente mit 1300 Personen ermittelt.

Tabelle 30 : Klimabeurteilungsskala (37)

+3	Heiß
+2	Warm
+1	etwas warm
0	neutral
-1	etwas kühl
-2	kühl
-3	kalt

PPD (37)

Über den PMV-Wert lässt sich der PPD errechnen. Dieser gibt die prozentuelle Anzahl derjenigen Personen wieder, die mit den klimatischen Bedingungen in einem Raum nicht zufrieden sind. Die Klimabeurteilung ist von Person zu Person verschieden und hängt von mehreren Faktoren ab. Deshalb wird davon ausgegangen, dass bei einem Raum mit einem PMV von 0 mindestens 5% der Personen mit dem Klima unzufrieden wären.

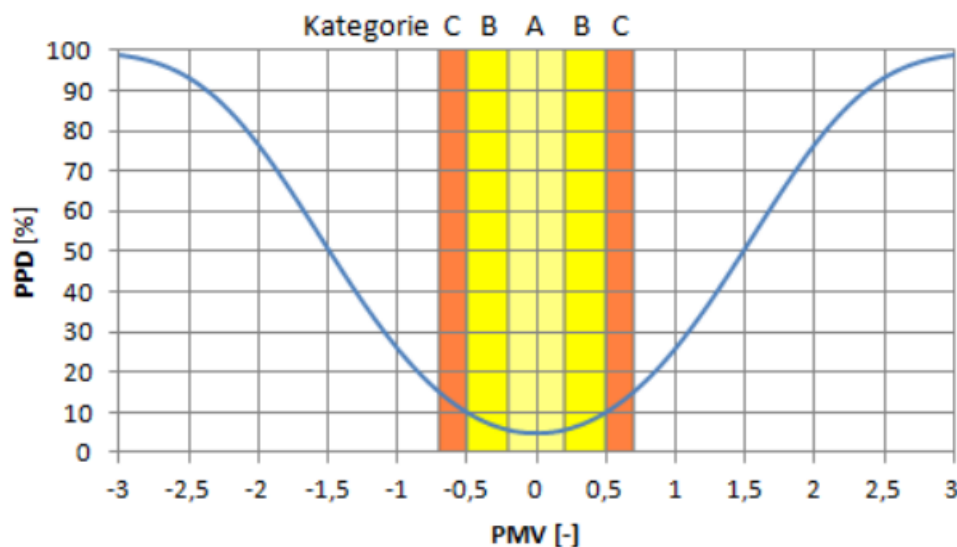


Abbildung 52 : Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD). (37)

Die IDA ICE-Ergebnisse zeigen die Behaglichkeit als "Fanger's comfort indices" (Fanger Komfortindex Komfort-Indexwerte nach Fanger (PPD, PMV)) unter dem Thermischen Komfort nach EN-15251 in der Tabelle "Confort Reference" dar. Der Index wird in grüner Farbe dargestellt, wenn er die Norm entspricht, und in roter Farbe, wenn er nicht entspricht. (35)

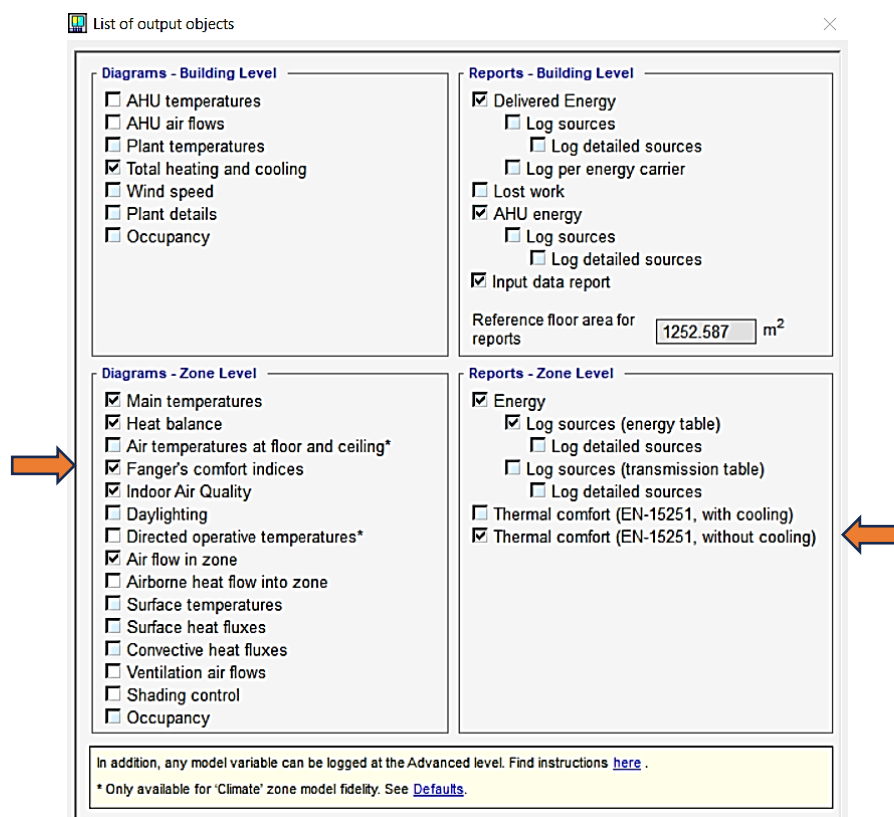


Abbildung 53 : Behaglichkeit in der IDA ICE-Ausgabe

In IDA-ICE diese Behaglichkeitsmaße berücksichtigen Temperatur, Strahlung, Feuchtigkeit und Zugluft sowie die Kleidung und das Aktivitätsniveau der Bewohner. Der PPD variiert zwischen 0 und 100 und der Idealwert liegt bei 5, d. h. es sind immer mindestens fünf Prozent unzufrieden. Wenn Bewohner in der Zone denken, dass es zu warm oder zu kalt ist, variiert der PMV zwischen +3 (zu warm) und -3 (zu kalt) und sollte vorzugsweise nahe Null liegen. ACHTUNG! Der Messwert für PMV wurde im Diagramm mit 10 multipliziert.(35)

3.5.3 Heizsystemen – Heizkessel

3.5.3.1 Variante A – Typ A-1- Dämmstärke 0 bis 95 cm – 3-Fach-Verglasung

Die Außenwand des Gebäudes besteht aus Stahlbeton mit 27 cm außenliegender Wärmedämmung; die Fassadenoberfläche wurde verputzt ($U\text{-Wert} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die tragenden Keller- und Garagenwände sind aus Stahlbeton, ebenso die Decke der Tiefgarage, die im Bereich der Häuser 35 cm stark gedämmt wurde ($U\text{-Wert} = 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die geneigten Dachflächen bestehen aus Stahlbeton mit zwei Lagen 22 cm dicker Dämmung in einer Kreuzlage aus Konstruktionsvollholz und Blecheindeckung ($U\text{-Wert} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).(33)

Im Zuge der Betrachtung von Variante A wurde der Einfluss von Dämmstärken im Bereich von 0 bis 95 cm mit einer Schrittweite von 10 cm auf den Energieverbrauch unabhängig von der vorhandenen Dämmstärke untersucht.

Tabelle 31 :. Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

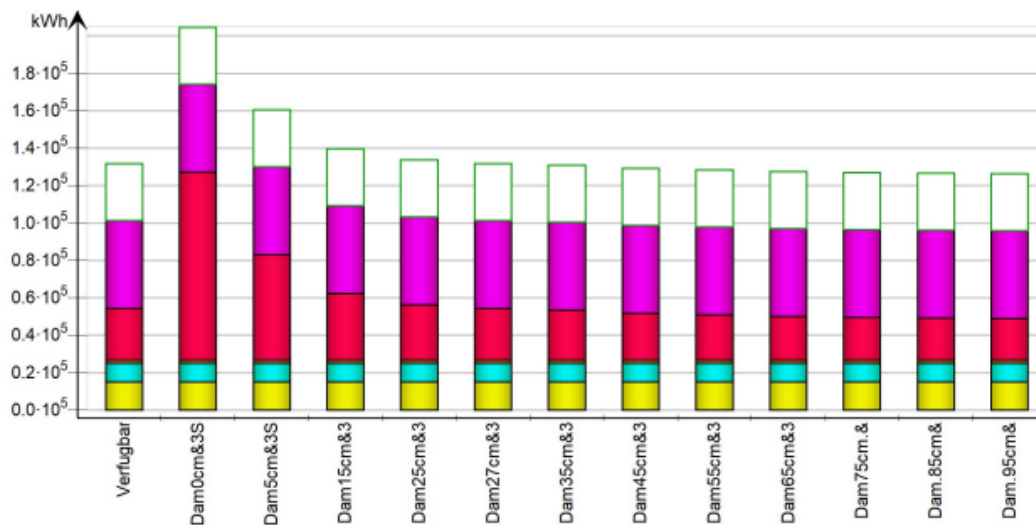
Meter Energy

	Verfügbar		Dam0cm&3S		Dam5cm&3S		Dam15cm&3		Dam25cm&3	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	15219	12.2	15220	12.2	15222	12.2	15223	12.2	15220	12.2
HVAC aux	10054	8.0	10090	8.1	10028	8.0	10043	8.0	10051	8.0
Electric heating	1746	1.4	1738	1.4	1739	1.4	1742	1.4	1744	1.4
Total, Facility electric	27019	21.6	27048	21.6	26989	21.6	27008	21.6	27015	21.6
Fuel heating	27543	22.0	100430	80.2	56287	44.9	35582	28.4	29492	23.5
Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
Total, Facility fuel*	74585	59.5	147472	117.7	103329	82.5	82624	66.0	76534	61.1
Total	101604	81.1	174520	139.3	130318	104.0	109632	87.5	103549	82.7
Equipment, tenant	30443	24.3	30440	24.3	30440	24.3	30444	24.3	30442	24.3
Total, Tenant electric	30443	24.3	30440	24.3	30440	24.3	30444	24.3	30442	24.3
Grand total	132047	105.4	204960	163.6	160758	128.3	140076	111.8	133991	107.0

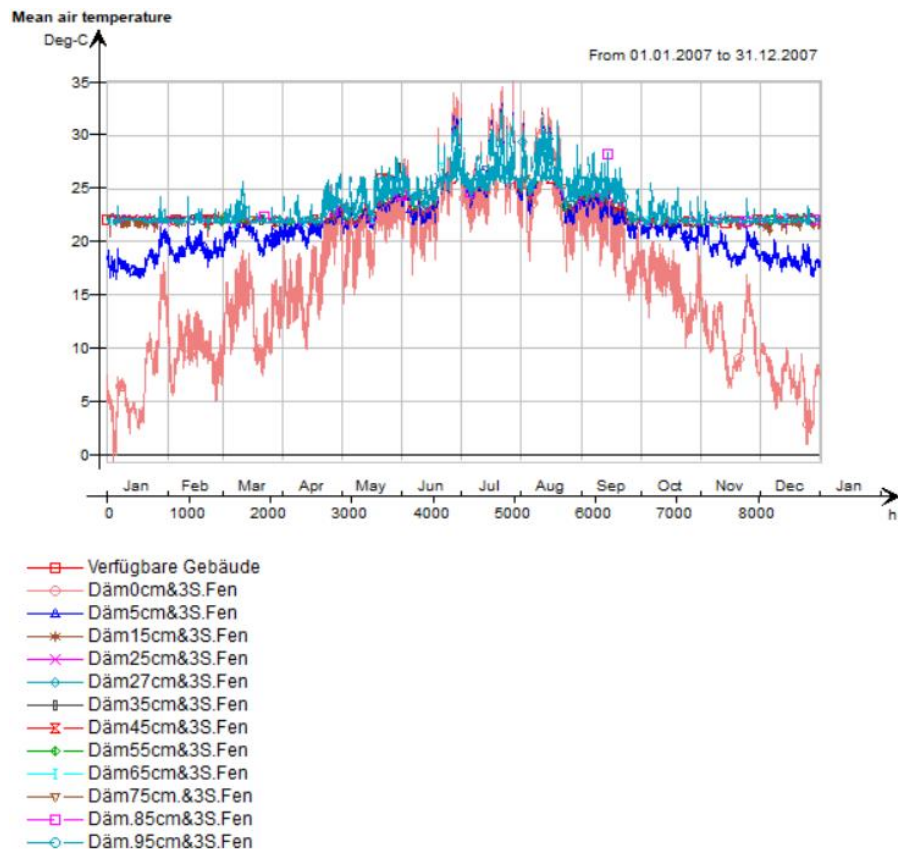
	Dam27cm&3		Dam35cm&3		Dam45cm&3		Dam55cm&3		Dam65cm&3	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	15219	12.2	15222	12.2	15219	12.2	15220	12.2	15220	12.2
HVAC aux	10054	8.0	10056	8.0	10059	8.0	10062	8.0	10063	8.0
Electric heating	1746	1.4	1745	1.4	1747	1.4	1747	1.4	1746	1.4
Total, Facility electric	27019	21.6	27023	21.6	27025	21.6	27029	21.6	27029	21.6
Fuel heating	27543	22.0	26726	21.3	25147	20.1	24125	19.3	23416	18.7
Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
Total, Facility fuel*	74585	59.5	73768	58.9	72189	57.6	71167	56.8	70458	56.3
Total	101604	81.1	100791	80.5	99214	79.2	98196	78.4	97487	77.8
Equipment, tenant	30443	24.3	30441	24.3	30443	24.3	30439	24.3	30442	24.3
Total, Tenant electric	30443	24.3	30441	24.3	30443	24.3	30439	24.3	30442	24.3
Grand total	132047	105.4	131232	104.8	129657	103.5	128635	102.7	127929	102.1

		Dam75cm.&		Dam.85cm&		Dam.95cm&	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
■	Lighting, facility	15221	12.2	15221	12.2	15222	12.2
■	HVAC aux	10064	8.0	10065	8.0	10066	8.0
■	Electric heating	1746	1.4	1748	1.4	1749	1.4
	Total, Facility electric	27031	21.6	27034	21.6	27037	21.6
■	Fuel heating	22890	18.3	22482	17.9	22157	17.7
■	Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
	Total, Facility fuel*	69932	55.8	69524	55.5	69199	55.2
	Total	96963	77.4	96558	77.1	96236	76.8
□	Equipment, tenant	30443	24.3	30442	24.3	30441	24.3
	Total, Tenant electric	30443	24.3	30442	24.3	30441	24.3
	Grand total	127406	101.7	127000	101.4	126677	101.1

*heating value



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Comfort Reference

	Verfügbar	Dam0cm&3S	Dam5cm&3S	Dam15cm&3	Dam25cm&3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	6	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	4	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	34	9	8	8

	Dam27cm&3	Dam35cm&3	Dam45cm&3	Dam55cm&3	Dam65cm&3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8	8	8

	Dam75cm.&	Dam.85cm&	Dam.95cm&
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8

Best comfort per metered energy: Dam.95cm&

3.5.3.2 Variante B – Typ B-1 – 3-Fach-Verglasung

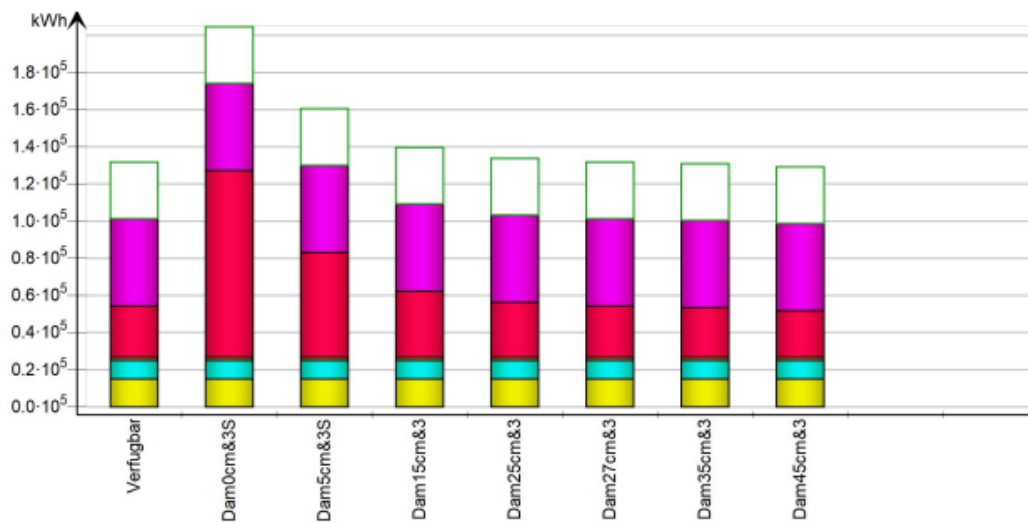
Tabelle 32 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

Meter Energy

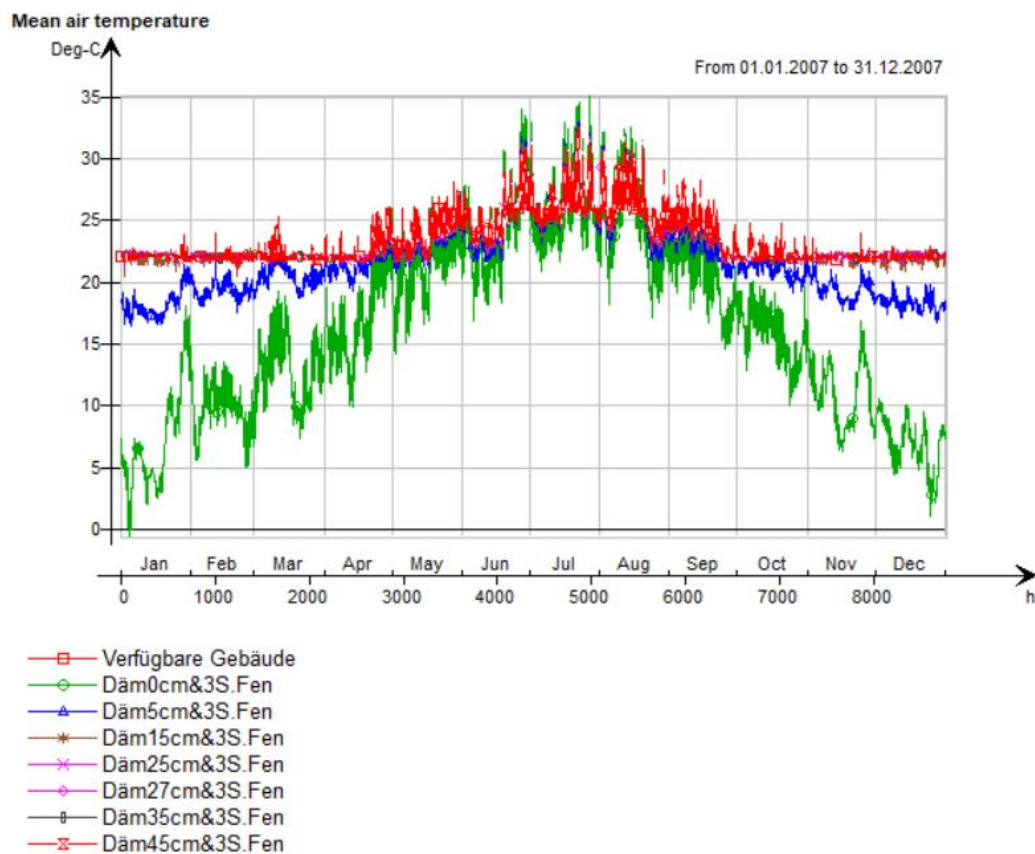
		Verfügbar		Dam0cm&3S		Dam5cm&3S		Dam15cm&3		Dam25cm&3	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15219	12.2	15220	12.2	15222	12.2	15223	12.2	15220	12.2
	HVAC aux	10054	8.0	10090	8.1	10028	8.0	10043	8.0	10051	8.0
	Electric heating	1746	1.4	1738	1.4	1739	1.4	1742	1.4	1744	1.4
	Total, Facility electric	27019	21.6	27048	21.6	26989	21.6	27008	21.6	27015	21.6
	Fuel heating	27543	22.0	100430	80.2	56287	44.9	35582	28.4	29492	23.5
	Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
	Total, Facility fuel*	74585	59.5	147472	117.7	103329	82.5	82624	66.0	76534	61.1
	Total	101604	81.1	174520	139.3	130318	104.0	109632	87.5	103549	82.7
	Equipment, tenant	30443	24.3	30440	24.3	30440	24.3	30444	24.3	30442	24.3
	Total, Tenant electric	30443	24.3	30440	24.3	30440	24.3	30444	24.3	30442	24.3
	Grand total	132047	105.4	204960	163.6	160758	128.3	140076	111.8	133991	107.0

		Dam27cm&3		Dam35cm&3		Dam45cm&3	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15219	12.2	15222	12.2	15219	12.2
	HVAC aux	10054	8.0	10056	8.0	10059	8.0
	Electric heating	1746	1.4	1745	1.4	1747	1.4
	Total, Facility electric	27019	21.6	27023	21.6	27025	21.6
	Fuel heating	27543	22.0	26726	21.3	25147	20.1
	Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
	Total, Facility fuel*	74585	59.5	73768	58.9	72189	57.6
	Total	101604	81.1	100791	80.5	99214	79.2
	Equipment, tenant	30443	24.3	30441	24.3	30443	24.3
	Total, Tenant electric	30443	24.3	30441	24.3	30443	24.3
	Grand total	132047	105.4	131232	104.8	129657	103.5

*heating value



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)**Comfort Reference**

	Verfugbar	Dam0cm&3S	Dam5cm&3S	Dam15cm&3	Dam25cm&3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	6	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	4	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	34	9	8	8

	Dam27cm&3	Dam35cm&3	Dam45cm&3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8

Best comfort per metered energy: Dam45cm&3

3.5.3.3 Variante B – Typ B-2 – 2-Fach-Verglasung

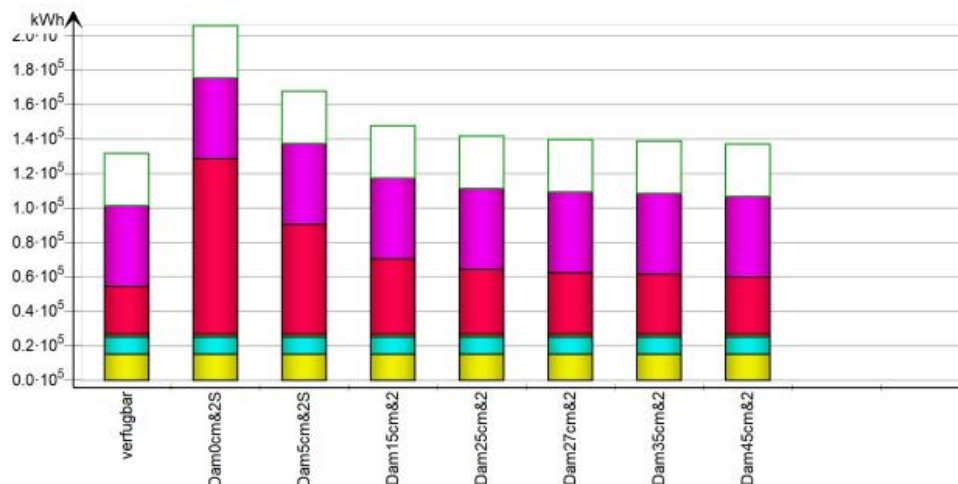
Tabelle 33 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

Meter Energy

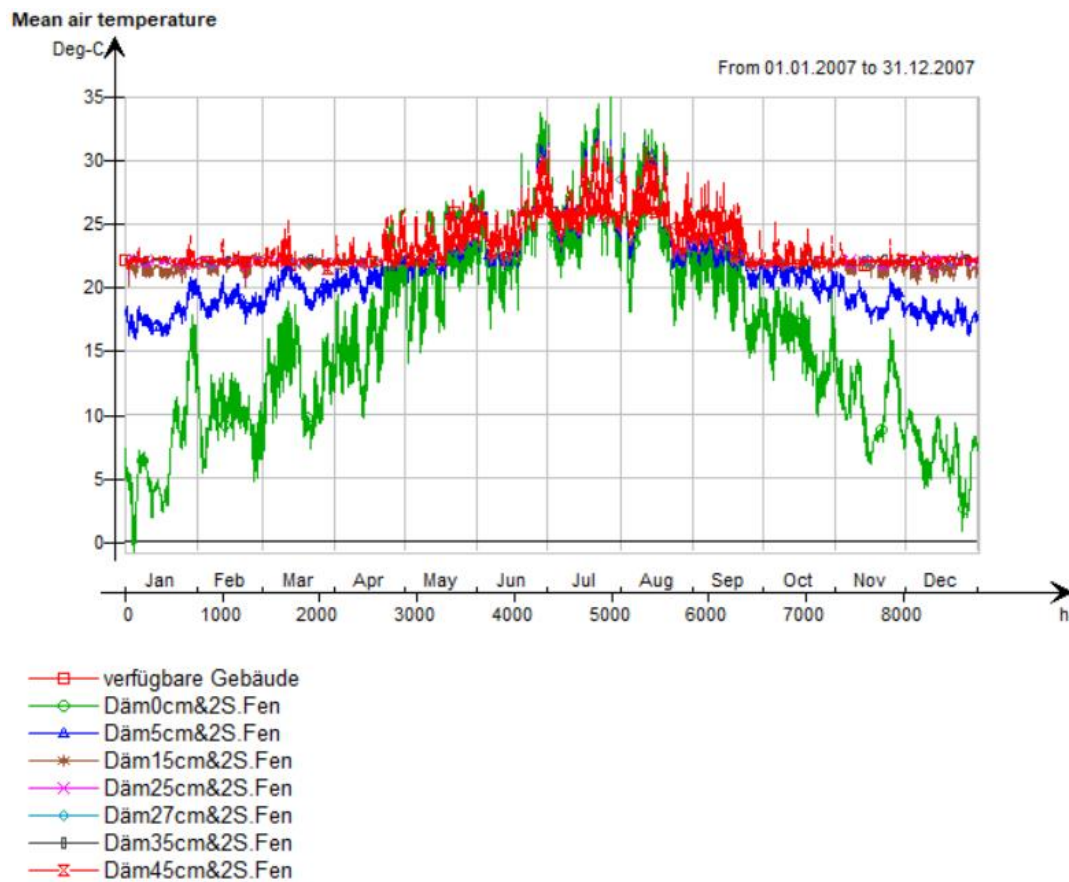
		verfügbar		Dam0cm&2S		Dam5cm&2S		Dam15cm&2		Dam25cm&2	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15219	12.2	15221	12.2	15223	12.2	15220	12.2	15223	12.2
	HVAC aux	10054	8.0	10094	8.1	10026	8.0	10033	8.0	10038	8.0
	Electric heating	1746	1.4	1736	1.4	1739	1.4	1743	1.4	1745	1.4
	Total, Facility electric	27019	21.6	27051	21.6	26988	21.6	26996	21.6	27006	21.6
	Fuel heating	27543	22.0	101641	81.1	63526	50.7	43623	34.8	37558	30.0
	Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
	Total, Facility fuel*	74585	59.5	148683	118.7	110568	88.3	90665	72.4	84600	67.5
	Total	101604	81.1	175734	140.3	137556	109.8	117661	93.9	111606	89.1
	Equipment, tenant	30443	24.3	30441	24.3	30441	24.3	30443	24.3	30444	24.3
	Total, Tenant electric	30443	24.3	30441	24.3	30441	24.3	30443	24.3	30444	24.3
	Grand total	132047	105.4	206175	164.6	167997	134.1	148104	118.2	142050	113.4

		Dam27cm&2		Dam35cm&2		Dam45cm&2	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15222	12.2	15221	12.2	15220	12.2
	HVAC aux	10040	8.0	10042	8.0	10044	8.0
	Electric heating	1743	1.4	1742	1.4	1742	1.4
	Total, Facility electric	27005	21.6	27005	21.6	27006	21.6
	Fuel heating	35538	28.4	34659	27.7	32990	26.3
	Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
	Total, Facility fuel*	82580	65.9	81701	65.2	80032	63.9
	Total	109585	87.5	108706	86.8	107038	85.5
	Equipment, tenant	30444	24.3	30442	24.3	30443	24.3
	Total, Tenant electric	30444	24.3	30442	24.3	30443	24.3
	Grand total	140029	111.8	139148	111.1	137481	109.8

*heating value



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Comfort Reference

	verfügbar	Dam0cm&2S	Dam5cm&2S	Dam15cm&2	Dam25cm&2
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	6	4	3	3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	4	2	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	35	9	8	8

	Dam27cm&2	Dam35cm&2	Dam45cm&2
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	3	3	3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8

Best comfort per metered energy: verfügbar

3.5.3.4 Variante B – Typ B-3 – 1-Fach-Verglasung

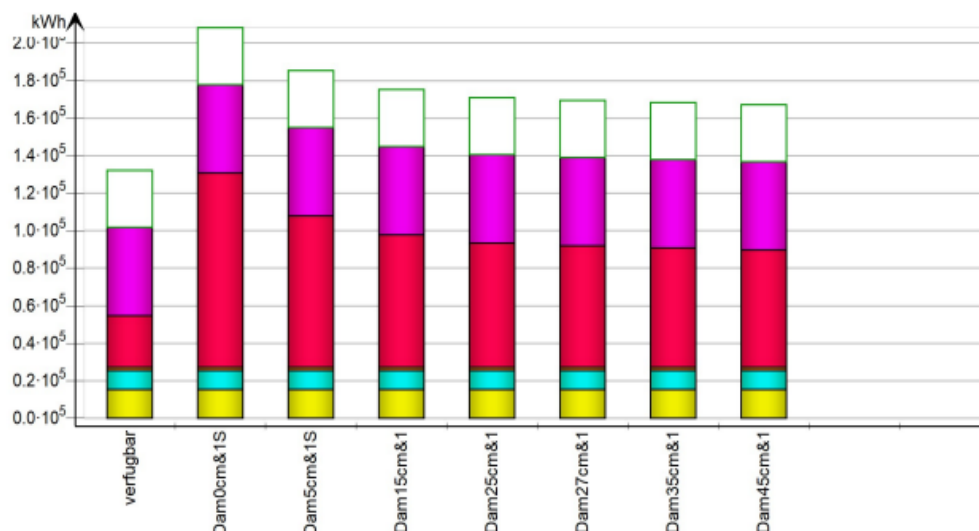
Tabelle 34 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

Meter Energy

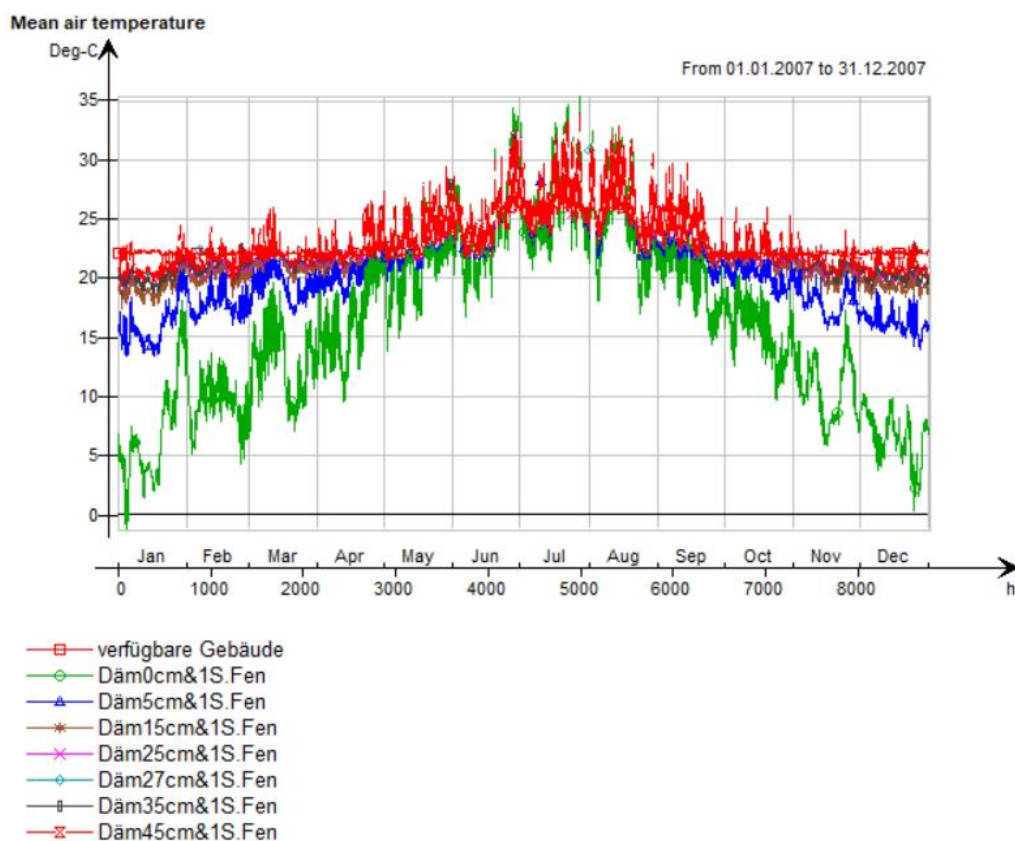
	verfügbar		Dam0cm&1S		Dam5cm&1S		Dam15cm&1		Dam25cm&1	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	15219	12.2	15219	12.2	15221	12.2	15224	12.2	15221	12.2
HVAC aux	10054	8.0	10097	8.1	10045	8.0	10026	8.0	10020	8.0
Electric heating	1746	1.4	1738	1.4	1734	1.4	1734	1.4	1736	1.4
Total, Facility electric	27019	21.6	27054	21.6	27000	21.6	26984	21.5	26977	21.5
Fuel heating	27543	22.0	103661	82.8	80538	64.3	70423	56.2	66220	52.9
Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
Total, Facility fuel*	74585	59.5	150703	120.3	127580	101.9	117465	93.8	113262	90.4
Total	101604	81.1	177757	141.9	154580	123.4	144449	115.3	140239	112.0
Equipment, tenant	30443	24.3	30441	24.3	30440	24.3	30443	24.3	30442	24.3
Total, Tenant electric	30443	24.3	30441	24.3	30440	24.3	30443	24.3	30442	24.3
Grand total	132047	105.4	208198	166.2	185020	147.7	174892	139.6	170681	136.3

	Dam27cm&1		Dam35cm&1		Dam45cm&1	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	15221	12.2	15220	12.2	15221	12.2
HVAC aux	10017	8.0	10017	8.0	10016	8.0
Electric heating	1737	1.4	1736	1.4	1736	1.4
Total, Facility electric	26975	21.5	26973	21.5	26973	21.5
Fuel heating	64905	51.8	63567	50.8	62600	50.0
Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
Total, Facility fuel*	111947	89.4	110609	88.3	109642	87.5
Total	138922	110.9	137582	109.8	136615	109.1
Equipment, tenant	30442	24.3	30439	24.3	30441	24.3
Total, Tenant electric	30442	24.3	30439	24.3	30441	24.3
Grand total	169364	135.2	168021	134.1	167056	133.4

*heating value



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Comfort Reference

	verfugbar	Dam0cm&1S	Dam5cm&1S	Dam15cm&1	Dam25cm&1
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	7	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	4	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	38	11	8	8

	Dam27cm&1	Dam35cm&1	Dam45cm&1
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8

Best comfort per metered energy: verfugbar

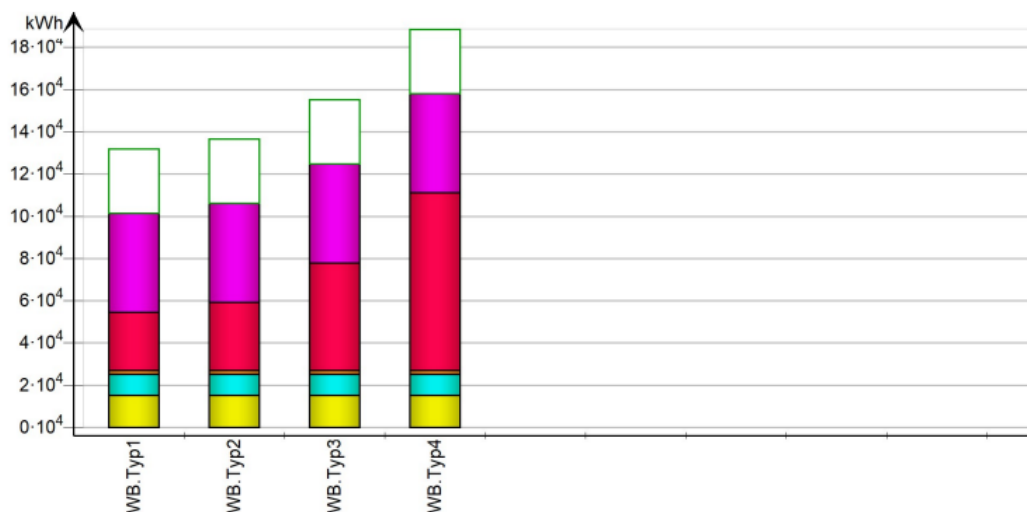
3.5.3.5 Variante C – Typ C-1 bis C-4 Wärmebrücketypen

Tabelle 35 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

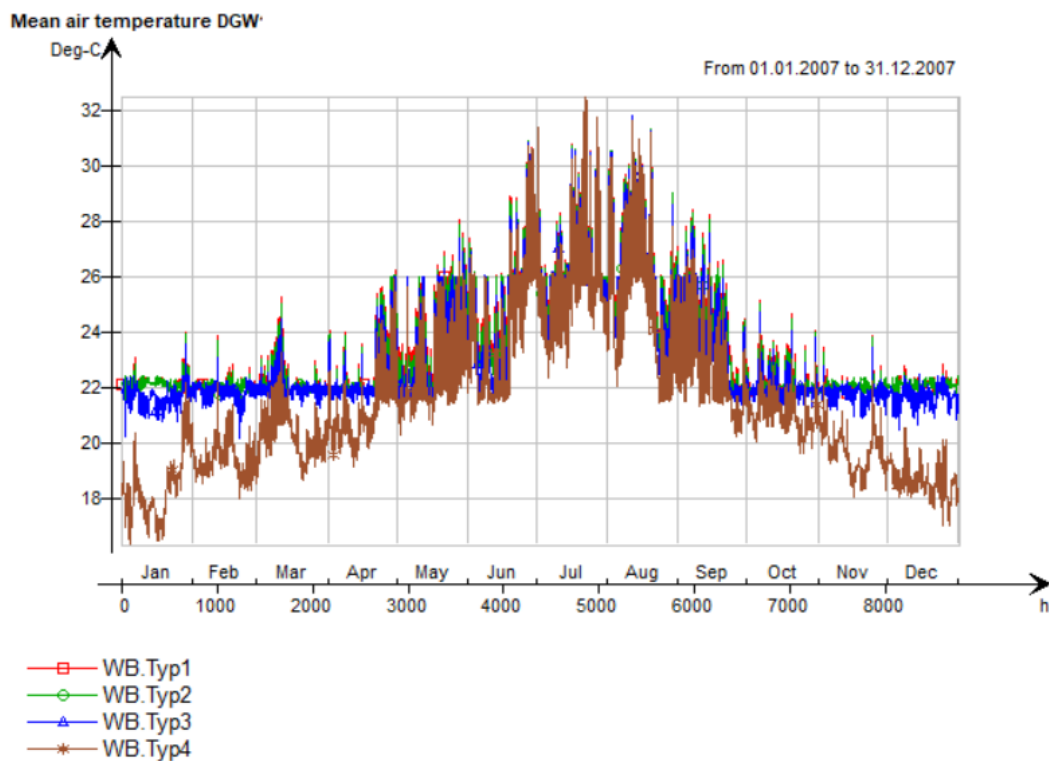
Meter Energy

	WB.Type1		WB.Type2		WB.Type3		WB.Type4	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
■ Lighting, facility	15219	12.2	15220	12.2	15220	12.2	15223	12.2
■ HVAC aux	10054	8.0	10045	8.0	10019	8.0	10050	8.0
■ Electric heating	1746	1.4	1743	1.4	1741	1.4	1734	1.4
Total, Facility electric	27019	21.6	27008	21.6	26980	21.5	27007	21.6
■ Fuel heating	27543	22.0	32294	25.8	50897	40.6	84280	67.3
■ Domestic hot water	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6	47042	37.6
Total, Facility fuel*	74585	59.5	79336	63.3	97939	78.2	131322	104.8
Total	101604	81.1	106344	84.9	124919	99.7	158329	126.4
■ Equipment, tenant	30443	24.3	30443	24.3	30440	24.3	30442	24.3
Total, Tenant electric	30443	24.3	30443	24.3	30440	24.3	30442	24.3
Grand total	132047	105.4	136787	109.2	155359	124.0	188771	150.7

*heating value



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Comfort Reference

	WB.Typ1	WB.Typ2	WB.Typ3	WB.Typ4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4	4	3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3	2
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8	10

Best comfort per metered energy: WB.Typ1

3.5.3.6 CO₂-Emissionen. Jahr 2030,2050 und 2080 (RCP 2,6 und RCP 8,5) (IDA ICE Simulationsergebnisse)

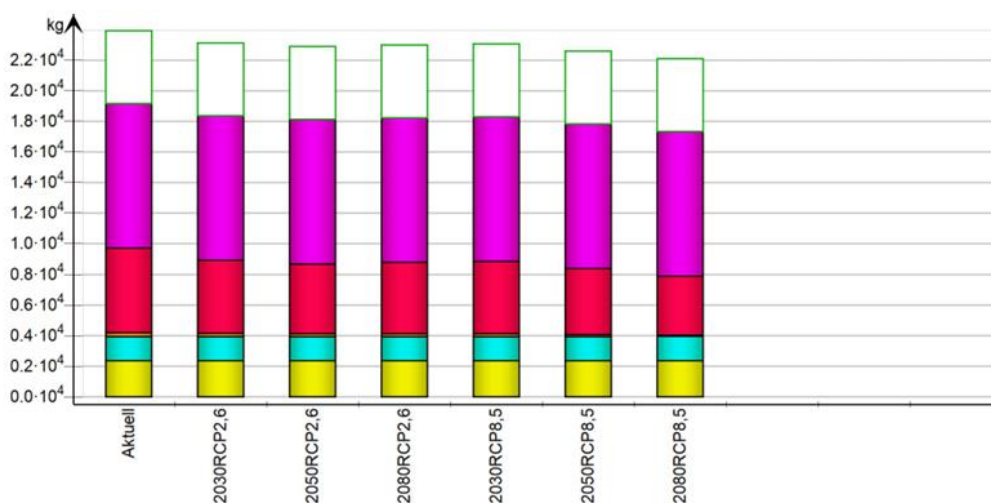
Tabelle 36 : CO₂-Emissionen. Jahr 2030,2050 und 2080 (RCP 2,6 und RCP 8,5), Heizsystemen – Heizkessel (IDA ICE Simulationsergebnisse)

CO₂ Load

	Aktuell		2030RCP2,6		2050RCP2,6		2080RCP2,6		2030RCP8,5	
	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²
■ Lighting, facility	2374	1.9	2375	1.9	2375	1.9	2375	1.9	2375	1.9
■ HVAC aux	1568	1.3	1572	1.3	1574	1.3	1574	1.3	1573	1.3
■ Electric heating	272	0.2	219	0.2	186	0.1	198	0.2	197	0.2
Total, Facility electric	4214	3.4	4166	3.3	4135	3.3	4147	3.3	4145	3.3
■ Fuel heating	5536	4.4	4751	3.8	4569	3.6	4642	3.7	4721	3.8
■ Domestic hot water	9455	7.5	9455	7.5	9455	7.5	9455	7.5	9455	7.5
Total, Facility fuel*	14991	12.0	14206	11.3	14024	11.2	14097	11.3	14176	11.3
Total	19205	15.3	18372	14.7	18159	14.5	18244	14.6	18321	14.6
□ Equipment, tenant	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8
Total, Tenant electric	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8
Grand total	23954	19.1	23121	18.5	22908	18.3	22993	18.4	23070	18.4

	2050RCP8,5		2080RCP8,5	
	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²
■ Lighting, facility	2375	1.9	2375	1.9
■ HVAC aux	1577	1.3	1581	1.3
■ Electric heating	124	0.1	64	0.1
Total, Facility electric	4076	3.3	4020	3.2
■ Fuel heating	4311	3.4	3867	3.1
■ Domestic hot water	9455	7.5	9455	7.5
Total, Facility fuel*	13766	11.0	13322	10.6
Total	17842	14.2	17342	13.8
□ Equipment, tenant	4749	3.8	4749	3.8
Total, Tenant electric	4749	3.8	4749	3.8
Grand total	22591	18.0	22091	17.6

*heating value



3.5.4 Heizsystemen – Wärmepumpe

In Anbetracht der Bedeutung der Reduzierung der Co₂- Emission und des zukünftigen Einsatzes weniger fossiler Brennstoffe wurde in dieser Untersuchung der Gasbrennwertkessel durch eine Wärmepumpe als Wärmeerzeuger des Gebäudes ersetzt. Anschließend wurden die Ergebnisse des Energieverbrauchs und der Kohlendioxidemissionen untersucht. Die Ergebnisse sind in der folgenden aufgeführt.

3.5.4.1 Variante A – Typ A-1- Dämmstärke 0 bis 95 cm – 3-Fach-Verglasung

Im Zuge der Betrachtung von Variante A wurde der Einfluss von Dämmstärken im Bereich von 0 bis 95 cm mit einer Schrittweite von 10 cm auf den Energieverbrauch untersucht.

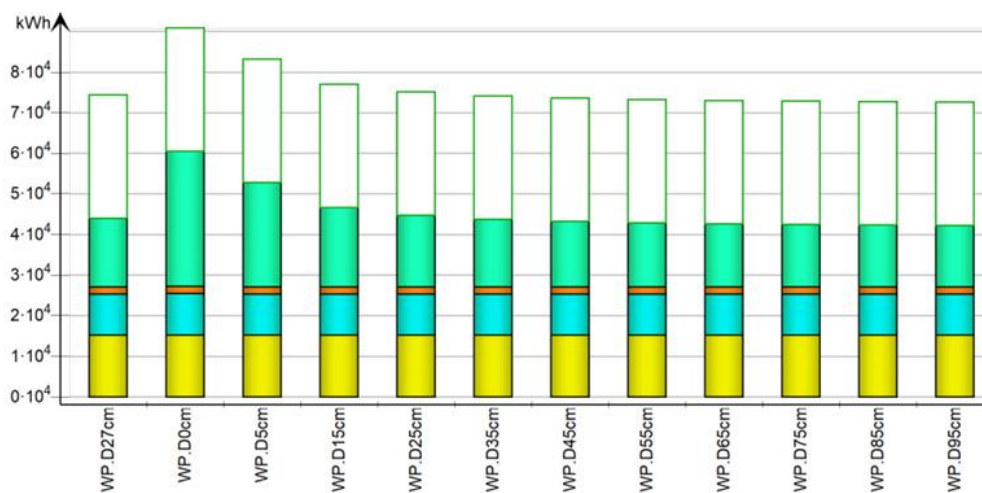
Tabelle 37 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

Meter Energy

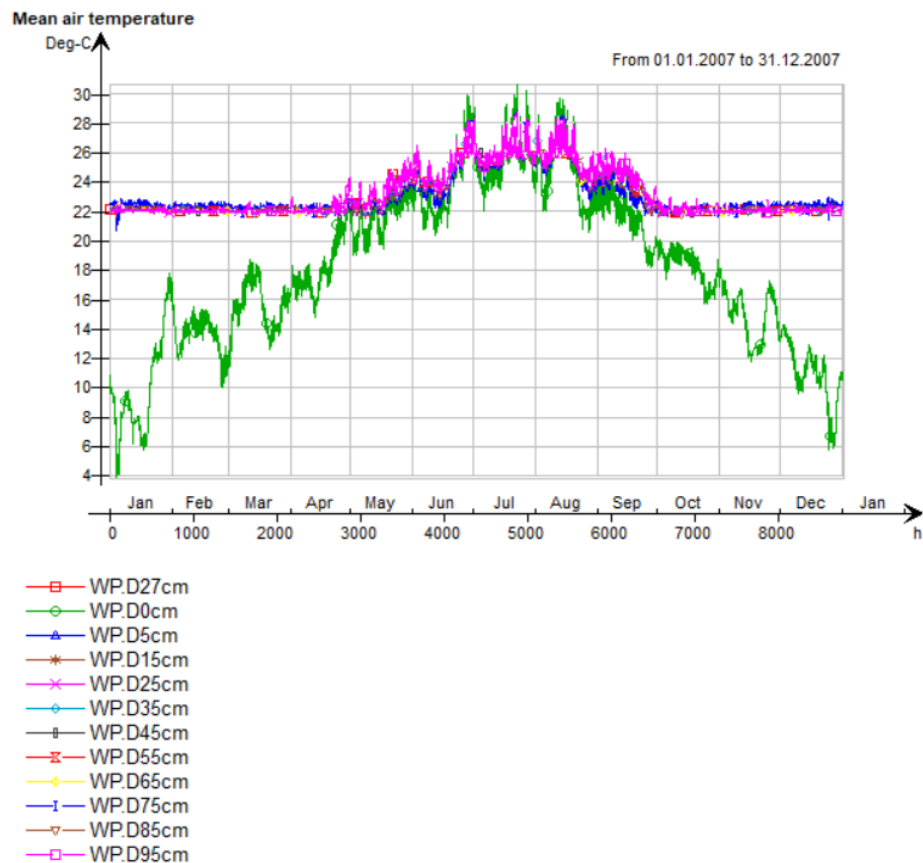
		WP.D27cm		WP.D0cm		WP.D5cm		WP.D15cm		WP.D25cm	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15221	12.2	15220	12.2	15222	12.2	15223	12.2	15222	12.2
	HVAC aux	10059	8.0	10157	8.1	10060	8.0	10054	8.0	10057	8.0
	Electric heating	1743	1.4	1741	1.4	1737	1.4	1741	1.4	1743	1.4
	Heat pump	16956	13.5	33225	26.5	25776	20.6	19588	15.6	17611	14.1
	Total, Facility electric	43979	35.1	60343	48.2	52795	42.1	46606	37.2	44633	35.6
	Total	43979	35.1	60343	48.2	52795	42.1	46606	37.2	44633	35.6
	Equipment, tenant	30440	24.3	30440	24.3	30441	24.3	30441	24.3	30442	24.3
	Total, Tenant electric	30440	24.3	30440	24.3	30441	24.3	30441	24.3	30442	24.3
	Grand total	74419	59.4	90783	72.5	83236	66.5	77047	61.5	75075	59.9

		WP.D35cm		WP.D45cm		WP.D55cm		WP.D65cm		WP.D75cm	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15223	12.2	15221	12.2	15222	12.2	15222	12.2	15223	12.2
	HVAC aux	10060	8.0	10063	8.0	10064	8.0	10066	8.0	10066	8.0
	Electric heating	1743	1.4	1743	1.4	1744	1.4	1744	1.4	1744	1.4
	Heat pump	16673	13.3	16134	12.9	15786	12.6	15543	12.4	15367	12.3
	Total, Facility electric	43699	34.9	43161	34.5	42816	34.2	42575	34.0	42400	33.9
	Total	43699	34.9	43161	34.5	42816	34.2	42575	34.0	42400	33.9
	Equipment, tenant	30439	24.3	30442	24.3	30443	24.3	30443	24.3	30444	24.3
	Total, Tenant electric	30439	24.3	30442	24.3	30443	24.3	30443	24.3	30444	24.3
	Grand total	74138	59.2	73603	58.8	73259	58.5	73018	58.3	72844	58.1

	WP.D85cm		WP.D95cm	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
■ Lighting, facility	15224	12.2	15223	12.2
■ HVAC aux	10068	8.0	10068	8.0
■ Electric heating	1744	1.4	1744	1.4
■ Heat pump	15224	12.2	15111	12.1
Total, Facility electric	42260	33.7	42146	33.6
Total	42260	33.7	42146	33.6
□ Equipment, tenant	30442	24.3	30442	24.3
Total, Tenant electric	30442	24.3	30442	24.3
Grand total	72702	58.0	72588	58.0



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Comfort Reference

	WP.D27cm	WP.D0cm	WP.D5cm	WP.D15cm	WP.D25cm
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	6	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	4	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	38	9	8	8

	WP.D35cm	WP.D45cm	WP.D55cm	WP.D65cm	WP.D75cm
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8	8	8

	WP.D85cm	WP.D95cm
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8

Best comfort per metered energy: WP.D95cm

Best comfort per CO₂: WP.D95cm

Best comfort per primary energy: WP.D95cm

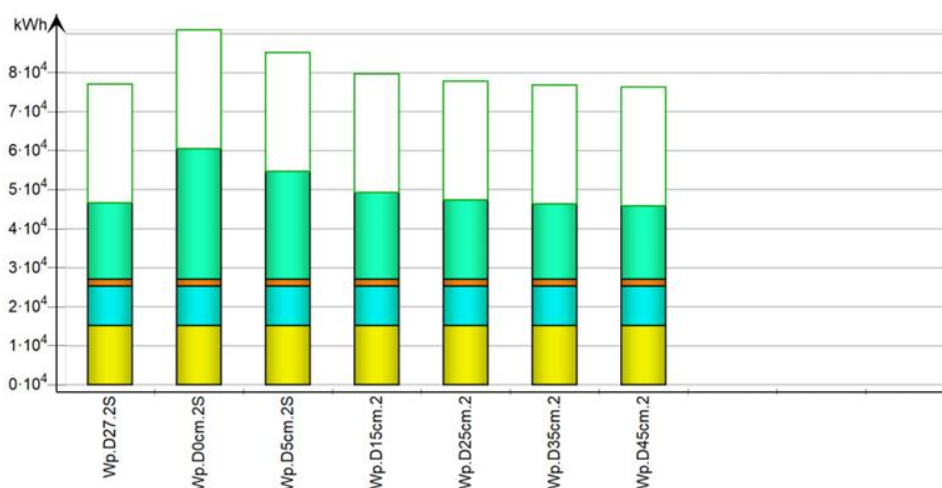
3.5.4.2 Variante B – Typ B-2 – 2-Fach-Verglasung

Tabelle 38 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

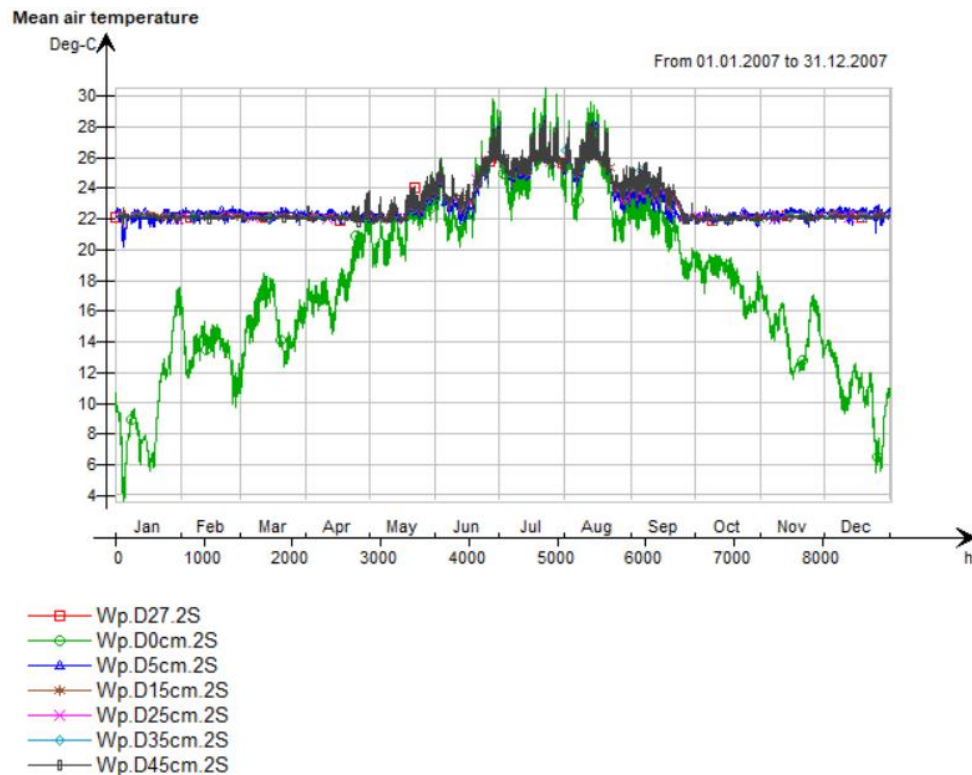
Meter Energy

	Wp.D27.2S		Wp.D0cm.2S		Wp.D5cm.2S		Wp.D15cm.2		Wp.D25cm.2	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	15223	12.2	15220	12.2	15221	12.2	15221	12.2	15221	12.2
HVAC aux	10049	8.0	10161	8.1	10071	8.0	10050	8.0	10050	8.0
Electric heating	1742	1.4	1742	1.4	1736	1.4	1741	1.4	1741	1.4
Heat pump	19650	15.7	33442	26.7	27669	22.1	22197	17.7	20297	16.2
Total, Facility electric	46664	37.3	60565	48.4	54697	43.7	49209	39.3	47309	37.8
Total	46664	37.3	60565	48.4	54697	43.7	49209	39.3	47309	37.8
Equipment, tenant	30444	24.3	30440	24.3	30444	24.3	30440	24.3	30443	24.3
Total, Tenant electric	30444	24.3	30440	24.3	30444	24.3	30440	24.3	30443	24.3
Grand total	77108	61.6	91005	72.7	85141	68.0	79649	63.6	77752	62.1

	Wp.D35cm.2		Wp.D45cm.2	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	15220	12.2	15221	12.2
HVAC aux	10051	8.0	10052	8.0
Electric heating	1742	1.4	1742	1.4
Heat pump	19348	15.5	18786	15.0
Total, Facility electric	46361	37.0	45801	36.6
Total	46361	37.0	45801	36.6
Equipment, tenant	30444	24.3	30442	24.3
Total, Tenant electric	30444	24.3	30442	24.3
Grand total	76805	61.3	76243	60.9



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Comfort Reference

	Wp.D27.2S	Wp.D0cm.2S	Wp.D5cm.2S	Wp.D15cm.2	Wp.D25cm.2
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	3	6	4	3	3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	4	2	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	39	9	8	8

	Wp.D35cm.2	Wp.D45cm.2
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	3	3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8

Best comfort per metered energy: Wp.D45cm.2

Best comfort per CO₂: Wp.D45cm.2

Best comfort per primary energy: Wp.D45cm.2

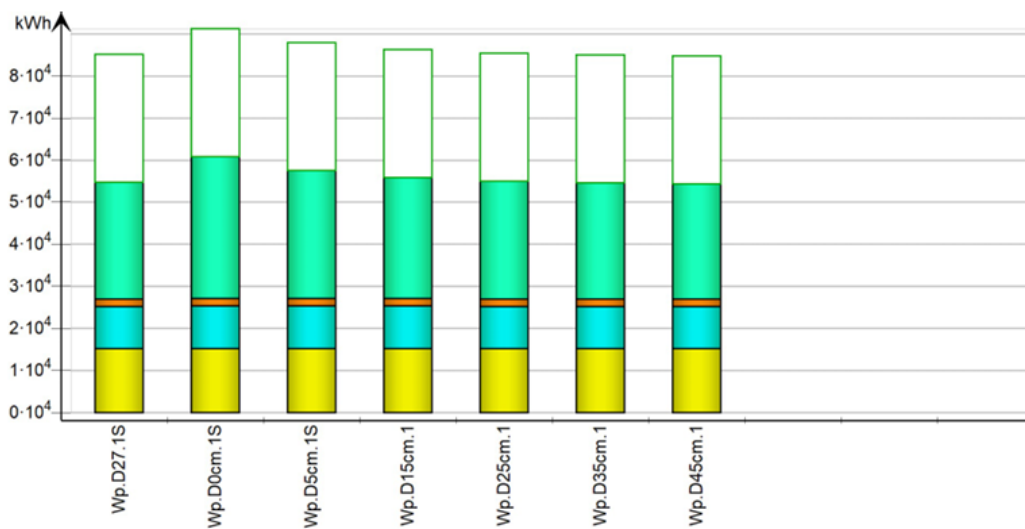
3.5.4.3 Variante B – Typ B-3 – 1-Fach-Verglasung

Tabelle 39 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

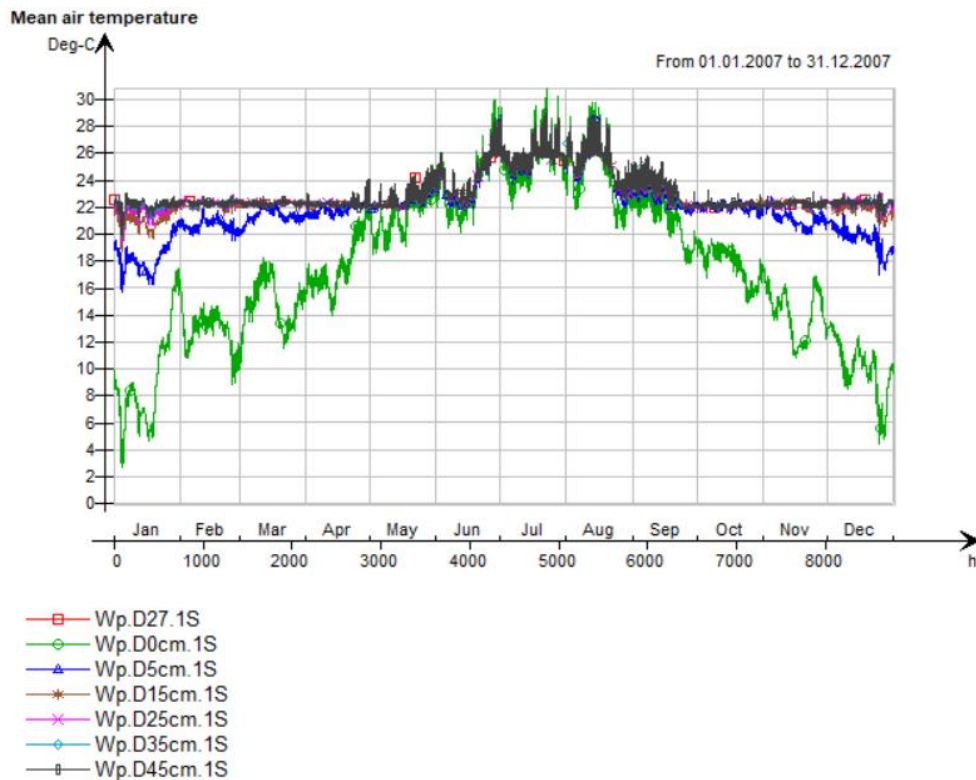
Meter Energy

		Wp.D27.1S		Wp.D0cm.1S		Wp.D5cm.1S		Wp.D15cm.1		Wp.D25cm.1	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15223	12.2	15221	12.2	15221	12.2	15223	12.2	15223	12.2
	HVAC aux	10068	8.0	10166	8.1	10102	8.1	10079	8.0	10070	8.0
	Electric heating	1735	1.4	1743	1.4	1735	1.4	1735	1.4	1735	1.4
	Heat pump	27805	22.2	33669	26.9	30458	24.3	28789	23.0	28046	22.4
	Total, Facility electric	54831	43.8	60799	48.5	57516	45.9	55826	44.6	55074	44.0
	Total	54831	43.8	60799	48.5	57516	45.9	55826	44.6	55074	44.0
	Equipment, tenant	30443	24.3	30439	24.3	30439	24.3	30441	24.3	30442	24.3
	Total, Tenant electric	30443	24.3	30439	24.3	30439	24.3	30441	24.3	30442	24.3
	Grand total	85274	68.1	91238	72.8	87955	70.2	86267	68.9	85516	68.3

		Wp.D35cm.1		Wp.D45cm.1	
		kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
	Lighting, facility	15223	12.2	15223	12.2
	HVAC aux	10066	8.0	10063	8.0
	Electric heating	1735	1.4	1736	1.4
	Heat pump	27623	22.1	27340	21.8
	Total, Facility electric	54647	43.6	54362	43.4
	Total	54647	43.6	54362	43.4
	Equipment, tenant	30441	24.3	30441	24.3
	Total, Tenant electric	30441	24.3	30441	24.3
	Grand total	85088	67.9	84803	67.7



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Comfort Reference

	Wp.D27.1S	Wp.D0cm.1S	Wp.D5cm.1S	Wp.D15cm.1	Wp.D25cm.1
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	7	4	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	4	3	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	9	41	14	9	9

	Wp.D35cm.1	Wp.D45cm.1
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8

Best comfort per metered energy: Wp.D45cm.1

Best comfort per CO₂: Wp.D45cm.1

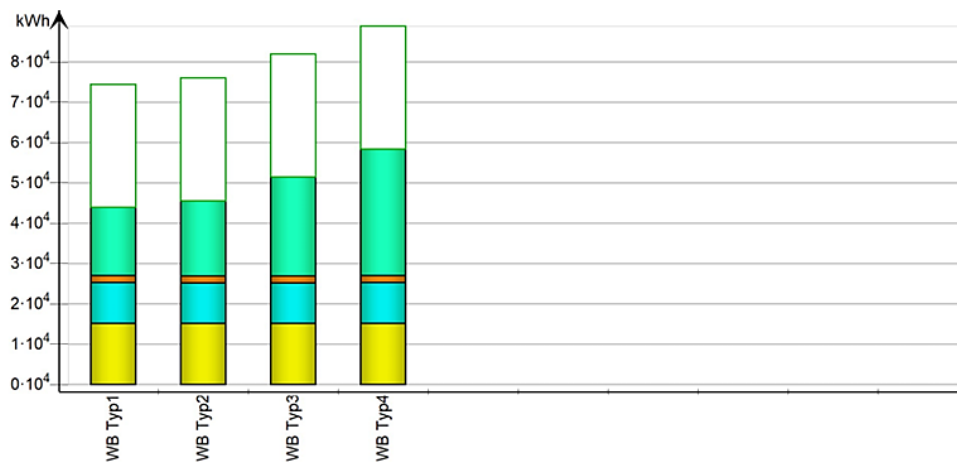
Best comfort per primary energy: Wp.D45cm.1

3.5.4.4 Variante C – Typ C-1 bis C-4 Wärmebrücketypen

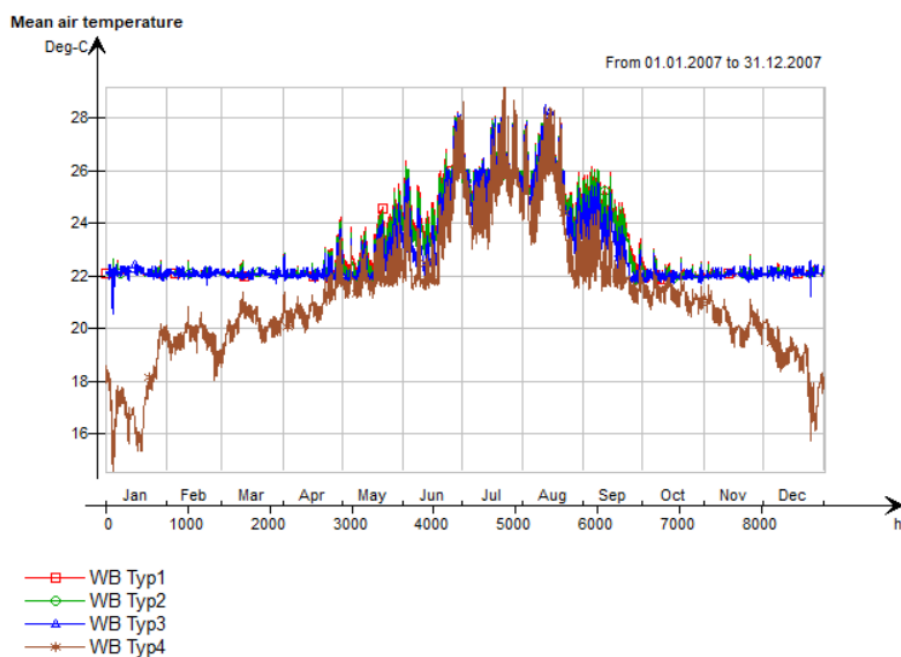
Tabelle 40 : Ergebnisse der Untersuchung Energieverbrauch mit IDA ICE

Meter Energy

	WB Typ1		WB Typ2		WB Typ3		WB Typ4	
	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²	kWh	kWh/m ²
Lighting, facility	15221	12.2	15222	12.2	15219	12.2	15223	12.2
HVAC aux	10059	8.0	10052	8.0	10043	8.0	10109	8.1
Electric heating	1743	1.4	1742	1.4	1738	1.4	1735	1.4
Heat pump	16956	13.5	18590	14.8	24535	19.6	31335	25.0
Total, Facility electric	43979	35.1	45606	36.4	51535	41.1	58402	46.6
Total	43979	35.1	45606	36.4	51535	41.1	58402	46.6
Equipment, tenant	30440	24.3	30441	24.3	30438	24.3	30443	24.3
Total, Tenant electric	30440	24.3	30441	24.3	30438	24.3	30443	24.3
Grand total	74419	59.4	76047	60.7	81973	65.4	88845	70.9



Raumtemperaturprognose (IDA ICE Simulationsergebnisse)



Komfort-Referenz (IDA ICE Simulationsergebnisse)**Comfort Reference**

	WB Typ1	WB Typ2	WB Typ3	WB Typ4
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in worst zone	4	4	4	3
Percentage of hours when operative temperature is above 27°C in average zone	3	3	3	2
Percentage of total occupant hours with thermal dissatisfaction	8	8	8	13

Best comfort per metered energy: WB Typ1

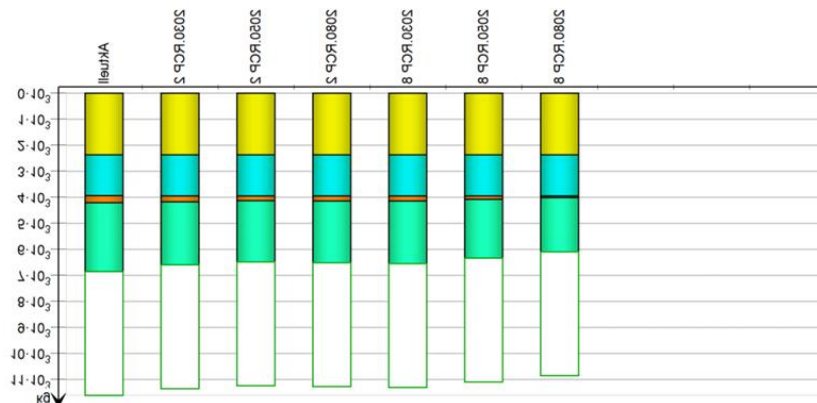
Best comfort per CO₂: WB Typ1

Best comfort per primary energy: WB Typ1

3.5.4.5 CO₂-Emissionen. Jahr 2030,2050 und 2080 (RCP 2,6 und RCP 8,5) (IDA ICE Simulationsergebnisse)**Tabelle 41 : CO₂-Emissionen. Jahr 2030,2050 und 2080 (RCP 2,6 und RCP 8,5), Heizsystemen – Wärmepumpe (IDA ICE Simulationsergebnisse)****CO₂ Load**

	Aktuell		2030.RCP 2		2050.RCP 2		2080.RCP 2		2030.RCP 8	
	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²
■ Lighting, facility	2374	1.9	2375	1.9	2375	1.9	2375	1.9	2375	1.9
■ HVAC aux	1569	1.3	1573	1.3	1575	1.3	1574	1.3	1574	1.3
■ Electric heating	272	0.2	219	0.2	185	0.1	197	0.2	197	0.2
■ Heat pump	2645	2.1	2415	1.9	2354	1.9	2371	1.9	2397	1.9
Total, Facility electric	6860	5.5	6582	5.3	6489	5.2	6517	5.2	6543	5.2
Total	6860	5.5	6582	5.3	6489	5.2	6517	5.2	6543	5.2
■ Equipment, tenant	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8
Total, Tenant electric	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8	4749	3.8
Grand total	11609	9.3	11331	9.0	11238	9.0	11266	9.0	11292	9.0

	2050.RCP 8		2080.RCP 8	
	kg	kg/m ²	kg	kg/m ²
■ Lighting, facility	2375	1.9	2375	1.9
■ HVAC aux	1577	1.3	1582	1.3
■ Electric heating	124	0.1	64	0.1
■ Heat pump	2254	1.8	2086	1.7
Total, Facility electric	6330	5.1	6107	4.9
Total	6330	5.1	6107	4.9
■ Equipment, tenant	4749	3.8	4749	3.8
Total, Tenant electric	4749	3.8	4749	3.8
Grand total	11079	8.8	10856	8.7



4 Ergebnisse

4.1 Einfluss des Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrücken auf den Energieverbrauch

4.1.1 Einfluss des Dämmstärke – Variante A – Typ A-1

Die Ergebnisse sind in Tabelle 42 dargestellt.

Tabelle 42 : Energieverbrauch für das Messjahr in Abhängigkeit von der Dämmstärke (basierend auf IDA.ICE)

■ Verfügbare Dämmstärke

Dämmstärke [cm]	Beleuchtung [kWh]	HLK [kWh]	E.Heizung [kWh]	Kraftstoffheizung [kWh]	Warmwasser [kWh]	Geräte [kWh]	Gesamtenergie [kWh]	Gesamtenergie [kWh/m ²]
0	15.220	10.090	1.738	100.430	47.042	30.440	204.959	163,6
5	15.222	10.028	1.739	56.287	47.042	30.440	160.758	128,3
15	15.223	10.043	1.742	35.582	47.042	30.444	140.075	111,8
25	15.220	10.051	1.744	29.492	47.042	30.442	133.991	107,0
27	15.219	10.054	1.746	27.543	47.042	30.443	132.048	105,4
35	15.222	10.056	1.746	26.726	47.042	30.441	131.232	104,8
45	15.219	10.059	1.748	25.147	47.042	30.443	129.658	103,5
55	15.220	10.062	1.747	24.125	47.042	30.439	128.635	102,7
65	15.220	10.063	1.746	23.416	47.042	30.442	127.930	102,1
75	15.221	10.064	1.746	22.890	47.042	30.443	127.406	101,7
85	15.221	10.065	1.748	22.482	47.042	30.442	127.001	101,4
95	15.222	10.066	1.749	22.157	47.042	30.441	126.677	101,1

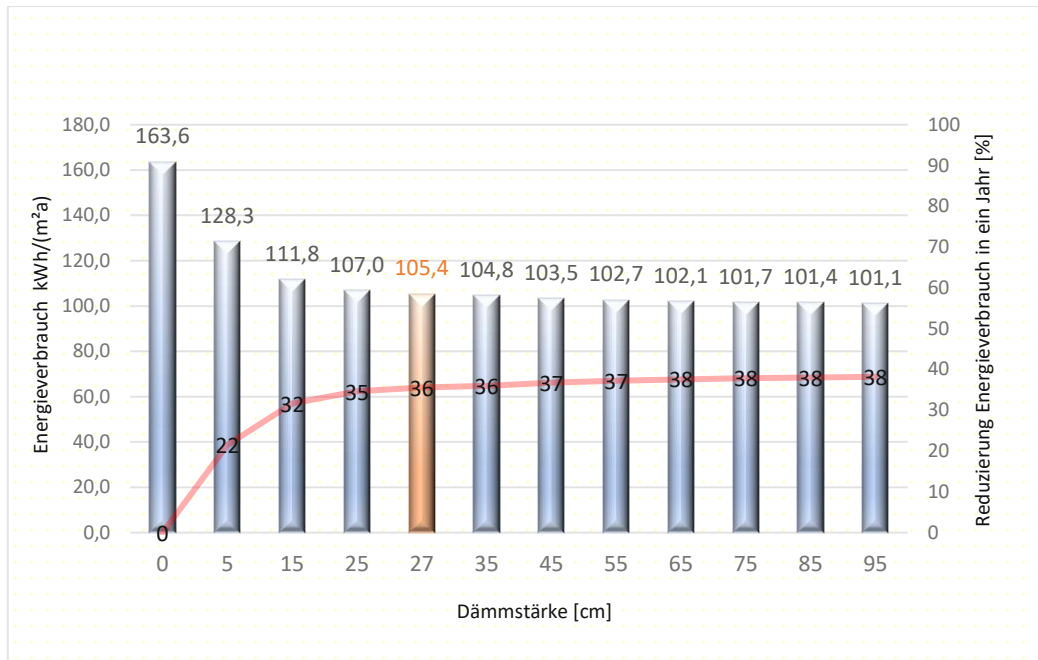


Abbildung 54 : Vergleich des Energieverbrauchs und Reduzierung Energieverbrauch für ein Jahr in Abhängigkeit von der Dämmstärke

Verfügbare Dämmstärke

Die obige Abbildung zeigt deutlich, dass Energieverbrauch bei den ersten Zentimetern Dämmung steil sinkt (32%). Bereits ab einer Dämmstärke von 15 cm und einem flacht die Kurve ab. Ab einer Dämmstärke von etwa 27 cm bewirkt die Zunahme der Dämmstärke keine wesentliche Verbesserung des Energieverbrauch mehr (Ungefähr 2 %). Dies deutet darauf hin, dass eine Erhöhung der Dämmstärke um mehr als 30 cm nicht zu einer merklichen Reduzierung des Energieverbrauchs führt. (Abbildung 54)

Die Ursache dieses Phänomens liegt in den Übertragungswärmeverlusten des Gebäudes. Verluste durch die Gebäudehülle aufgrund von Wärmeleitung werden als Transmissionswärmeverluste bezeichnet und stellen in der Regel den größten Anteil in der Energiebilanz eines Gebäudes dar. Dabei tritt Wärme durch die Bauteile hindurch, was durch ausreichend wärmedämmte Konstruktionen verhindert werden soll. In den erhaltenen Ergebnissen war deutlich zu erkennen, dass mit zunehmender Dämmstärke der Energieverbrauch sinkt. Diese Reduzierung ist bis zu einer Dicke von etwa 30 cm sehr deutlich spürbar. Danach ist jedoch keine signifikante weitere Reduzierung des Energieverbrauchs feststellbar. (Abbildung 54)

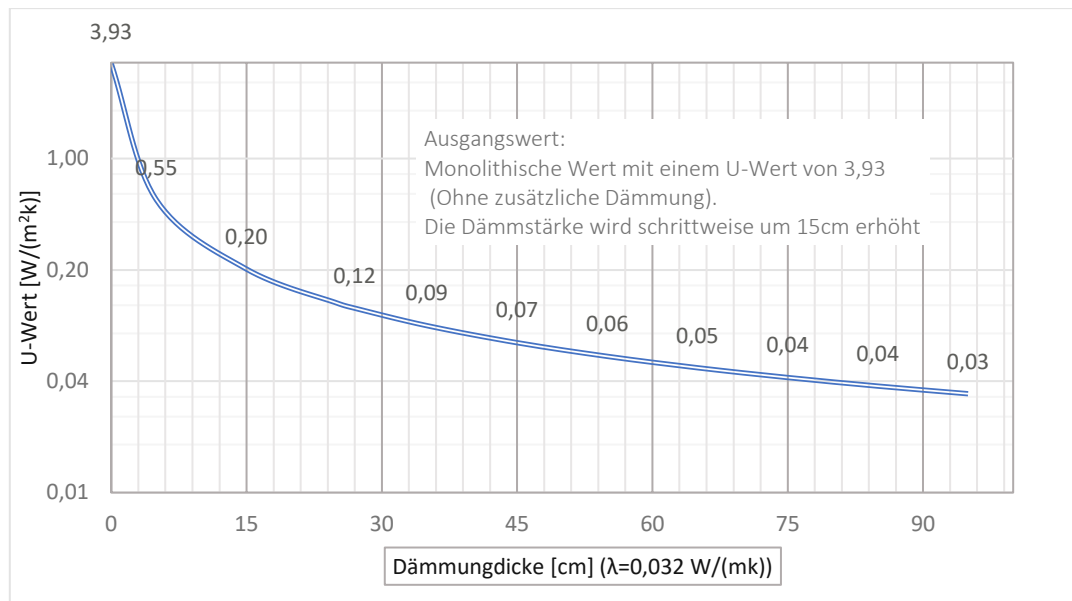


Abbildung 55 : U-Wert bei verschiedenen Dämmstärken

Da im Bauwesen in der Regel unterschiedliche Werkstoffe mit unterschiedlichen Dicken eingesetzt werden (z. B. Mauerwerk mit Putzschichten, Holzkonstruktionen mit Dämmschichten und Verkleidungen), ist die Klassifizierung der Bauteile und die Quantifizierung von Wärmeverlusten durch alleinige Betrachtung des λ -Werts nicht möglich. Auf Grundlage der Wärmeleitfähigkeit und der Werkstoffdicken wird der U-Wert (Unit of heat-transfer) von Bauteilen errechnet. Hierbei handelt es sich um den Wärmedurchgangskoeffizienten, der darstellt, wie viel Wärmeenergie in Watt bei einer Temperaturdifferenz von einem Grad Kelvin durch ein Bauteil mit einer Fläche von einem Quadratmeter gelangt.

$U [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$. Neben der Wärmeleitfähigkeit und der Dicke der Baustoffe fließt in den U-Wert auch der sog. Wärmeübergangswiderstand zwischen Bauteiloberfläche und angrenzender Luft im Innenbereich und im Außenbereich eines Bauteils mit ein. (11)

Der U-Wert eines Bauteils verhält sich nicht linear zur Dämmdicke. Oft wird fälschlicherweise angenommen, dass sich der U-Wert halbiert, wenn die Dämmstoffdicke verdoppelt wird. Tatsächlich reduziert sich der U-Wert mit steigender Dämmstärke nur noch geringfügig. (11)

Die neben stehende Grafik zeigt deutlich, dass der U-Wert bei den ersten Zentimetern Dämmung ($\lambda = 0,032$) relativ steil sinkt. Bereits ab einer Dämmstärke von 15 cm und einem U-Wert von 0,2 flacht die Kurve ab. Ab einer Dämmstärke von etwa 27 cm und einem U-Wert von etwa 0,12 bewirkt die Zunahme der Dämmstärke keine wesentliche Verbesserung des U-Wertes mehr. (Abbildung 55)

4.1.2 Einfluss des Fenstertyp – Variante B – Typ B-1 bis Typ B-3

Die Holzrahmen der Fenster des Gebäudes sind mit Aluminium-Dämmschalen Typ „edition“ der Firma Internorm ausgestattet. Die Fenster haben eine 3-fach-Wärmeschutzverglasung mit Kryptonfüllung (U_w -Wert = $0,91 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). (32)

Um den Einfluss des Fenstertyps auf den Energieverbrauch des Gebäudes zu untersuchen, wurden die vorhandenen Fenster durch Ein- und Zweifachverglasungen ersetzt. Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 43 : Energieverbrauch für das Messjahr in Abhängigkeit von der Fenstertyp (basierend auf IDA.ICE)

Fenstertyp	Dämmstärke [cm]	Beleuchtung [kWh]	HLLK [kWh]	E.Heizung [kWh]	Kraftstoffheizung [kWh]	Warmwasser [kWh]	Geräte [kWh]	Gesamtenergie [kWh]	Gesamtenergie [kWh/m ²]
1 Scheibe	27	15.221	10.017	1.737	64.905	47.042	30.442	169.364	135
2 Scheibe	27	15.222	10.040	1.743	35.538	47.042	30.444	140.029	112
3 Scheibe	27	15.219	10.054	1.746	27.543	47.042	30.443	132.048	105

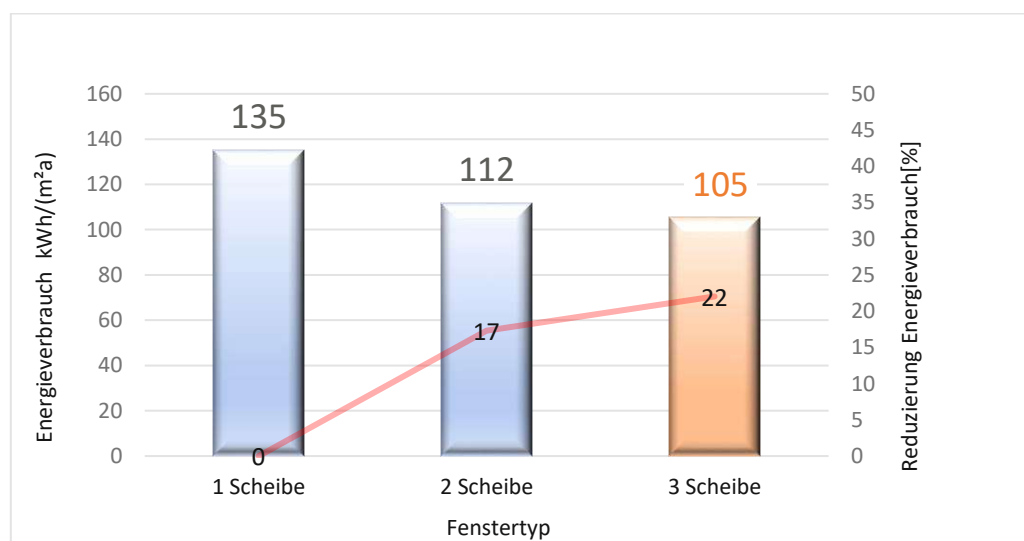


Abbildung 56 : Vergleich des Energieverbrauchs in Abhängigkeit von der Fenstertyp

Die obige Abbildung zeigt deutlich, dass der Energieverbrauch durch den Wechsel des Fenstertyps von Einfachverglasung zu 2-Fach Verglasung deutlich reduziert wird (17 %). Und durch den Austausch des 3-Fach Verglasung erreicht diese Reduzierung 22 %.

(Abbildung 56)

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass bei der Verwendung verschiedener Fenstertypen in den Berechnungen alle Parameter außer dem U-Wert der Verglasung unverändert blieben, wurden die Änderungen des Energieverbrauchs entsprechend der Änderung des U-Werts der Verglasung untersucht.

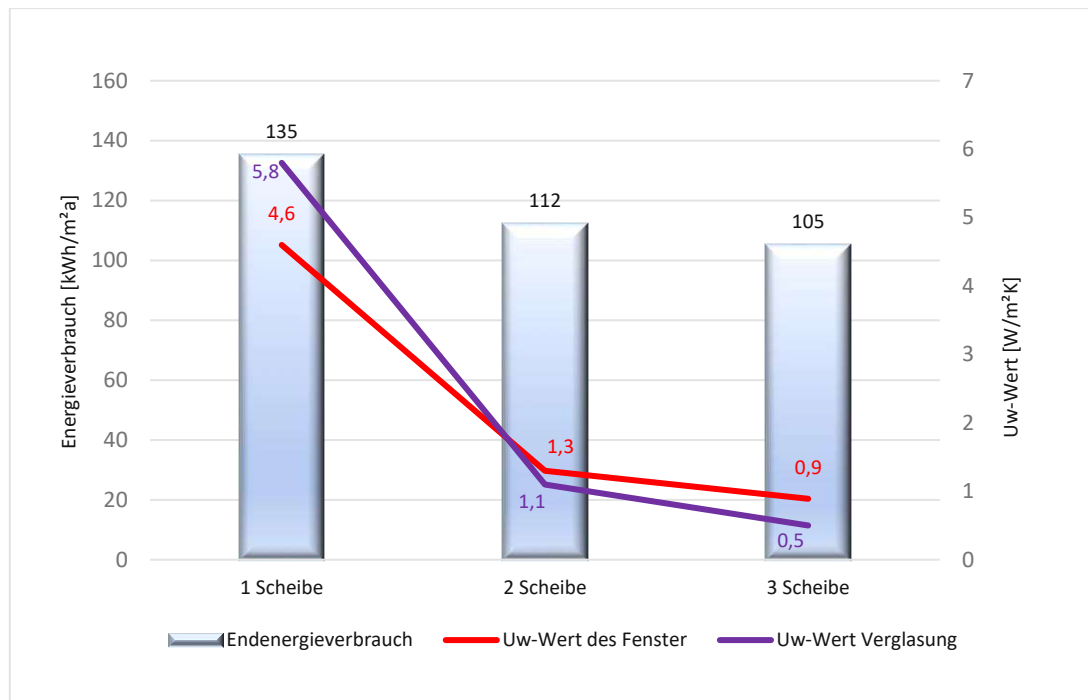


Abbildung 57 : Endenergieverbrauch in Abhängigkeit der U-Wert des Fensters und U-Wert Verglasung

Das obige Bild zeigt deutlich, dass der Wechsel von Ein-Fach-Verglasung zu 2-Fach-Verglasungsfenstern den U-Wert der Verglasung um 81 % reduziert, und diese Reduzierung bei der Verwendung von 3-Fach-Verglasungsfenstern 91 % im Vergleich zu 1-Fach-Verglasungsfenstern erreicht. Betrachtet man den direkten Zusammenhang zwischen dem U-Wert der Verglasung und dem U_w -Wert des Fensters, lässt sich erkennen, dass dies zu einem Rückgang von etwa 72 % U-Wert des Fensters bei der Verwendung eines 2-Fach-Verglasungsfensters und einem Rückgang von 80 % bei der Verwendung eines 3-Fach Verglasungsfensters führt.

Die Veränderung des U-Werts des Fensters führte zu einer Änderung der Menge der Transmissionswärmeverluste im Gebäude sowie des Endenergieverbrauchs. Die Ergebnisse sind in Tabelle 44 bis 46 dargestellt.

Tabelle 44 : Transmissionswärmeverluste im Gebäude bei 1-Fach-Verglasungsfenstern in [kWh/a]. (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
						
1	-1312.7	-377.2	-85.7	-9750.2	-39.5	-530.6
2	-1010.4	-295.5	-125.1	-8226.0	-32.1	-435.9
3	-1035.4	-259.8	-187.7	-7830.7	-27.6	-405.6
4	-910.2	-150.6	-221.1	-5651.2	-16.8	-278.6
5	-593.1	-43.5	-252.3	-4056.1	-8.0	-180.8
6	-568.7	3.1	-256.3	-2845.8	-3.1	-113.7
7	-205.1	35.1	-258.0	-2606.5	-2.7	-94.8
8	-190.2	-4.0	-198.9	-2941.9	-6.2	-117.9
9	-190.5	-85.3	-114.8	-4054.5	-14.9	-195.1
10	-602.5	-195.4	-66.8	-5662.3	-23.9	-293.7
11	-827.3	-285.8	-53.2	-7698.5	-32.6	-411.7
12	-1179.7	-387.7	-55.4	-9989.9	-41.6	-540.4
Total	-8625.7	-2046.6	-1875.3	-71313.6	-249.1	-3598.9
During heating	-6677.3	-1928.3	-1723.6	-60519.7	-219.9	-3111.2
During cooling	-1688.9	-43.3	-84.0	-4199.3	-10.8	-184.6
Rest of time	-259.5	-75.0	-67.7	-6594.6	-18.4	-303.1

Tabelle 45 : Transmissionswärmeverluste im Gebäude bei 2-Fach-Verglasungsfenstern in [kWh/a]. (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
						
1	-1341.7	-396.3	-109.2	-3042.2	-42.0	-536.6
2	-1064.3	-304.8	-141.8	-2540.2	-33.9	-438.2
3	-1047.6	-262.6	-196.5	-2414.7	-29.2	-406.0
4	-871.4	-147.7	-220.3	-1733.6	-17.9	-278.0
5	-589.7	-37.2	-247.4	-1247.3	-8.4	-180.7
6	-545.8	8.1	-250.4	-883.3	-3.6	-115.4
7	-221.2	41.0	-253.5	-780.2	-2.7	-92.6
8	-196.9	1.3	-201.4	-902.3	-6.2	-118.5
9	-238.2	-86.3	-126.6	-1289.8	-15.9	-201.3
10	-605.0	-194.3	-78.7	-1752.7	-25.0	-293.7
11	-912.9	-297.1	-73.3	-2382.9	-34.2	-414.4
12	-1257.1	-406.1	-82.0	-3106.7	-43.9	-545.6
Total	-8891.6	-2082.0	-1981.2	-22075.7	-262.9	-3620.9
During heating	-7804.1	-2058.3	-1840.9	-18356.3	-221.8	-3076.8
During cooling	-822.8	27.7	-46.1	-1340.5	-14.1	-191.6
Rest of time	-264.7	-51.4	-94.2	-2378.9	-27.0	-352.5

Tabelle 46 : Transmissionswärmeverluste im Gebäude bei 3-Fach-Verglasungsfenstern in [kWh/a]. (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Envelope transmission

kWh

Month	Walls	Roof	Floor	Windows	Doors	Thermal bridges
1	-1359.4	-398.2	-114.3	-2103.8	-42.4	-536.7
2	-1076.2	-305.8	-146.8	-1759.7	-34.3	-438.2
3	-1064.6	-266.0	-202.3	-1684.5	-29.7	-407.5
4	-932.8	-154.8	-226.8	-1223.5	-18.4	-282.4
5	-650.0	-50.6	-259.6	-932.8	-9.4	-195.6
6	-543.9	-0.7	-261.4	-674.2	-4.9	-128.5
7	-242.3	35.3	-257.6	-569.6	-3.2	-97.6
8	-251.2	-6.8	-207.0	-660.2	-6.6	-125.0
9	-282.5	-97.1	-137.8	-957.9	-16.9	-215.3
10	-602.8	-198.5	-83.5	-1238.0	-25.8	-298.5
11	-918.7	-298.3	-76.7	-1651.6	-34.6	-415.3
12	-1271.2	-407.7	-86.5	-2147.8	-44.3	-545.7
Total	-9195.6	-2149.1	-2060.3	-15603.5	-270.4	-3686.2
During heating	-7768.0	-2022.0	-1889.2	-12281.6	-219.2	-2983.9
During cooling	-1107.0	-5.8	-79.5	-1378.5	-25.5	-283.6
Rest of time	-320.6	-121.3	-91.6	-1943.4	-25.7	-418.7

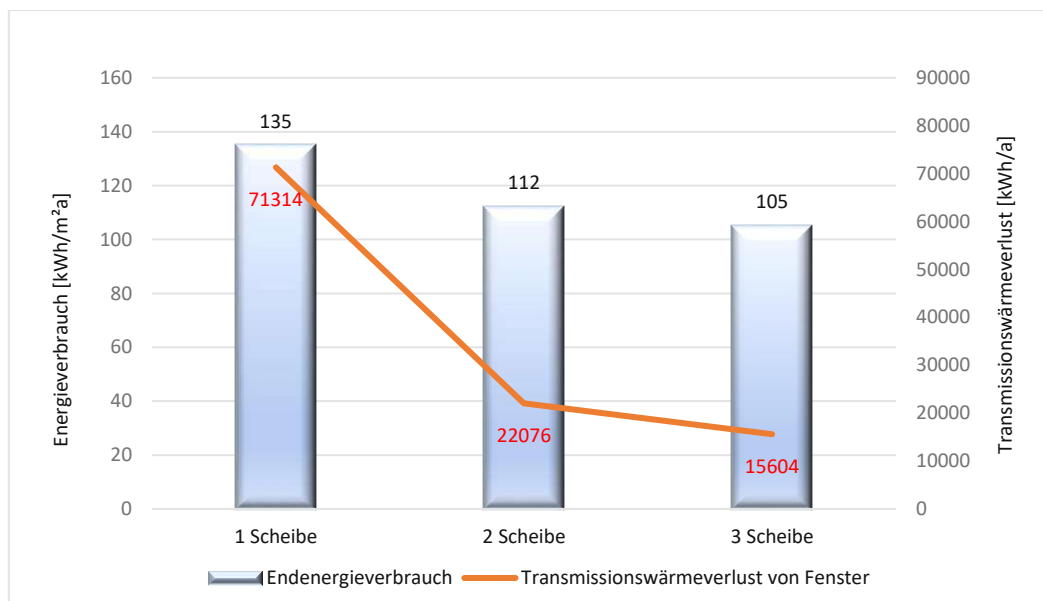


Abbildung 58 : Vergleich des Endenergieverbrauchs und der Transmissionswärmeverluste durch die Fenster im Gebäude in Abhängigkeit vom Fenstertyp

Die Ergebnisse der Transmissionswärmeverluste im Gebäude zeigen eine Reduzierung der Verluste durch das Fenster um etwa 69 % durch den Austausch eines 1-fach Verglasungsfenstern durch ein 2-fach Verglasungsfenstern und eine Verringerung um etwa 78 % durch den Austausch eines 3-fach Verglasungsfenstern. Die Abbildung 58 zeigt dies deutlich.

4.1.3 Einfluss des Wärmebrücken – Variante C – Typ C-1 bis Typ C-4

Als Wärmebrücke wird ein Teil einer Gebäudehülle bezeichnet, an dem konzentrierte Wärmeverluste stattfinden. Verluste durch die Wärmebrücken werden als Teil der Transmissionswärmeverluste bezeichnet und stellen in der Regel den wichtigen Anteil in der Energiebilanz eines Gebäudes dar.

Tabelle 47 : Energieverbrauch für das Messjahr in Abhängigkeit von der Wärmebrücken Typen. (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Wärmebrücke Typ	Beleuchtung [kWh]	HLL [kWh]	E.Heizung [kWh]	Kraftstoffheizung [kWh]	Warmwasser [kWh]	Geräte [kWh]	Gesamtenergie [kWh]	Gesamtenergie [kWh/m ²]	Reduzierung Energieverbrauch [%]
Wärmebrücken Typ 4	15.223	10.050	1.734	84.280	47.042	30.442	188.771	151	0
Wärmebrücken Typ 3	15.220	10.019	1.741	50.897	47.042	30.440	155.359	124	18
Wärmebrücken Typ 2	15.220	10.045	1.743	32.294	47.042	30.443	136.787	109	28
Wärmebrücken Typ 1	15.219	10.054	1.746	27.543	47.042	30.443	132.048	105	30

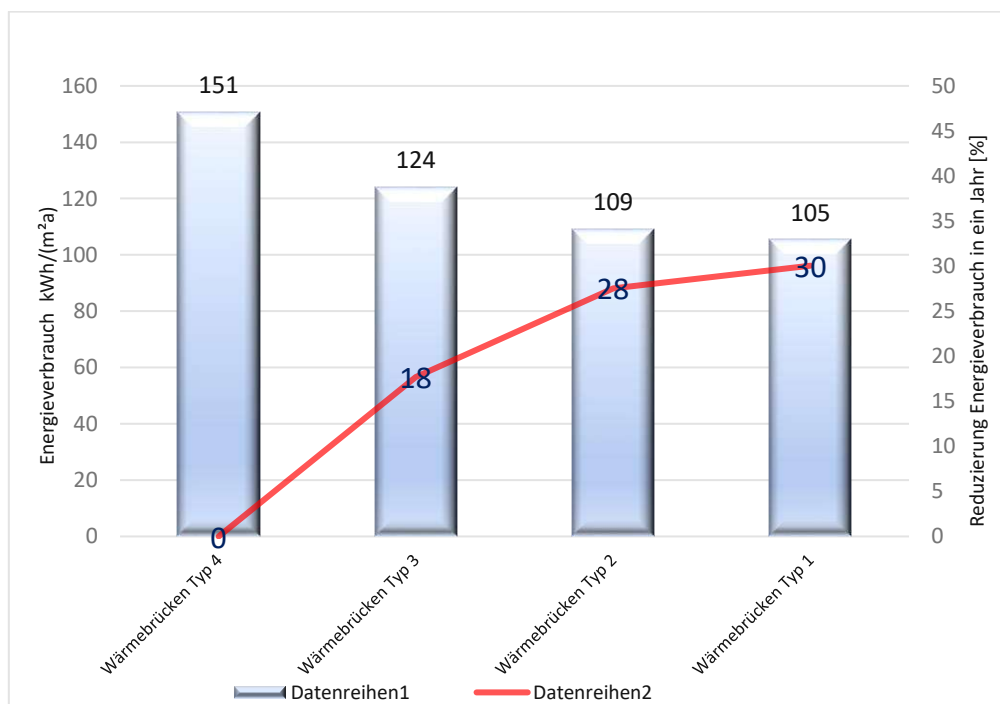


Abbildung 59 : Vergleich des Energieverbrauchs und Reduzierung Energieverbrauch für ein Jahr in Abhängigkeit von der Wärmebrücken Typen

Die obige Abbildung zeigt deutlich, dass der Energieverbrauch durch den Wechsel des Wärmebrückentypen von Typ 4 ($\psi=1$ W/mK) zu Typ 3 ($\psi=0,07$ W/mK) deutlich reduziert

wird (18 %). Und durch den Austausch des Typ 1 ($\psi=0,01$ W/mK) erreicht diese Reduzierung 30 %. (Abbildung 59,60)

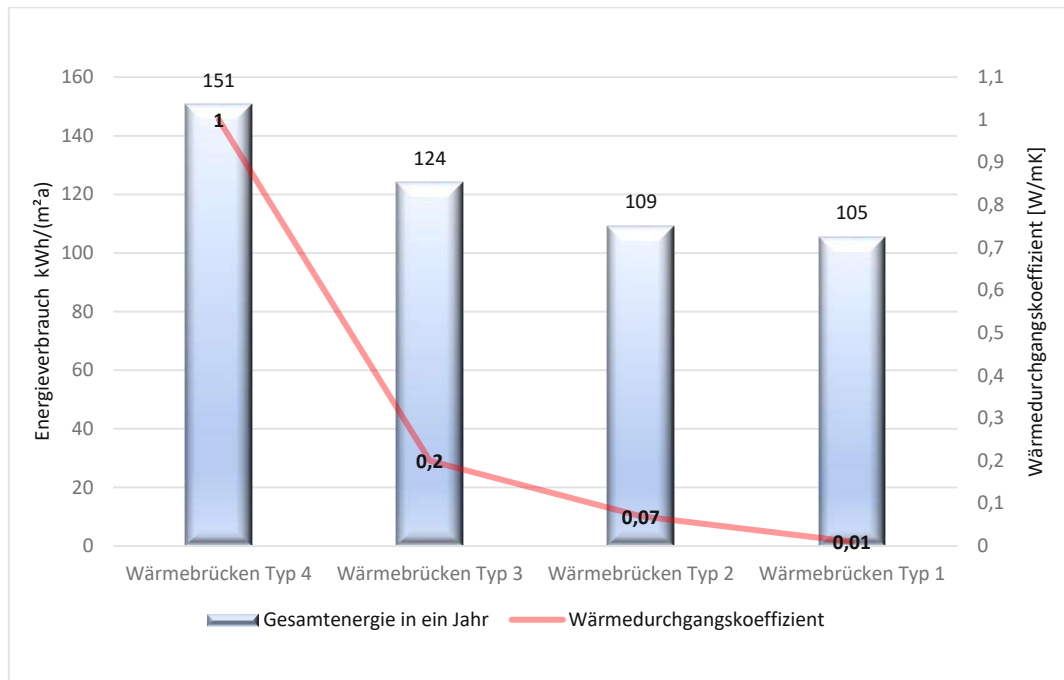


Abbildung 60 : Vergleich des Energieverbrauchs und Wärmedurchgangskoeffizient in Abhängigkeit von der Wärmebrücken Typen

4.2 Untersuchung des Einflusses des Energiepreises auf das optimale Kostenniveau im Bereich des Gebäudebaus

4.2.1 Optimales Kostenniveau entsprechend der Änderung der Dämmstärke

In Abschnitt 4.1.1 wurde deutlich festgestellt, dass ab einer Dämmstärke von ca. 27 cm eine weitere Erhöhung der Dämmstärke nicht mehr zu einer signifikanten Verbesserung des Energieverbrauchs (ca. 2 %) führt. Dies zeigt, dass eine Erhöhung der Dämmstärke auf mehr als 30 cm nicht nur keine wesentliche Reduzierung des Energieverbrauchs bewirkt, sondern auch die Kosten erhöht und somit die Gesamtkosteneinsparungen verringert (siehe Tabelle 48).

Tabelle 48 : Die Energieeinsparung in Abhängigkeit von der Dämmstärke über einen Zeitraum von 30 Jahren. (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Dämmstärke [cm]	Dämmungsfläche [m ²]	Einheitspreis.Dämmung [€/m ²]	Gasverbrauch [kWh]	Gaspreis in Jahr 2024 [€/kWh]	Stromverbrauch [kWh]	Strompreis in Jahr 2024 [€/kWh]	Gesamtkosten für Dämmung [€]	Gesamtkosten Energieverbrauch in 30 Jahren mit Preisanstieg [€]	Gesamtkosten für Dämmung und Energieverbrauchskosten in 30 Jahren [€]	Einsparung des gesamten Kosten in 30 Jahren [%]
0	1.149,8	0	147.472	0,11	57.488	0,25	0	2.110.206	2.110.206	0
5	1.149,8	10	103.329	0,11	57.429	0,25	11.498	1.682.550	1.694.048	20
15	1.149,8	30	82.624	0,11	57.451	0,25	34.494	1.482.544	1.517.038	28
25	1.149,8	50	76.534	0,11	57.457	0,25	57.490	1.423.710	1.481.200	30
27	1.149,8	54	74.585	0,11	57.463	0,25	62.089	1.404.928	1.467.017	30,5
35	1.149,8	70	73.768	0,11	57.465	0,25	80.486	1.397.045	1.477.531	30
45	1.149,8	90	72.189	0,11	57.469	0,25	103.482	1.381.825	1.485.307	30
55	1.149,8	110	71.167	0,11	57.468	0,25	126.478	1.371.926	1.498.404	29
65	1.149,8	130	70.458	0,11	57.471	0,25	149.474	1.365.114	1.514.588	28
75	1.149,8	150	69.932	0,11	57.475	0,25	172.470	1.360.059	1.532.529	27
85	1.149,8	170	69.524	0,11	57.476	0,25	195.466	1.356.139	1.551.605	26
95	1.149,8	190	69.199	0,11	57.478	0,25	218.462	1.353.011	1.571.473	26

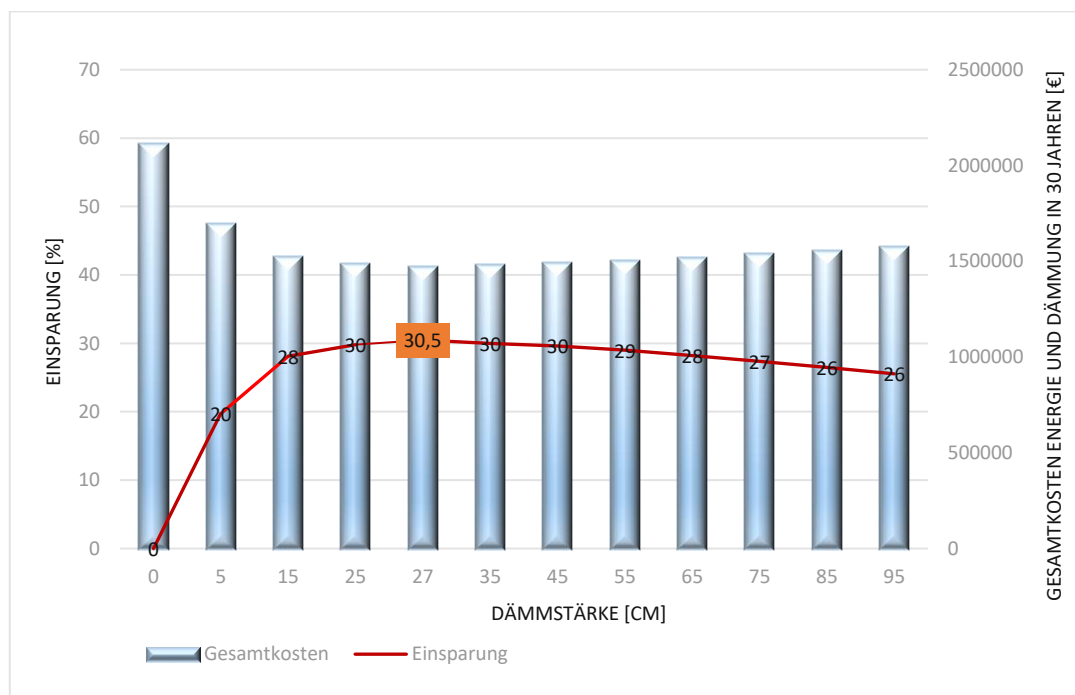


Abbildung 61 : Einsparungen der Gesamtkosten in Abhängigkeit von der Dämmstärke über einen Zeitraum von 30 Jahren in Prozent

Wenn wir die Kosten für die Dämmung berücksichtigen und diese zu den Gesamtkosten des Energieverbrauchs addieren, wird deutlich, dass die größten Einsparungen mit einer Dämmstärke von 27 cm erzielt werden. Diese Einsparungen betragen bis zu 31 Prozent (siehe Tabelle 48 und Abbildung 61).

4.2.2 Optimales Kostenniveau entsprechend der Änderung der Fenstertyp

Durch die Erhöhung der Anzahl der Scheiben des Fensters wird der Energieverbrauch um 22 % sinken (Abschnitt 4.1.2). Unter Berücksichtigung der Fensterkosten können Sie bis zu 17 % bei 3-fach-verglasung Fenster Kosten einsparen. (Tabelle 49 und Abbildung 62)

Tabelle 49 : Die Ergebnisse des Energieverbrauchs und der Energieeinsparung in Abhängigkeit von der Fenstertyp über einen Zeitraum von 30 Jahren. (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Fenstertyp	Ges.Fensterfläche [m ²]	Einheitspreis.Fenster [€/m ²]	Gesamtkosten für Fenster [€]	Gasverbrauch in ein Jahr [kWh]	Gaspreis in Jahr 2024 [€/kWh]	Stromverbrauch in ein Jahr [kWh]	Strompreis in Jahr 2024 [€/kWh]	Gesamtkosten Energieverbrauch in 30 Jahren mit Preisanstieg [€]	Gesamtkosten für Fenster und Energieverbrauchskosten in 30 Jahren [€]	Einsparung des gesamten Kosten in 30 Jahren [%]
1 Scheibe	155,4	240	37.296	111.947	0,11	57.417	0,25	1.765.763	1.803.059	0
2 Scheibe	155,4	422	65.579	82.580	0,11	57.449	0,25	1.482.095	1.547.673	14
3 Scheibe	155,4	601	93.395	74.585	0,11	57.463	0,25	1.404.928	1.498.323	17

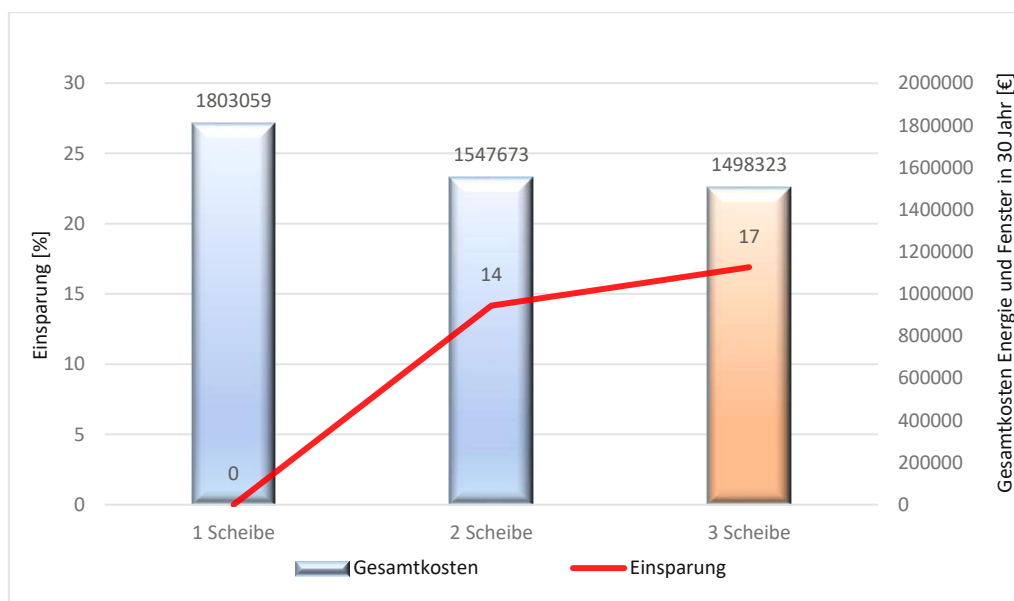


Abbildung 62 : Einsparungen der Gesamtkosten in Abhängigkeit von der Fenstertyp über einen Zeitraum von 30 Jahren in Prozent

4.2.3 Variantenmanagement für Dämmstärke und Fenstertyp

Die optimale Kombination von Dämmstärke, Fenstertyp und Wärmebrückenart zeigt, dass ein Energieverbrauch von 104 mit einer Dämmstärke von über 25 cm, 3-Scheiben-Fenstern und Wärmebrücken Typ 1 ($\psi=0,01$ W/mK) erzielt wird. (Abbildung 63)

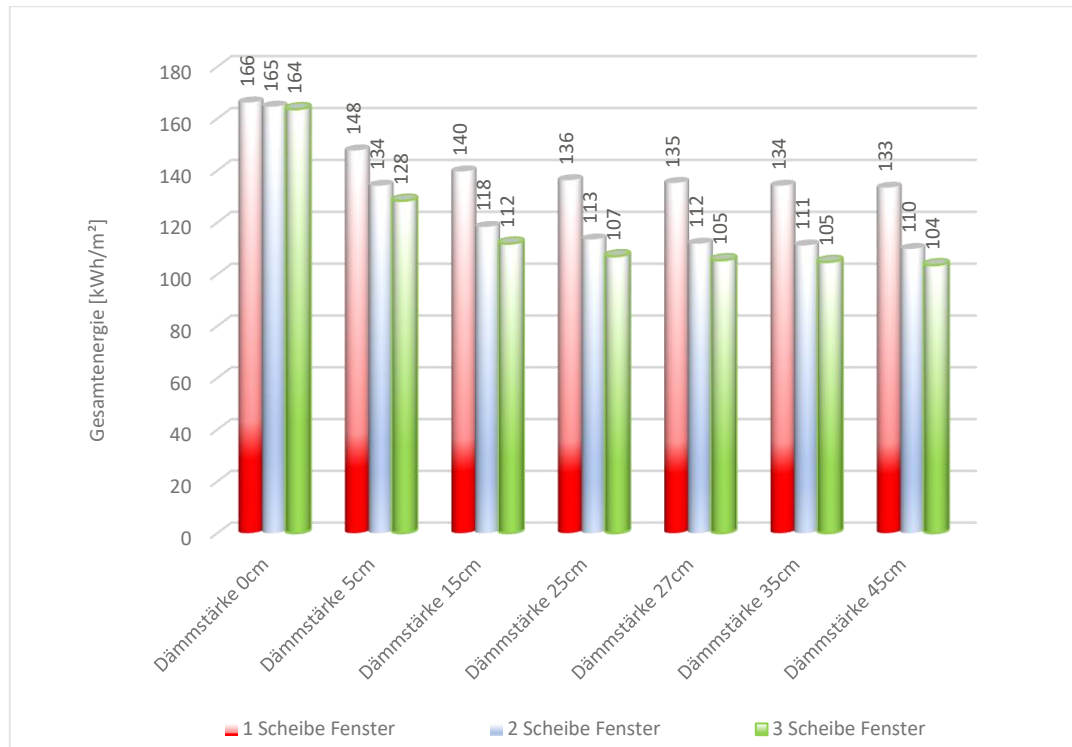


Abbildung 63 : Energieverbrauch für das Messjahr in Abhängigkeit von der Dämmstärke und Fenstertyp

Unter Berücksichtigung der Gesamtkosten für Wärmedämmung, Fenster und Energieverbrauch lässt sich eine Einsparung von 29,2 % erzielen. Es zeigt sich, dass das optimale Kostenniveau für dieses Gebäude durch eine Kombination aus Wärmedämmung mit einer Dicke zwischen 25 und 30 cm, 3-Scheiben-Fenstern und Wärmebrücken vom Typ 1 ($\psi=0,01$ W/mK) erreicht wird (siehe Tabelle 50 und Abbildung 64).

Tabelle 50 : Zusammenfassung der Einsparungen aller Varianten mit der Gas Heizkessel. (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Fenstertyp	Ges. Dämmstärke [cm]	Dämmungsfläche [m²]	Einheitspreis.Dämmung [€/m²]	Gesamtkosten für Dämmung [€]	Ges.Fensterfläche [m²]	Einheitspreis.Fenster [€/m²]	Gesamtkosten für Fenster [€]	Gasverbrauch in ein Jahr [kWh]	Gaspreis in Jahr 2024 [€/kWh]	Stromverbrauch in ein Jahr [kWh]	Strompreis in Jahr 2024 [€/kWh]	Gesamtkosten Energieverbrauch in 30 Jahren mit Preisanstieg [€]	Gesamtkosten für Energie & Dämmung & Fenster [€]	Einsparung des gesamten Kosten in 30 Jahren [%]
1 Scheibe Fenster	0	1.149,8	0	0	155,4	240	37.296	150.703	0,11	57.495	0,25	2.141.551	2.178.847	0
	5	1.149,8	10	11.498	155,4	240	37.296	127.581	0,11	57.440	0,25	1.917.250	1.966.044	10
	15	1.149,8	30	34.494	155,4	240	37.296	117.465	0,11	57.427	0,25	1.819.251	1.891.041	13
	25	1.149,8	50	57.490	155,4	240	37.296	113.262	0,11	57.418	0,25	1.778.493	1.873.279	14
	27	1.149,8	54	62.089	155,4	240	37.296	111.947	0,11	57.417	0,25	1.765.763	1.865.148	14
	35	1.149,8	70	80.486	155,4	240	37.296	110.609	0,11	57.412	0,25	1.752.760	1.870.542	14
	45	1.149,8	90	103.482	155,4	240	37.296	109.642	0,11	57.414	0,25	1.743.424	1.884.202	14
								0		0	0,25		0	100
2 Scheibe Fenster	0	1.149,8	0	0	155,4	422	65.579	148.683	0,11	57.492	0,25	2.121.972	2.187.551	0
	5	1.149,8	10	11.498	155,4	422	65.579	110.569	0,11	57.429	0,25	1.752.570	1.829.646	16
	15	1.149,8	30	34.494	155,4	422	65.579	90.665	0,11	57.439	0,25	1.560.179	1.660.251	24
	25	1.149,8	50	57.490	155,4	422	65.579	84.600	0,11	57.449	0,25	1.501.633	1.624.702	26
	27	1.149,8	54	62.089	155,4	422	65.579	82.580	0,11	57.449	0,25	1.482.095	1.609.763	26
	35	1.149,8	70	80.486	155,4	422	65.579	81.701	0,11	57.446	0,25	1.473.558	1.619.623	26
	45	1.149,8	90	103.482	155,4	422	65.579	80.032	0,11	57.449	0,25	1.457.448	1.626.509	26
								0		0	0,25		0	100
3 Scheib Fenster	0	1.149,8	0	0	155,4	601	93.395	147.472	0,11	57.488	0,25	2.110.206	2.203.601	0
	5	1.149,8	10	11.498	155,4	601	93.395	103.329	0,11	57.429	0,25	1.682.550	1.787.443	19
	15	1.149,8	30	34.494	155,4	601	93.395	82.624	0,11	57.451	0,25	1.482.544	1.610.433	27
	25	1.149,8	50	57.490	155,4	601	93.395	76.534	0,11	57.457	0,25	1.423.710	1.574.595	28,5
	27	1.149,8	54	62.089	155,4	601	93.395	74.585	0,11	57.463	0,25	1.404.928	1.560.412	29,2
	35	1.149,8	70	80.486	155,4	601	93.395	73.768	0,11	57.465	0,25	1.397.045	1.570.927	28,7
	45	1.149,8	90	103.482	155,4	601	93.395	72.189	0,11	57.469	0,25	1.381.825	1.578.702	28,4

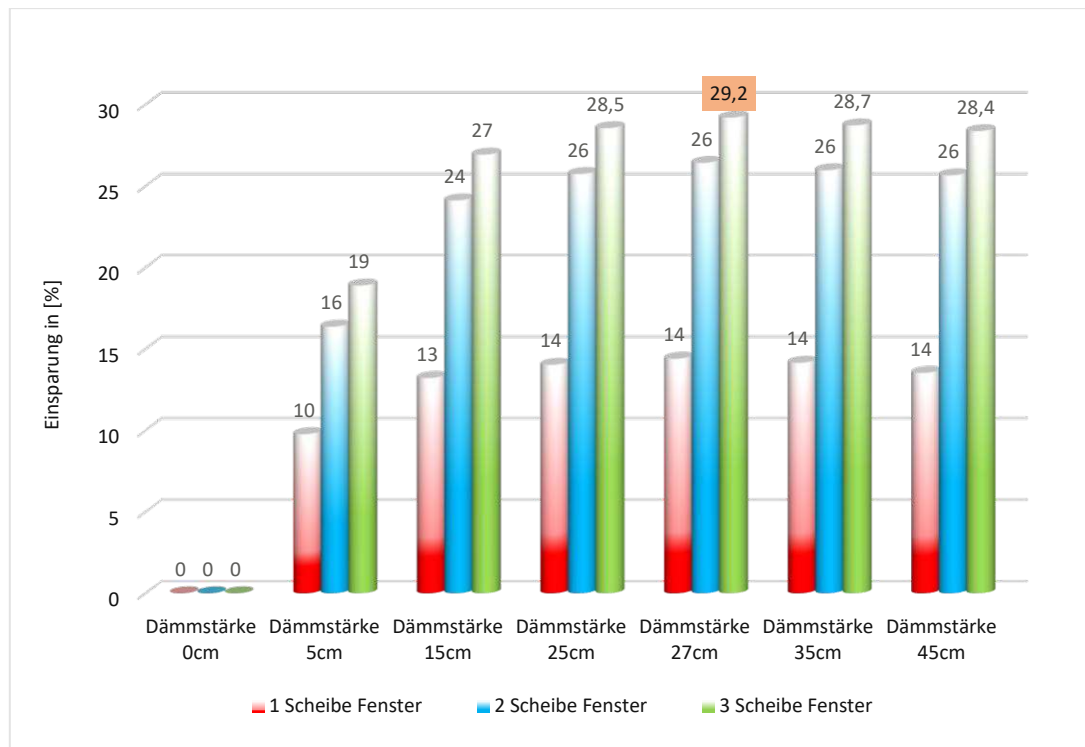


Abbildung 64 : Zusammenfassung der Prozentuale Einsparungen aller Variantenstudien

4.3 Variantenmanagement mit der Wärmepumpe

Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz einer Wärmepumpe anstelle eines Heizkessels die größte Kosteneinsparung durch die Verwendung einer Wärmedämmung mit einer Dicke zwischen 15 und 30 Zentimetern und einem 3-Scheiben-Fenster erzielt wird (rund 11%).

Tabelle 51 : Zusammenfassung der Einsparungen aller Varianten mit der Wärmepumpe (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Fenstertyp	Dämmstärke [cm]	Ges.Fläche mit Dämmung [m ²]	Einheitspreis.Dämmung [€/m ²]	Gesamtkosten für Dämmung [€]	Ges.Fensterfläche [m ²]	Einheitspreis.Fenster [€/m ²]	Gesamtkosten für Fenster [€]	Stromverbrauch in ein Jahr [kWh]	Strompreis in Jahr 2024 [€/kWh]	Gesamtkosten für Dämmung & Fenster [€]	Gesamtkosten Energieverbrauch in 30 Jahren mit Preisanstieg 3%/Jahr [€]	Gesamtkosten für Fenster, Dämmung und Energieverbrauchskosten in 30 Jahren [€]	Einsparung des gesamten kosten in 30 Jahren [%]
1 Scheibe Fenster	0	1.149,8	0	0	155,4	240	37.296	91.238	0,25	37.296	1.085.171	1.122.467	0
	5	1.149,8	10	11.498	155,4	240	37.296	87.955	0,25	48.794	1.046.124	1.094.918	2
	15	1.149,8	30	34.494	155,4	240	37.296	86.267	0,25	71.790	1.026.047	1.097.837	2
	25	1.149,8	50	57.490	155,4	240	37.296	85.516	0,25	94.786	1.017.115	1.111.901	1
	27	1.149,8	54	62.089	155,4	240	37.296	85.274	0,25	99.385	1.014.236	1.113.622	1
	35	1.149,8	70	80.486	155,4	240	37.296	85.088	0,25	117.782	1.012.024	1.129.806	-1
	45	1.149,8	90	103.482	155,4	240	37.296	84.803	0,25	140.778	1.008.634	1.149.412	-2
2 Scheibe Fenster	0	1.149,8	0	0	155,4	422	65.579	91.005	0,25	65.579	1.082.400	1.147.979	0
	5	1.149,8	10	11.498	155,4	422	65.579	85.141	0,25	77.077	1.012.655	1.089.731	5
	15	1.149,8	30	34.494	155,4	422	65.579	79.653	0,25	100.073	947.381	1.047.454	9
	25	1.149,8	50	57.490	155,4	422	65.579	77.752	0,25	123.069	924.771	1.047.840	9
	27	1.149,8	54	62.089	155,4	422	65.579	77.108	0,25	127.668	917.111	1.044.779	9
	35	1.149,8	70	80.486	155,4	422	65.579	76.805	0,25	146.065	913.507	1.059.572	8
	45	1.149,8	90	103.482	155,4	422	65.579	76.243	0,25	169.061	906.823	1.075.884	6
3 Scheibe Fenster	0	1.149,8	0	0	155,4	601	93.395	90.793	0,25	93.395	1.079.879	1.173.274	0
	5	1.149,8	10	11.498	155,4	601	93.395	83.236	0,25	104.893	989.997	1.094.890	7
	15	1.149,8	30	34.494	155,4	601	93.395	77.047	0,25	127.889	916.386	1.044.275	11
	25	1.149,8	50	57.490	155,4	601	93.395	75.075	0,25	150.885	892.931	1.043.816	11
	27	1.149,8	54	62.089	155,4	601	93.395	74.419	0,25	155.485	885.129	1.040.613	11,3
	35	1.149,8	70	80.486	155,4	601	93.395	74.138	0,25	173.881	881.787	1.055.668	10
	45	1.149,8	90	103.482	155,4	601	93.395	73.603	0,25	196.877	875.423	1.072.301	9

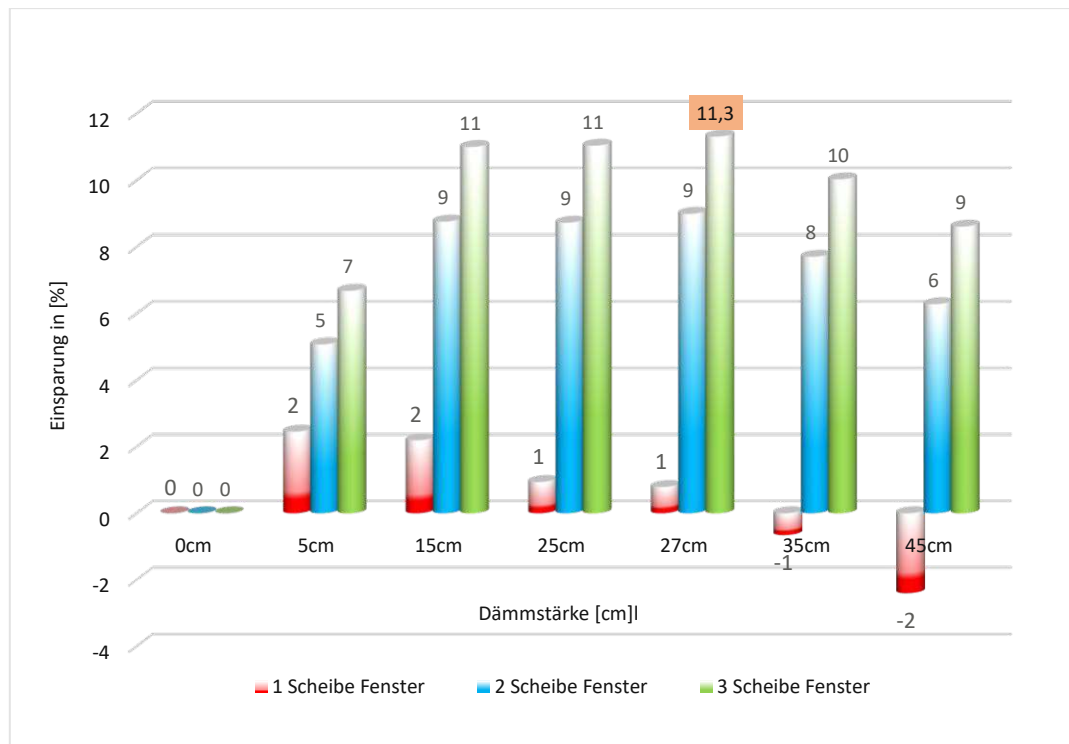


Abbildung 65 : Zusammenfassung der Prozentuale Einsparungen aller Varianten mit der Wärmepumpe

4.4 Vergleich der Wärmeerzeuger Typ

Um die optimalen Kosten im 30-jährigen Lebenszyklus eines Gebäudes beim Einsatz von zwei Wärmeerzeugern darzustellen, wurden die Ergebnisse aus den Abschnitten 4.2 und 4.3 verglichen (mit Verwendung von Abschnitt 2.1.13). Dies führte zu folgenden Ergebnissen:

Tabelle 52 : Kostenvergleich Wärmeerzeuger Arten.(30)(29) (IDA ICE Simulationsergebnisse)

Wärmeerzeuger Typ	Wärmeerzeuger Kosten [€]	Gesamtkosten für Dämmung [€]	Gesamtkosten für Fenster [€]	Gesamtkosten Gasverbrauch in 30 Jahren mit Preisanstieg 6%/Jahr [€]	Gesamtkosten Stromverbrauch in 30 Jahren mit Preisanstieg 3%/Jahr [€]	Gesamtkosten Energieverbrauch [€]	Kosten pro m ²	Einsparung des gesamten Kosten in 30 Jahren [%]
Gas Heizkessel	13.738	62.089	93.395	721.411	683.451	1.574.085	1.257	0
Sole/Wasser Wärmepumpe	32.865	62.089	93.395	0	885.129	1.073.478	857	31,8

Vergleicht man die Gesamtkosten für Wärmeerzeuger, Wärmedämmung und Fenster beider Wärmeerzeugungssysteme und dividiert diese durch die Energiebezugsfläche von 1.252,60m², so ergeben sich folgende Werte: Die Gesamtkosten für den Gasheizkessel betragen 1.257 €/m², während die Kosten für den Einsatz der Wärmepumpe 857 €/m² betragen. Dies führt zu einer Kosteneinsparung von etwa 32 % im Vergleich zum Gasheizkessel.

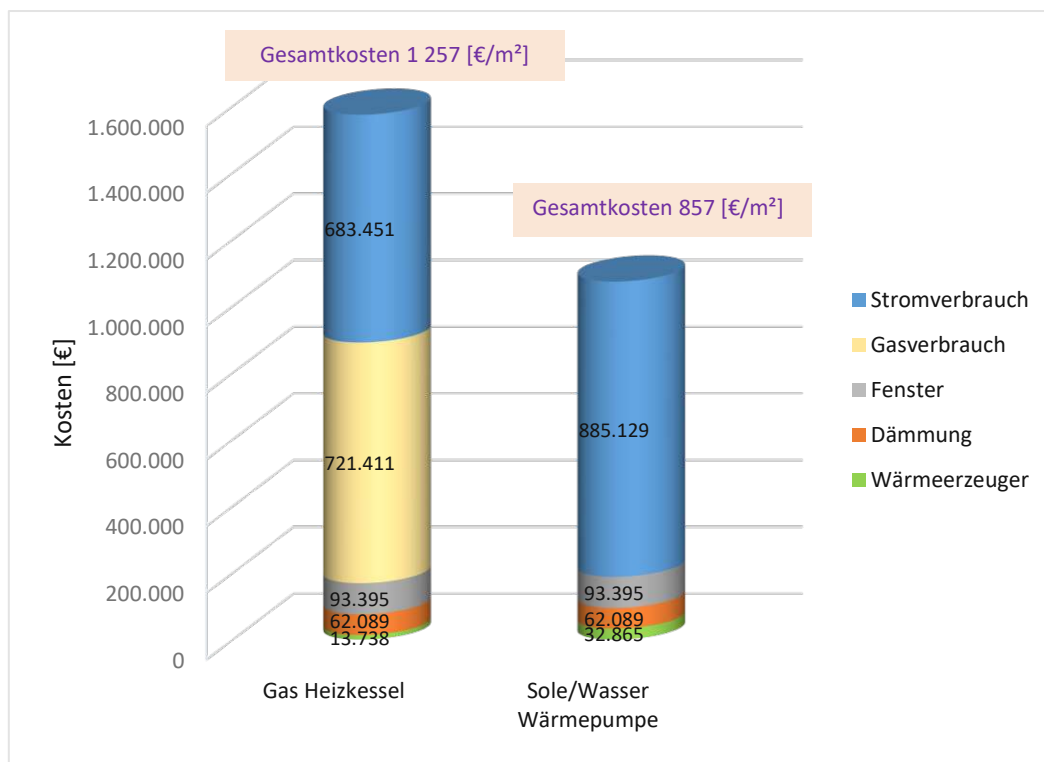


Abbildung 66 : Kostenvergleich bei Wärmepumpe und Gasheizkessel im 30-jährigen Lebenszyklus

In dieser Studie wurde unter Berücksichtigung des Anstiegs des CO₂-Preises in den kommenden Jahren, um die CO₂ Reduzierung auf der Grundlage des RCP 2.6-Szenarios (Abschnitt 2,1,12 und 2,1,13) zu erreichen, durch den Vergleich der CO₂ Produktion in zwei ausgewählten Wärmeerzeuger Typen haben wir versucht, ein besseres Wärmeerzeuger als Ersatz vorzuschlagen, um die Kosten in der Zukunft zu senken.

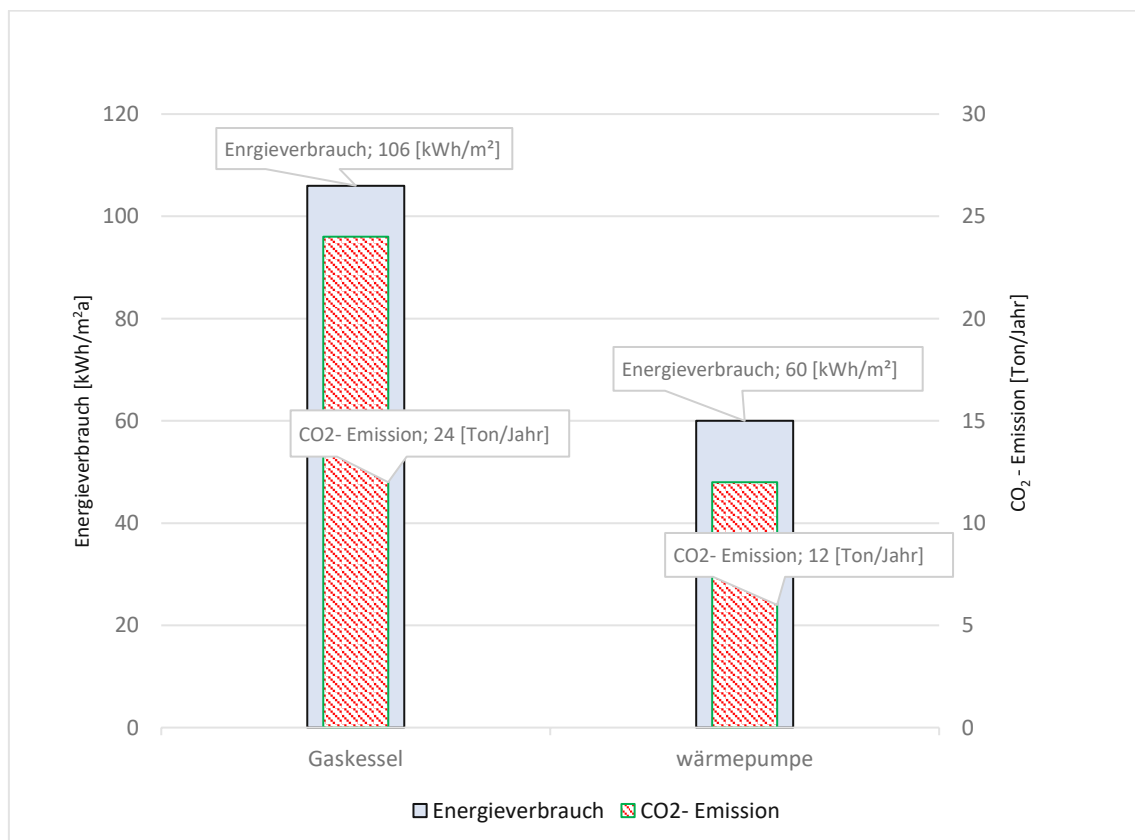
Tabelle 53 : gesamte Energieverbrauch des Gebäudes bei der beide Wärmeerzeuger Typen

Wärmeerzeuger Typ	Beleuchtung [kWh]	HLK [kWh]	E.Heizung [kWh]	Kraftstoffheizung [kWh]	Warmwasser [kWh]	Geräte [kWh]	Gesamtenergie [kWh/m²]
Gaskessel	12	8	1	22	38	24	106
Wärmepumpe	12	8	2	14	0	24	60

Tabelle 54 : gesamte CO₂- Emission bei der beide Wärmeerzeuger Typen

Wärmeerzeuger Typ	Beleuchtung [kg]	HLLK [kg]	E.Heizung [kg]	Kraftstoffheizung [kg]	Warmwasser [kg]	Geräte [kg]	Gesamtenergie CO ₂ - Emission [kg]	CO ₂ - Emission [Ton/Jahr]
Gaskessel	2.374	1.593	272	5.507	9.455	4.749	23.950	24
Wärmepumpe	2.374	1.569	272	2.645	0	4.749	11.609	12

Betrachtet man den Einfluss des CO₂-Emissionspreises auf die Gesamtkosten im Lebenszyklus des Gebäudes, zeigen die Ergebnisse deutlich, dass der Kohlendioxidausstoß bei der Nutzung der Wärmepumpe weitaus geringer ist als bei der Nutzung des Gas Heizkessels (etwa die Hälfte).

Abbildung 67 : Vergleich der Energieverbrauch und CO₂- Emission bei der beide Wärmeerzeuger Typen

5 Schlussfolgerung

Abschließend lässt sich festhalten, dass zahlreiche kosteneffektive Lösungen zur Senkung des Energiebedarfs von Gebäuden existieren. Eine besonders wirtschaftliche Option zur Gebäudedämmung besteht in der Verwendung von WDVS-EPS-Platten mit einer Stärke von 27 cm zur Dämmung der Außenwände (siehe Abschnitt 4.1.1). Diese Platten bieten nahezu die gleiche Dämmwirkung wie dickere Platten, jedoch zu deutlich geringeren Kosten. Über einen Zeitraum von 30 Jahren ergeben sich somit die niedrigsten Langzeitkosten, wobei der Unterschied zu dickeren Platten vernachlässigbar wird. Zusätzlich hat sich gezeigt, dass die Renovierung oder der Einsatz von Fenstern mit Mehrfachverglasung eine effektive Maßnahme zur Reduzierung des Energieverbrauchs darstellt und wirtschaftlich sehr attraktiv ist.

Neben der optimalen Dämmstärke und dem Einsatz von dreifach verglasten Fenstern erweist sich auch die Verwendung wärmebrückenfreier Konstruktionen als äußerst wirtschaftlich (siehe Abschnitt 4.1.3). Der Verzicht auf Wärmebrücken kann zu jährlichen Einsparungen von bis zu 30 % führen. Daher ist ein System ohne Wärmebrücken eine äußerst geeignete Lösung, um den Gesamtenergiebedarf bei minimalen Anschaffungs- und Implementierungskosten zu reduzieren.

Darüber hinaus zeigen die Ergebnisse, dass der Einsatz einer Wärmepumpe anstelle eines Heizkessels als Wärmeerzeugungssystem den Energieverbrauch senkt und die CO₂-Emissionen reduziert, insbesondere angesichts der steigenden CO₂-Preise und der zunehmenden Kosten fossiler Brennstoffe im Lebenszyklus des Gebäudes.

Zusammenfassend sollte bei der Planung neuer Gebäude das Ziel eines minimalen Energieverbrauchs stets im Vordergrund stehen. Die Umsetzung dieser Zielsetzung stellt zweifellos eine Herausforderung dar, besonders wenn gleichzeitig versucht wird, die Gesamtbaukosten zu senken. Dennoch sind diese Prinzipien entscheidend für eine nachhaltige und effiziente Gestaltung des Energieverbrauchs von Gebäuden und bilden die Grundlage für eine zukunftsorientierte Bauweise. (siehe Abschnitt 4.4)

6 Quellenverzeichnis

1. Kommission E. Im Blickpunkt – Energieeffizienz von Gebäuden Energy efficiency in buildings [Internet]. 2020. p. 4. Available from: https://commission.europa.eu/news/focus-energy-efficiency-buildings-2020-02-17_de
2. Energy Performance of Buildings Directive [Internet]. Vol. 23, Structural Survey. 2005 [cited 2023 Nov 10]. Available from: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-efficiency/energy-efficient-buildings/energy-performance-buildings-directive_en?wt-search=yes#facts-and-figures
3. Laserer Schmölzergasse A, Betreuer G, Ewald HASLER D-I, Jones B. DIPLOMARBEIT OPTIMIERUNG VON GEBÄUDEN MIT HOHEM GLASANTEIL HINSICHTLICH ENERGIEEFFIZIENZ UND BEHAGLICHKEIT eingereicht an der FH JOANNEUM Gesellschaft mbH Fachhochschulstudiengang Baumanagement und Ingenieurbau [Internet]. FH JOANNEUM Gesellschaft mbH; 2013. Available from: <https://www.marshallplan.at/images/All-Papers/MP-2012/Laserer.pdf>
4. n Dlin Andrea Leindl, DI Dr. Martin Baumann und Elisabeth Böck Ms. Energie in Österreich [Internet]. Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität I und T (BMK), editor. Wien; 2023. 68 p. Available from: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>
5. Fernandez-Luzuriaga J, del Portillo-Valdes L, Flores-Abascal I. Identification of cost-optimal levels for energy refurbishment of a residential building stock under different scenarios: Application at the urban scale. Energy Build [Internet]. 2021 Jun 1 [cited 2022 Jun 26];240:110880. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877882100164X>
6. Bianco Mauthe Degerfeld F, Piro M, De Luca G, Ballarini I, Corrado V. The application of EN ISO 52016-1 to assess building cost-optimal energy performance levels in Italy. Energy Reports. 2023 Nov 1;10:1702–17.
7. Malka L, Kuriqi A, Haxhimusa A. Optimum insulation thickness design of exterior walls and overhauling cost to enhance the energy efficiency of Albanian's buildings stock. J Clean Prod. 2022 Dec 25;381:135160.
8. Aggerholm S, Erhorn H, Hitchin R, Erhorn- H, Poel B, Englund K, et al. Cost optimal levels for energy p e r f o r m a n c e r e q u i r e m e n t s. 2011.
9. Fabbri K, Tronchin L, Tarabusi V. The cost-optimal levels of energy performance requirements: Rules and case study applications. Proc BS 2013 13th Conf Int Build Perform Simul Assoc. 2013;3064–71.
10. Riccabona C, Bednar T. Baukonstruktionslehre 4. 9th ed. Wien: Manz Schulbuch; 2013. 256 p.
11. (BLfD) D-ITA, (BLfD) D-ITW. Baudenkmal und Energie [Internet]. Bayerische. München; 2014. 121 p. Available from: <https://bayika.de/bayika->

- wAssets/docs/beratung-und-service/download/bayika_baudenkmal_und_energie_0001.pdf
12. ÖSTERREICHISCHEN R DES, INSTITUTS FÜR BAUTECHNIK. Oib richtlinie [Internet]. 2023. p. 30. Available from: https://www.oib.or.at/sites/default/files/oib-rl_6_ausgabe_mai_2023.pdf
 13. Horsthemke J. Vergleich verschiedener Berechnungsmethoden zur Heizlastberechnung und deren Einfluss auf den hydraulischen Abgleich [Internet]. Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg; 2017. Available from: https://reposit.haw-hamburg.de/bitstream/20.500.12738/8952/1/Horsthemke_geschwaerzt.pdf
 14. Amtmann M, Höher M, Mair O, Strimitzer L, Banner D, Bauer A, et al. Dämmstoffe richtig eingesetzt. 8th ed. Wien: Gugler GmbH; 2014. 124 p.
 15. Schöberl H, Al TB et. Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau [Internet]. Wien; 2004. Available from: <https://www.nachhaltigwirtschaften.at/de/>
 16. EnFK. Merkblatt Fenster [Internet]. Bern; 2021. Available from: https://www.endk.ch/de/ablage/ftw-simplelayout-filelistingblock/Merkblatt_Fenster_D_2021.pdf/view?searchterm=Merkblatt+Fenster+
 17. (BLfD) D-ITA (BLfD) D-ITW. Baudenkmal und Energie [Internet]. Ingenieurekammer-Bau B, editor. München; 2014. 121 p. Available from: https://bayika.de/bayika-wAssets/docs/beratung-und-service/download/bayika_baudenkmal_und_energie_0001.pdf
 18. Österreichische Energieagentur, Baumann M, Dolna-gruber C, Rohrer M. Energie und Treibhausgase [Internet]. Wien; 2021. Available from: https://www.energyagency.at/fileadmin/1_energyagency/presseaussendungen/allg._pa/2021/03_aea_eeoe_bundeslaendervergleich_teil_1_final.pdf
 19. RCP-Szenarien [Internet]. Deutscher Wetterdienst. 2024. Available from: <https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/klimaszenarien/rcp-szenarien.html>
 20. Austrotherm. Gesamtpreisliste [Internet]. 2024. Available from: <https://www.calameo.com/read/0011023182f7af4cfaf0a>
 21. DI Dr. Gerald Kalt. Energie in Österreich 2017 - Zahlen, Daten, Fakten [Internet]. Wien; 2017. Available from: <https://www.bmnt.gv.at/dam/jcr:1d04feb7-58c2-4055-8bca-6d168ea95d11/BWFW-Energie in Österreich Barrierefrei final.pdf>
 22. Höher DHT und DM. Energie in Österreich 2018 [Internet]. Tourismus B für N und, editor. Wien; 2018. Available from: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>
 23. Dlin, Andrea Leindl und DI Herbert Tretter. Energie in Österreich: Zahlen, Daten, Fakten [Internet]. Wien; 2019. Available from: https://www.bmlrt.gv.at/dam/jcr:756edbcb-12c1-44e3-8e80-04ead759ff75/BMNT_Energie_in_OE2019_Barrierefrei_final.pdf

24. Dlin, Tretter AL und DH. Energie in Oesterreich - Zahlen, Daten, Fakten 2020 [Internet]. Wien; 2020. Available from: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>
25. Bianca Zeller, MSc DDMB und DHT. Energie in Österreich 2021 [Internet]. 2021. Available from: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/zahlen.html>
26. DI Andrea Leindl DHT und DDMB. Energie in Österreich 2021: Zahlen, Daten, Fakten [Internet]. Wien; 2022. Available from: https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:3820f7e7-4abb-4324-b8e0-aa090325eb4a/Energie_in_OE2022_UA.pdf
27. Energieagentur Ö. grosshandelspreisindizes-april-2024 [Internet]. 2024. Available from: <https://www.energyagency.at/aktuelles/grosshandelspreisindizes-april-2024>
28. Wilkens P. CAGR (jährliche Wachstumsrate) – Erklärung & Berechnung [Internet]. 2024. Available from: <https://www.deltavalue.de/cagr-jaehrliche-wachstumsrate/>
29. Vaillant. Gas Heizkessel [Internet]. 2024. Available from: <https://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/gas-brennwertkessel-ecovit-exklusiv-3264.html>
30. Vaillant. Sole/Wasser Wärmepumpe [Internet]. 2024. Available from: <https://www.vaillant.at/privatanwender/produkte/sole-wasser-warmepumpe-geotherm-perform-150208.html>
31. Schützenhofer C. Der Beitrag von Wärmepumpen zur Wärmewende [Internet]. Wien; 2023. Available from: <https://www.bmk.gv.at/themen/energie/publikationen/beitrag-waermepumpen.html>
32. W. Wagner, A. Prein FM. Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhausanlage Utendorfgasse. Wien; 2009.
33. Wagner IW, Sc FMB, Lechner R. E NERGIE TECHNISCHE UND B EGLEITUNTERSUCHUNG DER B AUPROJEKTE. Wien; 2008.
34. Schöberl H. BT et al. Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau [Internet]. Wien; 2004. Available from: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/endbericht_schoeberl.pdf
35. EQUA Simulation AB. Handbuch IDA ICE Version 4,5 [Internet]. Solna; 2013. 203 p. Available from: <http://www.equaonline.com/iceuser/pdf/ICE45ger.pdf>
36. Meteonorm Software [Internet]. 2024. Available from: <https://meteonorm.meteotest.ch/>
37. CRAZZOLARA M. MESSUNG UND AUSWERTUNG ZUM THERMISCHEN UND VISUELLEN KOMFORT, UND ÜBERPRÜFUNG DER GRENZWERTE AM BEISPIEL DER NEUEN MITTELSCHULE HÖTTING [Internet]. LEOPOLD-FRANZENS-UNIVERSITÄT INNSBRUCK; 2012. Available from:

https://www.uibk.ac.at/bauphysik/forschung/publications/3encult/diplomarbeit_michael_crazzolara.pdf