



DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

ANALYSE DER HEIZLASTBERECHNUNG FÜR NIEDRIGENERGIEHÄUSER AM BEISPIEL EINER WIENER PASSIVHAUSWOHNANLAGE

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen
Grades eines Diplom-Ingenieurs
unter der Leitung von

A.o.Univ.Prof. DI Dr Thomas BEDNAR

Institut für Hochbau und Technologie
Zentrum für Bauphysik und Bauakustik
E 206

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Tanja GLÖCKL

Mat.Nr.9626047

1230 Wien, Walter-Jurmann Gasse 2A/15/1

Wien, im April 2007

DANKSAGUNG

Danken möchte ich an dieser Stelle

A.o.Univ.Prof. DI Dr Thomas Bednar

für die umfassende fachliche Betreuung bei der Ausarbeitung der Diplomarbeit

meinen Kollegen und Freunden am Institut

für ihre unermüdliche und treibende Unterstützung und die vielen schönen Stunden

besonders meinen Eltern

für ihre endlose Geduld und ihre wohlwollende Unterstützung meines Studiums

meinem Freund Martin

der mir immer den nötigen Rückhalt gegeben hat

meinen Studienkollegen und Freunden

die hilfreich an meiner Seite waren und die unvergessliche Studienzeit

KURZFASSUNG

Das Passivhaus zeichnet sich durch das Erhalten eines behaglichen Innenklimas ohne Verwendung eines konventionelle Heizsystem aus. Um die Behaglichkeit gewährleisten zu können, wurden diverse Kriterien definiert.

Der erforderliche Heizwärmebedarf kann durch erwärmte Zuluft über das ohnehin notwendige Lüftungssystem zugeführt werden. Die begrenzte Heizleistung der Zuluftheizung führt zum Heizlastkriterium.

Aufgrund der Sensibilität des Systems ist eine genaue Kenntnis des Gebäudeverhaltens erforderlich.

Die derzeit geltenden Normen berücksichtigen Wärmeverluste aber keine Gewinne. Daher übersteigen die nach den Normen berechneten Heizlasten die tatsächlich auftretenden.

Die stationäre Berechnung liefert maximale Heizlasten, wenn die für die Heizlastauslegung maßgeblichen Tage und die zugehörigen Einflussparameter bekannt sind. Die Auslegungstemperaturen sind fiktive Temperaturen, in welchen sich die thermische Speicherfähigkeit und der Dämmstandard des Gebäudes widerspiegeln. Gegenständlich werden die Auslegungstemperaturen für das Wiener Klima ermittelt.

Die Simulation liefert unter Berücksichtigung der Gebäudedynamik eine realitätsnahe Berechnung der Heizlast.

Die Ergebnisse der Heizlastermittlung nach der derzeit gültigen Norm, der stationären Berechnung und der Simulation wurden in der Arbeit verglichen.

ABSTRACT

The passive house is characterized by a comfortably inside climate without a conventional heating system. To ensure a thermal comfort, different criteria were defined.

The heating demand can be supplied by warmed input air via the anyway needed ventilation system.

The limited heating performance of an input air heating leads to the heat load criterion.

The steady-state calculation ensures maximum heat loads if the relevant day and the appropriate influencing parameters are known. The design temperatures are fictitious temperatures where the thermal storage capacity and the standard of thermal insulation are included. Design Temperatures were calculated for the Viennese climate.

The thermal simulation provides a realistic calculation of the heat load with consideration to the building dynamics.

The results of the heat load calculation according to the currently valid codes, the steady-state calculation and the thermal simulation were compared.

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | ALLGEMEINES | 5 |
| 1.1 | EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE HEIZLAST | 5 |
| 1.1.2 | Wärmetransport | 5 |
| 1.1.3 | Luftwechsel | 7 |
| 1.1.4 | Klima | 9 |
| 1.1.5 | Solarstrahlung, externe Lasten | 10 |
| 1.2 | PASSIVHAUS | 10 |
| 2 | GRUNDLAGEN DER BERECHNUNG | 12 |
| 2.1 | BERECHNUNG NACH ÖNORM M 7500 Heizlast von Gebäuden | 12 |
| 2.2 | HEIZLASTBERECHNUNG FÜR NIEDRIGST-ENERGIEBAUTEN UND PASSIVHÄUSER | 17 |
| 2.3 | SIMULATIONSPROGRAMM BSim2000 | 21 |
| 2.4 | SIMULATIONSPROGRAMM BUILDOPT | 23 |
| 3 | MODELLE | 25 |
| 3.1 | ZIELE | 25 |
| 3.2 | GEBÄUDEKONZEPT | 25 |
| 3.3 | BERECHNUNGSPARAMETER | 26 |
| 3.4 | ERGEBNISSE EINBOXMODELL | 36 |
| 3.4.1 | ERMITTLUNG T_{eT} | 36 |
| 3.4.2 | ERMITTLUNG T_{eL} | 45 |
| 3.4.3 | ERMITTLUNG P_{solar} | 47 |
| 3.4.4 | AUSLEGUNGSTAGE | 52 |
| 3.5 | ERGEBNISSE ZWEIBOXMODELL | 58 |
| 3.5.1 | ERMITTLUNG $T_{i,n'}$ | 58 |
| 4 | VERGLEICH ÖNORM M 7500 UND STATIONÄRER BERECHNUNG MIT AUSLEGUNGSWERTEN | 65 |
| 5 | PRAKTISCHES BEISPIEL MEHRFAMILIENWOHNHAUS | 71 |
| 5.1.1 | Berechnungssysteme | 72 |
| 5.1.2 | Einflüsse | 77 |
| 5.1.3 | Passivhauskriterium | 80 |
| 6 | ZUSAMMENFASSUNG | 83 |

1 ALLGEMEINES

Die Norm-Heizlast ist jene Wärmeleistung in Watt, die unter Norm-Witterungsbedingungen zugeführt werden muss, damit die Berechnungs-Raumtemperatur erreicht bzw. aufrecht erhalten wird [ON083].

1.1 EINFLUSSFAKTOREN FÜR DIE HEIZLAST

Maßgebende Werte für die Heizlast:

- Transmissionsverluste der Außenhaut
- Lüftungsverluste
- Solare Gewinne
- Interne Gewinne

1.1.2 Wärmetransport

Aufgrund unterschiedlicher Temperaturen kommt es zu einer Wärmebewegung in Richtung des Temperaturgefälles. Je nachdem ob die Temperaturen zeitlich konstant oder veränderlich sind, ergeben sich stationäre oder instationäre Wärmeströme. Der Wärmetransport kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Man unterscheidet zwischen 3 Arten des Wärmetransportes: der Wärmeleitung, der Wärmeströmung (Konvektion) und der Wärmestrahlung.

- Leitung

Die Wärmeleitung erfolgt in festen Stoffen, d.h. ein an Materie gebundener Energietransport (kein Massetransport). Hierbei erfolgt der Wärmeaustausch zwischen unmittelbar benachbarten Molekülen immer vom Ort höherer Temperatur zu niedrigerer Temperatur.

Der Wärmestrom \dot{Q} ist die pro Zeiteinheit transportierte Wärmemenge Q . Für den stationären Fall gilt:

$$\dot{Q} = \frac{\lambda}{s} \cdot A \cdot (T_1 - T_2) \quad \text{Formel 1}$$

\dot{Q} Wärmestrom [W]

λ Wärmeleitfähigkeit (Stoffkonstante) [W/mK]

| | | |
|------------------------------------|---|-------------------|
| s | Schichtstärke | [m] |
| A | Querschnittsfläche | [m ²] |
| T ₁ , T ₂ .. | Temperaturen, die Temperaturdifferenz ergeben | [°C] |

- Strömung

In Gasen und Flüssigkeiten erfolgt der Wärmetransport durch die Fortbewegung der Moleküle innerhalb des zur Verfügung stehenden Raumes, wobei diese ihren Energiegehalt mit sich führen.

- Strahlung

Wärmetransport ohne Beteiligung von Materie in Form von elektromagnetischen Wellen (absorbieren, reflektieren, emittieren).

Wärmeübergang

Wärmeübergang ist der Wärmeaustausch zwischen einem Gas (oder einer Flüssigkeit) und einer angrenzenden festen Oberfläche.

Die verwendeten Wärmeübergangswiderstände stammen aus der ÖNORM EN ISO 6946, Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient, Berechnungsverfahren Tabelle 1 [ÖEN97].

Wärmeleitwert, Wärmetransmission

Der Wärmedurchgang durch die Bauteile eines Gebäudes infolge Wärmeleitung der Baustoffe einschließlich Wärmeübergang an den Bauteilinnenseiten (R_{si}) und –außenseiten (R_{se}) ergibt den Wärmedurchgangswiderstand (R), der Kehrwert davon ist der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert).

Umso niedriger der Wärmedurchgangskoeffizient ist und umso kleiner die wärmeleitende Bauteilfläche ist, desto geringer ist der Leitwert. Der Leitwert ist der Quotient aus dem Wärmestrom und der Temperaturdifferenz zwischen den Bauteiloberflächen.

Wärmespeichervermögen

Je mehr Wärme ein Stoff speichern kann, um so langsamer reagiert er auf Temperaturänderungen der Umgebung. Der Stoff kann so ausgleichend auf das Raumklima wirken. Das Wärmespeichervermögen der Außenbauteile spielt für den Jahresheizenergiebedarf nahezu keine Rolle. Speichert eine

Außenwand Wärme, so gibt sie diese Wärme nicht nur an die Innenräume, sondern auch nach außen ab.

Anders verhält es sich mit dem Wärmespeichervermögen der Innenwände und Zwischendecken. Die gesamte gespeicherte Wärme wird ausschließlich an die Innenräume abgegeben. In den Übergangsjahreszeiten Frühling und Herbst reicht das Wärmespeichervermögen eines massiven Hauses aus, mit der am Tage gespeicherten Wärme des nachts die Räume zu wärmen.

1.1.3 Luftwechsel

Der Luftwechsel wird entweder als Volumenstrom in m^3h^{-1} oder als Luftwechselzahl angegeben, welche sich folgendermaßen errechnet:

$$n = \frac{\dot{V}_Z}{V_R} \quad \text{Formel 2}$$

n Luftwechselzahl [h⁻¹]

\dot{V}_Z Zuluftvolumenstrom [m³/h]

V_R Raumluftvolumen auf Basis der Innenmaße [m³]

Infiltration durch die undichte Gebäudehülle

Zur Abschätzung der Lüftungswärmeverluste durch Infiltration werden Luftwechselraten unter 50 Pa Druckdifferenz zwischen innen und außen herangezogen (n_{50}). Zusätzlich wird noch die Windabschirmung und die Gebäudehöhe berücksichtigt.

Mechanische Lüftung und Wärmerückgewinnung

Die Aufgabe der Lüftung ist es ein hygienisches Raumklima zu schaffen und damit die Behaglichkeit der Nutzer sicherzustellen. Die Lüftung ersetzt die sauerstoffarme und mit CO₂ angereicherte Luft durch Frischluft.

Bei Lüftungssystemen mit Wärmerückgewinnung zwischen Ab- und Zuluft wird der Wärmeverlust durch die mechanische Lüftung um den Faktor (1- η) vermindert, wobei η der Wärmerückgewinnungsgrad eines Luft/Luft-Wärmetauschers ist.

Es besteht die Möglichkeit durch Erwärmen und Abkühlen der Zuluft die Raumtemperatur zu regeln.

Hygienische Mindestluftwechselzahlen, n_{\min} :

ÖNORM H 7500 [ON005]:

| | |
|---------------------------------|---------------------|
| Bewohnbarer Raum (Standardfall) | 0.5 h ⁻¹ |
| WC, Badezimmer | 1.0 h ⁻¹ |
| Bürraum | 1.0 h ⁻¹ |

ÖNORM B 8110-1:

Rechenwerte für die Lüftung von Innenräumen (bezogen auf Außenabmessungen)

| | |
|-------------------|---|
| wohnhygienisch | 0.4-facher Luftwechsel je Stunde oder 30 m ³ /(h Person), sofern dies zu einem höheren Luftwechsel führt |
| arbeitshygienisch | 30 m ³ /(h Person) in Wohnungen, bei anderen Widmungen Luftwechsel gemäß ÖNORM H 6000-3 |

OIB Leitfaden, Energietechnisches Verhalten von Gebäuden:

Der Luftaustausch hängt vom Nutzerverhalten und von der Luftdichtheit des Gebäudes ab, sodass für die Berechnung ein standardisiertes Nutzerverhalten angenommen und nach Dichtheitsklassen der Gebäudehülle unterschieden wird.

Für die Luftwechselrate n_L des energetisch wirksamen Lüftungsvolumens ist folgender Wert anzusetzen:

| | |
|-------------|--|
| $n_L = 0,4$ | bei Neubauten mit normgemäßen Einbau von Fenstern und Türen und bei Bestandsgebäuden mit einem maximal 3-fachen Luftwechsel bei einer Luftdichtheitsmessung nach EN ISO 13829 bei 50 Pa Druckdifferenz |
| $n_L = 0,5$ | bei Bestandsgebäuden ohne Nachweis der Luftdichte |

1.1.4 Klima

Außenklima Wien

| | Jän | Feb | Mär | Apr | Mai | Jun | Jul | Aug | Sep | Okt | Nov | Dez |
|------------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Mittlere Temperatur in °C | -1.4 | 0.4 | 4.7 | 10.3 | 14.8 | 18.1 | 19.9 | 19.3 | 15.6 | 9.8 | 4.8 | 1.0 |
| Mittlerer Niederschlag in mm | 39 | 44 | 44 | 45 | 70 | 67 | 84 | 72 | 42 | 56 | 52 | 45 |
| Mittlere Höchstwerte in °C | 0.9 | 3.2 | 8.4 | 14.5 | 19.2 | 22.6 | 24.6 | 23.8 | 20.1 | 13.5 | 7.0 | 2.8 |
| Mittlere Tiefstwerte in °C | -3.8 | -2.5 | 0.9 | 5.7 | 10.0 | 13.5 | 15.3 | 14.7 | 11.4 | 6.5 | 2.6 | -1.0 |
| Absolute Höchstwerte in °C | 13.2 | 18.5 | 24.0 | 27.3 | 32.6 | 36.1 | 38.3 | 34.2 | 31.6 | 27.8 | 19.6 | 16.5 |
| Absolute Tiefstwerte in °C | -21.9 | -22.6 | -11.2 | -3.2 | -0.3 | 4.1 | 8.8 | 8.0 | -0.1 | -3.1 | -8.8 | -15.3 |
| Anzahl Regentage | 15 | 14 | 13 | 13 | 13 | 14 | 13 | 13 | 10 | 13 | 14 | 15 |
| Anzahl Sonnestunden | 57 | 84 | 138 | 184 | 235 | 249 | 266 | 250 | 199 | 129 | 55 | 45 |

Tabelle 1: Außenklima Wien monatliche Mittelwerte[ZDF06]

| | Te °C | N | NO | O | SO | S | SW | W | NW |
|-----|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | kWhm ⁻² | | | | | | | | |
| Jän | 0.08 | 11.41 | 11.42 | 14.75 | 24.94 | 30.54 | 24.94 | 14.75 | 11.42 |
| Feb | 1.56 | 18.23 | 18.47 | 23.84 | 35.50 | 42.32 | 35.50 | 23.84 | 18.47 |
| Mär | 5.72 | 32.38 | 34.04 | 44.78 | 60.32 | 69.55 | 60.32 | 44.78 | 34.04 |
| Apr | 10.03 | 46.78 | 51.01 | 62.86 | 74.03 | 79.34 | 74.03 | 62.86 | 51.01 |
| Mai | 15.35 | 58.61 | 66.83 | 80.21 | 87.40 | 87.69 | 87.40 | 80.21 | 66.83 |
| Jun | 18.34 | 61.05 | 71.26 | 84.53 | 88.62 | 85.63 | 88.62 | 84.53 | 71.26 |
| Jul | 20.46 | 58.46 | 70.06 | 86.03 | 92.03 | 89.56 | 92.03 | 86.03 | 70.06 |
| Aug | 20.16 | 48.20 | 57.51 | 75.53 | 87.90 | 91.20 | 87.90 | 75.53 | 57.51 |
| Sep | 15.62 | 36.22 | 39.84 | 54.26 | 70.93 | 80.18 | 70.93 | 54.26 | 39.84 |
| Okt | 10.09 | 20.20 | 21.42 | 33.43 | 53.95 | 66.29 | 53.95 | 33.43 | 21.42 |
| Nov | 4.56 | 11.37 | 11.44 | 16.22 | 28.67 | 35.72 | 28.67 | 16.22 | 11.44 |
| Dez | 1.49 | 7.77 | 7.77 | 11.03 | 21.88 | 27.73 | 21.88 | 11.03 | 7.77 |

Tabelle 2: Solarstrahlung Wien [MAGO4]

Innenklima

Im Rahmen des CEPHEUS-Projektes [SCHO1] wurden Messergebnisse aus dem laufenden Betrieb von Passivhäusern dokumentiert und diskutiert. Hier wurden im Winter Raumtemperaturen von 18-25°C gemessen. Das Temperaturniveau in den einzelnen Räumen einer Wohnung ist von der Raumnutzung abhängig.

1.1.5 Solarstrahlung, externe Lasten

Solare Gewinne ergeben sich aus der Sonneneinstrahlung an dem jeweiligen Standort, der Orientierung, der ständigen Verschattung und den Eigenschaften (Strahlungsdurchgang, -absorption, -reflexion) der aufnehmenden Flächen.

1.2 PASSIVHAUS

In einem Passivhaus wird sichergestellt, dass das Raumklima „passiv“, d.h. ohne aktiven Betrieb von haustechnischen Anlagen, im optimalen Bereich liegt. Hier ist die notwendige Wärmeleistung zur Erhaltung der Raumtemperatur so klein, dass auf ein konventionelles Heizsystem verzichtet werden kann. Um dies zu erreichen, müssen Wärmeverluste minimiert und Wärmegewinne bzw. die Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes maximiert werden [SCH03].

Dazu wurden Kriterien für das Passivhaus definiert [FEI98a].

Die wesentlichen Verluste eines Gebäudes erfolgen durch Transmission über die Außenbauhülle, sowie über den Luftaustausch, primär mit der Außenluft.

Zur Verringerung der Wärmeverluste über die Außenhaut werden die Wärmedurchgangswiderstände der Außenwände und Fenster begrenzt. Eine weitere Forderung ist die Wärmebrückenfreiheit der Konstruktion. Wärmebrücken in der Außenhülle können nicht ganz vermieden werden, woraus folgt: Eine Gebäudeaußenhülle heißt wärmebrückenfrei, wenn der Wärmeverlust über die Hüllflächen den Verlust, welcher mit den U-Werten der Regelbauteile sowie mit den Außenoberflächen dieser Bauteile berechnet wird, nicht übersteigt [FEI98a].

Zusätzlich werden die Infiltrationsverluste minimiert, indem der Luftaustausch mit der Außenluft durch eine luftdichte Außenhülle verringert wird. Zur Sicherung der Raumluftqualität dient eine Lüftungsanlage, die mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet sein muss. Diese ist notwendig, um den geringen Heizwärmebedarfswert erreichen zu können und eine Zulufttemperatur von ca. 16°C (ohne zusätzliche Wärmequelle) für eine zugfreie Zuluft einbringung zu erreichen.

Kriterien Passivhaus [FEI98a]:

- Heizlast $\leq 10 \text{ W/m}^2 \text{ NGF}$
- Spezifischer Heizwärmebedarf $\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
- Gesamtenergiekennzahl $\leq 30 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$
- Außenhaut
 - opake Hüllflächen $U \leq 0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Luftdichtheit $n_{50} \leq 0.6 \text{ h}^{-1}$
- Fenster $U_F \leq 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Fenstergröße 1.23 m x 1.48 m)
 - Dreischeiben- Wärmeschutzverglasung: $U_V \leq 0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Passivhaus- Behaglichkeitskriterium $U_V \leq 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - Passivhaus-Energiekriterium $U_V - 1.6 \text{ W/m}^2\text{K} \cdot g < 0$

U_V entspricht U_g dem U-Wert der Verglasung
 U_F entspricht U_w dem U-Wert des Fensters (hierin sind der Anteil der Verglasung und des Rahmens flächengewichtet enthalten)
- Lüftungstechnik: primär für Raumluftqualität
 - Wärmerückgewinnung $\geq 75\%$ Wirkungsgrad
 - Es muss eine gerichtete Durchströmung der Wohnung stattfinden

Das Kriterium für die Heizlast, ergibt sich durch den, mittels Luftheizung einbringbaren Wärmestrom (\dot{Q}_{zu}) je m^2 Nettofläche.

$$\frac{\dot{Q}_{zu}}{A} = c \cdot \rho \cdot \frac{\dot{V}}{A} \cdot (T_{zul} - T_i) = 0.33 \cdot h \cdot n \cdot (T_{zul} - T_i) \quad \text{Formel 3}$$

Die 10 W/m^2 ergeben sich bei einer Nettoraumhöhe (h) von 2.5 m, einem Luftwechsel (n) von 0.4 h^{-1} , einer Zulufttemperatur (T_{zul}) von 50°C und einer Raumtemperatur (T_i) von 20°C .

Der Luftwechsel entspricht dem hygienischen Mindestluftwechsel.

Die Begrenzung der Zulufttemperatur mit 50°C resultiert aus der möglichen Staubverschmelzung an den Oberflächen der Luftkanäle.

2 GRUNDLAGEN DER BERECHNUNG

2.1 BERECHNUNG NACH ÖNORM M 7500 HEIZLAST VON GEBÄUDEN

Die Norm-Heizlast ist eine vom Heizsystem unabhängige Gebäudeeigenschaft und ist raumweise zu ermitteln. Sie ist eine fiktive Heizleistung bei quasi stationären Bedingungen ohne Berücksichtigung innerer und äußerer Wärmequellen und des Nutzerverhaltens. Dies entspricht einem unbewohnten Raum ohne innerer Wärmequelle bei tiefen Außentemperaturen und ohne Sonneneinstrahlung (z.B. Nachtzeit) [JAU99].

Die Heizlast ist die Summe aus Transmissionswärmelast und Lüftungswärmelast.

Die Berechnung erfolgt nach getroffenen Vereinbarungen für einzelne Räume gemäß ÖNORM M 7500 (Heizlast von Gebäuden) für Gebäude oder Gebäudeteile gemäß ÖNORM B 8135 (Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlustes, entspricht der Heizlast von Gebäuden)

Diese beiden Normen wurden mit 1. März 2004 durch die Europäische Norm EN 12831 ersetzt.

Aufbau der ÖNORM M 7500 in 5 Teilen:

Teil 1: Grundsätze

Grundlagen der Berechnung, Begriffsbestimmungen, Formelzeichen

Für die Berechnung wird stationärer Zustand (Konstanz aller Rechengrößen) vorausgesetzt. Die Lufttemperatur und die Oberflächentemperaturen der Innenflächen werden gleich hoch angenommen und nur diese stehen mit den Außenflächen im Strahlungsaustausch.

Teil 2: Berechnungsverfahren für Normalfälle

Der Teil 2 beinhaltet das Berechnungsverfahren zur Berechnung der Heizlast von Räumen in z.B. Wohnhäusern, Bürogebäuden, Geschäften, Krankenhäusern, Schulen,...

NORM-HEIZLAST eines Raumes:

ist die Summe der Transmissionswärmeverluste P_0 und der Zuschlagsheizlast P_Z in Watt.

$$P_n = P_0 + P_Z \quad \text{Formel 4}$$

Transmissions – Wärmeverlust P_0 :

ist die Summe der Wärmeleistungen, die ein Raum infolge eines Wärmedurchganges durch die Raumumschließungsflächen abgibt.

$$P_0 = \sum U \cdot A \cdot \Delta T = \sum \frac{A \cdot \Delta T}{R} \quad \text{Formel 5}$$

| | | |
|------------------|---|----------------------|
| A | Fläche des Bauteiles (lichte Rohbaumaße und Architekturmaße für Fenster) mit der Temperaturdifferenz ΔT | [m ²] |
| ΔT | Temperaturdifferenz $\Delta T = T_i - T_e$ | [K] |
| U | Wärmedurchgangskoeffizient | [W/m ² K] |
| R | Wärmedurchgangswiderstand des Bauteiles | [m ² K/W] |

Zuschlags – Heizlast P_Z : ist jene Wärmeleistung, die zur Erwärmung der eindringenden Außenluft auf die Berechnungs-Raumtemperatur T_i , zum Ausgleich kalter Außenflächen notwendig ist.

$$P_Z = P_F + P_R \quad \text{Formel 6}$$

Zuschlagsheizlast für Fenster und Türen P_F :

$$P_F = \sum (f_F \cdot w_F \cdot A_F \cdot \Delta T) \quad \text{Formel 7}$$

$$f_F \dots\dots\dots f_F = f_{F1} \cdot f_{F2}$$

Korrekturfaktor abhängig von Raumdurchströmung und Fugenlänge

f_{F1} Raumdurchströmfaktor

f_{F2} Fugenlängenfaktor

w_F Wärmeverlustkoeffizient der Fenster und Türen;
jene Leistung, die aufgebracht werden muss, um eindringende Luft durch 4 m Fugenlänge pro m² Fensterfläche um 1 Grad zu erwärmen [W/m²K]

A_F Fenster- oder Türenfläche (Architektenlichtmaß) [m²]

ΔT Temperaturdifferenz [K]

Zuschlagsheizlast für den Raum P_R :

$$P_R = w_R \cdot V_R \cdot \Delta T \qquad \text{Formel 8}$$

w_R Wärmeverlustkoeffizient des Raumes [W/m²K]
abhängig von der Anzahl der Außenflächen und dem Raumvolumen

V_R Raumvolumen [m³]

ΔT Temperaturdifferenz [K]

Teil 3: Berechnungsverfahren für Sonderfälle

Sonderfälle:

- Normheizlast für Räume in Gebäuden mit einer Höhe von über 18 m
- Normheizlast für Räume mit mechanischer Lüftung
- Normheizlast für Räume mit einer Geschosshöhe von über 5 m
- Heizlast selten beheizter Räume
- Heizlast für Objekte sehr schwerer Bauart
- Heizlast für Hallen und ähnliche Räume
- Heizlast für Gewächshäuser
- Instationäres thermisches Verhalten von Räumen mit unterschiedlicher schwerer Bauweise
- Temperaturen unbeheizter Nebenräume

- Transmissions-Wärmeverlust P_0 erdanliegender Fußböden und Wände im Grundwasserbereich

Hier ist nur die **Normheizlast für Räume mit einer mechanischen Lüftung** zu erwähnen, da nur diese im weiteren verwendet wird.

$$P_n = P_0 + P_L + P_R \quad \text{Formel 9}$$

Lüftungsheizlast P_L : ist jene Wärmeleistung, die erforderlich ist, um die durch die Fugen eindringende Luft auf die Berechnungs-Raumtemperatur zu erwärmen.

Bei mechanischer Lüftung können die Druckverhältnisse im Gebäude und damit die über die raumseitigen Undichtigkeiten eindringenden Luftmengen durch die Lüftungstechnischen Anlagen beeinflusst werden.

Die erreichbaren Druckdifferenzen sind gegenüber den auftretenden Wind- und Auftriebsdrücken gering, weshalb die Lüftungsheizlast P_L wie die Zuschlagsheizlast P_F (Fugenlüftung) gemäß der ÖNORM M 7500 Teil 2 zu berechnen ist.

$$P_L = P_F \quad \text{Formel 10}$$

Ausgenommen sind zwei Sonderfälle:

Überdruckanlage (Zuluftvolumenstrom – Überschuss):

Hier ist ein definierter raumseitiger Überdruck bei allen Betriebszuständen sicher gewährleistet, sodass die Fugenlüftung vernachlässigt werden kann.

$$P_L = P_F = 0 \quad \text{Formel 11}$$

Unterdruckanlagen (Abluftvolumen – Überschuss):

Ist ein raumseitiger Unterdruck von mindestens 20 Pa gegenüber dem Umgebungsdruck gewährleistet (z.B. durch Abluftventilator), ist die Lüftungsheizlast wie folgt zu ermitteln.

$$P_L = \rho_L \cdot c_{p,L} \cdot \Delta\dot{V}_{ABL} \cdot (T_i - T_{ZUL}) \quad \text{Formel 12}$$

$\Delta\dot{V}_{ABL}$.. Abluftvolumenstrom-Überschuss [m³/s]

ρ_L Dichte der Zuluft

$c_{p,L}$ Isobare spezifische Wärmekapazität der Zuluft [J/kgK]

T_{ZUL} Temperatur der Zuluft (im weiteren T_{eL} genannt) [°C]

Teil 4: Rechenwerte

Hier sind in Tabellen zusammengestellte Werte der Klimadaten österreichischer Orte, Normraumtemperaturen, Wärmeverlust-Koeffizienten angeführt.

Normaußentemperatur für Wien: -12°C

Die Norm-Außentemperatur ist festgelegt als der niedrigste Zweitagesmittelwert der Lufttemperatur eines Ortes, der 10mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wurde.

Normraumtemperatur für Wohn-, Schlaf-, Büroräume und Küchen +20°C

Fremdbeheizte Nachbarräume +15°C

Teil 5: Berechnungsbeispiel für Normalfälle

Rechengänge für Normalfälle.

2.2 HEIZLASTBERECHNUNG FÜR NIEDRIGST-ENERGIEBAUTEN UND PASSIVHÄUSER

Die derzeit aktuellen Normen berücksichtigen einige wesentliche Parameter, z.B. interne und solare Gewinne, bei der Ermittlung der Heizlast noch nicht. Deshalb führen die Berechnungsverfahren für die Heizlast oft zu unterschiedlichen bzw. unzureichenden Ergebnissen.

Generelle Vorgangsweise:

ÖNORM M 7500

raumweise, stationärer Zustand
(niedrigste Zweitagesmittel 10mal in 20 Jahren)
Transmissions-Wärmeverlust + Zuschlags-Heizlast (Fenster, Raum)

ÖNORM B 8135

Gesamtgebäude, stationärer Zustand
(niedrigste 2 Tagesmittel 10mal in 20 Jahren)
Transmissionswärmeverlust + Wärmeverlust durch Lüftung

EN 12831 raumweise und Gebäude,
stationärer Zustand (niedrigstes Zweitagesmittel 10mal in 20 Jahren)

Simulation raumweise und Gebäude
instationär
Transmission + Lüftung + Solarstrahlung + Innere Lasten

Transmissionswärmeverluste:

ÖNORM M 7500

$\sum k \cdot A \cdot \Delta T$...fremdbeheizte Nachbarn $t_i=15^\circ\text{C}$ oder angegeben;
Wärmebrücken nur in Ausnahmefällen

ÖNORM B 8135

$\sum f \cdot k \cdot A \cdot \Delta T$ $f=0,15$ für erdanliegende Fußböden,
 $f=1$ für angrenzende Außenluft, Außenflächen

- EN 12831 $\sum U \cdot A \cdot \Delta T + \sum I \cdot \psi$ unbeheizte Nachbarräume werden berücksichtigt als andere Gebäudeeinheit mit $T_i = (\text{Jahresmittelwert Außenluft} + \text{Innenraum})/2$
anderes Gebäude mit $T_i = \text{Jahresmittel Außenluft}$
- Simulation meist 1-dimensionaler instationärer Wärmetransport
unbeheizte Bereiche werden dynamisch mitgerechnet

Lüftungswärmeverluste:

ÖNORM M 7500

$$P_Z = \sum f_F \cdot w_F \cdot A_F \cdot \Delta T + w_R \cdot V_R \cdot \Delta T + \text{Auswirkung der Lüftungsanlage}$$

ÖNORM B 8135

hygienischer LW, Undichte Fenster/Türen, mech. Lüftung mit/ohne Wärmerückgewinnung

- EN 12831 Infiltration (Fugen) aus n_{50} -Wert des Gebäudes/Lage/Höhe + hyg. Mindestluftwechsel
Auswirkung d. Lüftungsanlage (zus. Luftwechsel durch Fugen)

Simulation Infiltration + hyg. Luftwechsel als Luftwechselzahlen

Sonneneinstrahlung:

ÖNORM M 7500 nicht berücksichtigt

ÖNORM B 8135 nicht berücksichtigt

EN 12831 nicht berücksichtigt

Simulation über opake und transparente Bauteile erfassbar

Innere Wärmequellen:

ÖNORM M 7500 nicht berücksichtigt

ÖNORM B 8135 nicht berücksichtigt

EN 12831 nicht berücksichtigt

Simulation zeitabhängig erfassbar

ÜBERLEGUNGEN VON BISANZ [BIS99]

Die notwendigen Heizleistungen in einem Passivhaus sind sehr klein. Es hat sich gezeigt, dass man bis zu einem Heizleistungsbedarf von etwa 10 W/m^2 auf ein konventionelles Heizsystem verzichten und die Wärmezufuhr über das ohnehin vorhandene Lüftungssystem steuern kann.

Wie schon erwähnt sind die üblichen Verfahren zur Bestimmung der Norm-Heizlast für Passivhäuser ungeeignet, da Wärmegewinne nicht ausreichend berücksichtigt werden.

Aus diesem Grund hat Bisanz den Einfluss der wichtigsten Gebäudekenngrößen auf die Auslegungsheizlast untersucht, um die tatsächlich anfallende Heizleistung mittels eines stationären Berechnungsverfahrens zuverlässiger bestimmen zu können.

Von Bisanz untersuchte Einflussfaktoren:

- interne Quellen
- energieäquivalenter Luftwechsel
- Wandaufbauten (Wärmeleitwerte)
- Südfensterfläche
- Nordfensterfläche
- Orientierung
- Verglasung
- Temporärer Wärmeschutz
- Verschattung
- Raumluftsolltemperatur
- Absorption an Außenoberflächen
- innere Speichermassen
- Verhältnis Hausbreite zu Haustiefe

Diese Einflussfaktoren verhalten sich linear und werden in der Passivhausprojektierung verwendet.

Die Heizlast eines Auslegungstages ergibt sich aus (EN 12831 + Erweiterung):

$$\begin{aligned} & \left[\sum_n A_n \cdot U_n + \sum_m l_m \cdot \psi_m \right] \cdot (T_i - T_{eT}) + \sum_{n'} A_{n'} \cdot U_{n'} \cdot (T_i - T_{i,n'}) \\ & + 0,34 \cdot (\dot{V}_{\text{inf}} + \dot{V}_{\text{mech,inf}} + n_{\text{anlage}} \cdot (1-\eta) \cdot V) \cdot (T_i - T_{eL}) \\ & - \sum_k A_{g,k} \cdot g_k \cdot \text{versch}_k \cdot P_{\text{Solar,k}} \cdot 0,9 \\ & - P_{\text{intern}} \end{aligned}$$

Formel 13

| | | |
|---------------------------------|--|----------------------|
| A_n | Bauteilflächen, Innenabmessungen | [m ²] |
| U_n | Wärmedurchgangskoeffizient | [W/m ² K] |
| l | Länge, Innenabmessungen Wärmebrücken | [m] |
| ψ | Wärmebrückenverlustkoeffizient | [W/mK] |
| T_i | Innentemperatur | [°C] |
| T_{eT} | Außentemperatur für Transmissionslast | [°C] |
| $A_{n'}$ | Fläche zu Nachbar | [m ²] |
| $U_{n'}$ | Wärmedurchgangskoeffizient zu Nachbar | [W/m ² K] |
| $T_{i,n'}$ | Temperatur in Nachbarräumen | [°C] |
| \dot{V}_{inf} | Volumenstrom durch Infiltration = $n_{\text{inf}} \cdot V$ | [m ³ /h] |
| $\dot{V}_{\text{mech,inf}}$... | Volumenstrom aufgrund eines Unterdruckes durch die Lüftungsanlage | [m ³ /h] |
| n_{anlage} | Volumenstrom durch Lüftungsanlage | [h ⁻¹] |
| η | Wirkungsgrad der Wärmerückgewinnung | |
| V | Raumvolumen berechnet auf Basis der Innenmaße | [m ³] |
| T_{eL} | Temperatur der Luft durch Lüftung | [°C] |
| $A_{g,k}$ | Fensterfläche (Architektenlichtmaß) | [m ²] |
| g_k | Gesamtenergiedurchlassgrad | |
| versch _k ... | Verschattung durch auskragende Bauteile, Nachbargeb. | |
| $P_{\text{solar,k}}$ | Energiegewinn durch Solarstrahlung | [W/m ²] |
| P_{intern} | Energiegewinn durch interne Wärmequellen | [W] |

2.3 SIMULATIONSPROGRAMM BSIM2000

Das Simulationsprogramm BSim2000 [BSIM00] wurde vom Statens Byggeforskningsinstitut (Bauforschungsinstitut), Danish Building and Urban Research, P.O.Box 119, DK-2970 Hørsholm entwickelt.

Das Simulationsprogramm BSim2000 kann haustechnische Anlagen, sowie Energie- und Massenströme (thermisch als auch hygrisch) in Gebäuden simulieren, insbesondere thermisches Innenklima, Tageslichtzustand, Luftfeuchtigkeit, Energieverbrauch, Kontrollfaktoren und Nutzung von passiver Solarenergie.

BSim2000 weist eine modulartige Struktur auf. Die wichtigsten Komponenten sind:

| | |
|----------|---|
| SimView | Eingabeoberfläche und 3D – Ansicht |
| XSun | Schatten- und Strahlungsanalyse |
| SimLight | Simulation des Tageslichtzustandes |
| SimDxf | Übernahmemodul von CAD – Zeichnungen im DXF Format |
| Tsbi 5 | Thermische und hygrische Gebäudesimulation |
| SimDB | Konstruktionsdatenbank (building element & building material) |

Ein Bauwerk wird als Einzonen- oder Mehrzonenmodell abgebildet. Beim Einzonenmodell unterscheidet man nur zwischen Innen- und Außenbereich.

Die Zonen eines Gebäudes werden durch Geometrie, Konstruktion und Nutzerprofile, welche das Verhalten der Benutzer idealisieren, beschrieben.

Folgende Berechnungen können mit BSim2000 durchgeführt werden:

- Energiegewinne durch Personen, Licht, Equipment
- Solarstrahlung durch die Fenster
- Heizen, Kühlen, Klimatisieren
- Energiebilanzen
- Feuchtebilanzen
- Temperaturverläufe

- Wärmefluss und Luftaustausch zwischen den Zonen
- Verschattung
- Infiltration und manuelle Lüftung
- mechanische Lüftung
- Oberflächentemperaturen und Kondensationsrisiken
- Wärme- und Kälterückgewinnung
- Stromverbrauch von Kühl- oder Heizspiralen in der Lüftungsanlage
- Luftbefeuchtung in Lüftungsanlagen

Theoretische Grundlage für die Berechnung mit BSim2000

BSim2000 ist ein numerisches Modell, bei dem fortlaufende reale Ereignisse in einzelnen Zeitschritten beschrieben werden. Die verschiedenen Prozesse, die in der Realität stufenlos ablaufen, beschreibt das Modell als einen Wechsel von einem Zeitschritt (finite Größe) zum Nächsten, wobei für die Dauer eines Zeitschrittes die Gegebenheiten (z.B. Temperatur) als konstant angenommen werden (quasistationär). D.h. bei ausreichend kleinen Zeitschritten ergibt dies eine sinnvolle Annäherung an die Realität.

Die Anzahl der Zeitschritte ist abhängig von der Schichtdicke des Kontrollvolumens, der Dichte, der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität.

$$(\Delta T)_{\max} = \min\left(1,25 \frac{\rho \cdot c_p}{\lambda} (\Delta x)^2\right)$$

Die Baumaterialien werden in Kontrollvolumen aufgeteilt (als Knotenpunkte dargestellt), in welchen die Veränderungen der thermischen Gegebenheiten als eine Funktion des Wärmeflusses in und aus dem Volumen und der thermischen Kapazität des Materials aufgeführt werden.

Wärmebrücken können in BSim2000 nur über Anpassung der U-Werte berücksichtigt werden.

2.4 SIMULATIONSPROGRAMM BUILDOPT

Das Programm Buildopt [BEDO6] ermöglicht das Erstellen eines Multizonenmodells eines Gebäudes.

Die Eingabe der Geometrie erfolgt über Koordinaten von Raumknotenpunkten und der Definition der Flächen über diese Punkte. Den Flächen werden Konstruktionen, Fenster und Wärmebrücken zugeordnet.

Die Konstruktionen werden über Materialeigenschaften und -dicken definiert. Die Fenster werden über U-Werte des Glases und des Rahmens und längenbezogenen Wärmebrückenkoeffizienten beschrieben. Zusätzlich können den Scheiben Gesamtenergiedurchlasskoeffizient, Strahlungs-, Lichttransmissionsgrad und Absorptionswerte zugeordnet werden.

Innerhalb der Zonen kann man das Nutzerverhalten über die Eingabe von gewünschter Raumtemperatur (min, max), innerer Wärmeproduktion, Feuchteproduktion und Luftwechsel aus Fensterlüftung berücksichtigen.

Eine Lüftungsanlage kann über die Zu- und Abluftvolumina in Zonen beschrieben werden. Dem Luftstromnetzwerk können weitere Anlagenkomponenten wie Wärmetauscher, Heiz- und Kühlregister zugewiesen werden. Das Heiz- und Kühlregister kann über den Raumthermostat einer Zone geregelt werden.

Folgende Kenngrößen eines Gebäudes können ermittelt werden:

Verschattung

Aus den geometrischen Eingaben für das Gebäude und die Umgebung wird für jedes Fenster die tatsächliche Verschattungssituation ermittelt. Dazu werden alle transparenten Bauteile in einen Raster mit bis zu 15 mal 15 Punkten unterteilt. Das Verhältnis der unbesonnenen Rasterpunkte zu den gesamten Rasterpunkten ergibt den Verschattungsgrad. Die Strahlungsintensität wird über die direkte und diffuse Solarstrahlung aus den Wetterdaten (Stundenwerte) unter Berücksichtigung der Orientierung der Flächen ermittelt. Die solaren Gewinne werden für jede Zone berechnet.

Heizwärmebedarf

Im Modell können beheizte und unbeheizte Zonen berücksichtigt werden. Die Verluste von zweidimensionalen Wärmebrücken werden den Leitwerten der Bauteile hinzugerechnet. Die Ermittlung des erforderlichen Heizwärmebedarfes erfolgt nach ÖNORM EN 832 [ON098].

Heizlast

Neben der dynamischen Berechnung der Heizlast erfolgt auch eine stationäre Berechnung nach Formel 13 mit den Auslegungswerten aus Kapitel 4 und eine Abschätzung der Heizlast über die ÖNORM M 7500 [ON083].

Die Ergebnisse der dynamischen Berechnung werden als Stundenwerte ausgegeben. Die stationäre Berechnung liefert maximale Heizlasten für jede Zone, Nutzereinheit und für das gesamte Gebäude. Es gibt Ergebnisse ohne Berücksichtigung von Nachbarzonen und unter Berücksichtigung unbeheizter Nachbarzonen.

Die Ergebnisse nach ÖNORM M 7500 betrachten die Nachbarn immer als unbeheizt mit 15°C und werden für jede Nutzereinheit und für das gesamte Gebäude angegeben.

Raumtemperaturen

Es können Raumtemperaturen in beheizten Räumen konstant gehalten werden oder die sich über Zuluftvolumenstrom und die Zulufttemperatur einstellende Raumtemperatur ermittelt werden. Die Temperaturen unbeheizter Zonen (Nachbarräume) werden dynamisch ermittelt. Diese Temperaturen werden für die dynamische und die stationäre Berechnung verwendet.

Optimierung

Das Programm ermöglicht die Variation der Eingabeparameter für die Dämmstärken der Konstruktionen, die Fenstergrößen, die Fenstertypen und die Größe der Verschattungselemente.

Durch diese Variationsmöglichkeiten kann die Optimierung des Gebäudes unterstützt werden.

3 MODELLE

3.1 ZIELE

Die stationäre Berechnung der Heizlast nach Formel 13 setzt sich zusammen aus der Transmissionslast nach außen und zu unbeheizten Nachbarn, der Lüftungslast aus Infiltration und mechanischer Lüftungsanlage, den solaren Gewinnen und internen Wärmequellen. Die fehlenden Parameter sind die Außentemperaturen für die Transmissionslast T_{eT} , für die Lüftungslast T_{eL} und der Energiegewinn durch Solarstrahlung P_{Solar} , um die maximale Heizlast ermitteln zu können. Es gilt herauszufinden an welchem Tag sich die maximale Heizlast ergibt und durch welche Temperaturdifferenzen und solaren Gewinne diese bewirkt wird. Das Innenklima reagiert durch die vorhandene Speicherwirksamkeit der Bauteilen auf die Dynamik des Außenklimas, welche auch in einer stationären Berechnung berücksichtigt werden sollte.

Mittels der dynamischen Simulation von Einboxmodellen in BSim2000 wurden Heizlasten für die maßgeblichen Wintermonate ermittelt, um „Eingangsdaten“ zur Parameterermittlung für die Berechnung nach Formel 13 (Kapitel 2.2) zu erhalten. Weiters wurden Vergleiche durch Variation der Bauteile angestellt. Zugleich werden die Variationen der Ergebnisse aus BSim2000 auf Plausibilität geprüft.

3.2 GEBÄUDEKONZEPT

Es wurden schlichte rechteckige Grundrisse zur besseren Vergleichbarkeit gewählt.

Die Grundrissmaße sind für alle Variationen gleich. Die Varianten der Aufbauten sind so gewählt, dass die Bauteilstärken und, im Falle der Außenwand, auch der U-Wert beibehalten werden. Der U-Wert der Innenwände bei der Einbox haben keinen Einfluss, da beheizte Nachbarn angenommen werden und es somit keinen Wärmeverlust zu den Nachbarräumen gibt. Erst bei der Zweibox, wo der Verlust zu den Nachbarn gesuchte ist, sind die U-Werte berücksichtigt worden. Diese wurden basierend auf den Bestimmungen der Wiener Bauordnung unter $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($<0.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ bei Wohnungstrennwänden im Dachausbau) gewählt.

Die fiktive, sehr leichte Bauweise wurde zur Kontrolle des Programms BSim2000 gewählt, um die speicherwirksame Masse weitestgehend auszuschalten und somit die Trägheit des Systems zu reduzieren.

Die Variation der Fenster wurde durchgeführt, um den Einfluss der Solarstrahlung erkennen zu können. Es wurde die Fenstergröße und die Orientierung verändert. Die Fenstergrößen wurden mit 10 und 40% der Grundfläche gewählt, dies entspricht 20 und 70% der Außenwandfläche. Die Fensterorientierung wurde zwischen Süd, Ost und Nord variiert. Es wurde angenommen, dass Ost und West die gleichen solaren Gewinne erhalten.

Der Fensterrücksprung entspricht der Dämmstärke der schweren Bauweise und ist somit 26 cm tief. Es wurde keine weitere Verschattung vorgesehen.

Die Ergebnisse wurden nur für die Monate Jänner und Februar betrachtet, da hier die maßgebliche Heizlast auftritt.

3.3 BERECHNUNGSPARAMETER

GEOMETRIE: EINBOX MIT 10 % FENSTERFLÄCHE (bezüglich Grundfläche)

Außenabmessungen: 3.20 x 5.57 x 3.20

Innenabmessungen: 3.10 x 5.05 x 2.85

Fensterabmessungen: 1.5 x 1.0

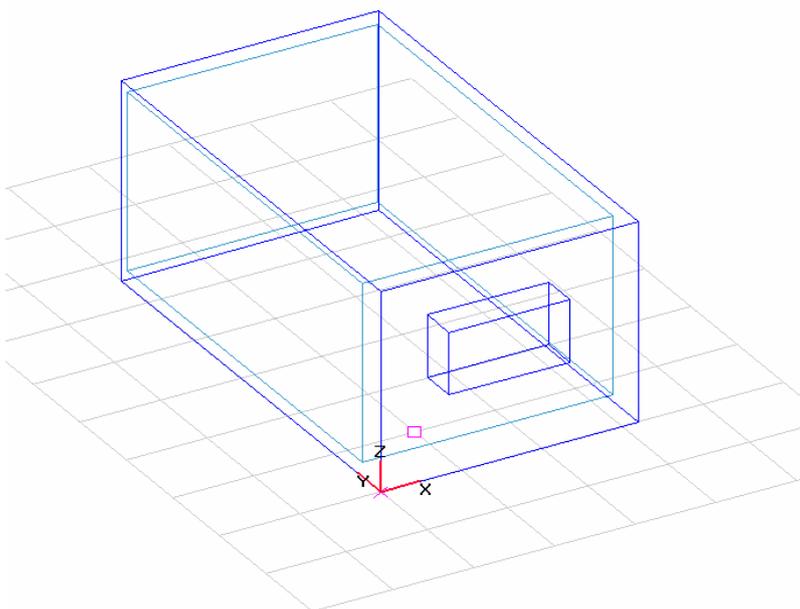


Abbildung 1: Einbox mit 10% Fensterfläche

GEOMETRIE: EINBOX MIT 40 % FENSTERFLÄCHE (bezüglich Grundfläche)

Außenabmessungen: 3.20 x 5.57 x 3.20

Innenabmessungen: 3.10 x 5.05 x 2.85

Fensterabmessungen: 3.0 x 2.0

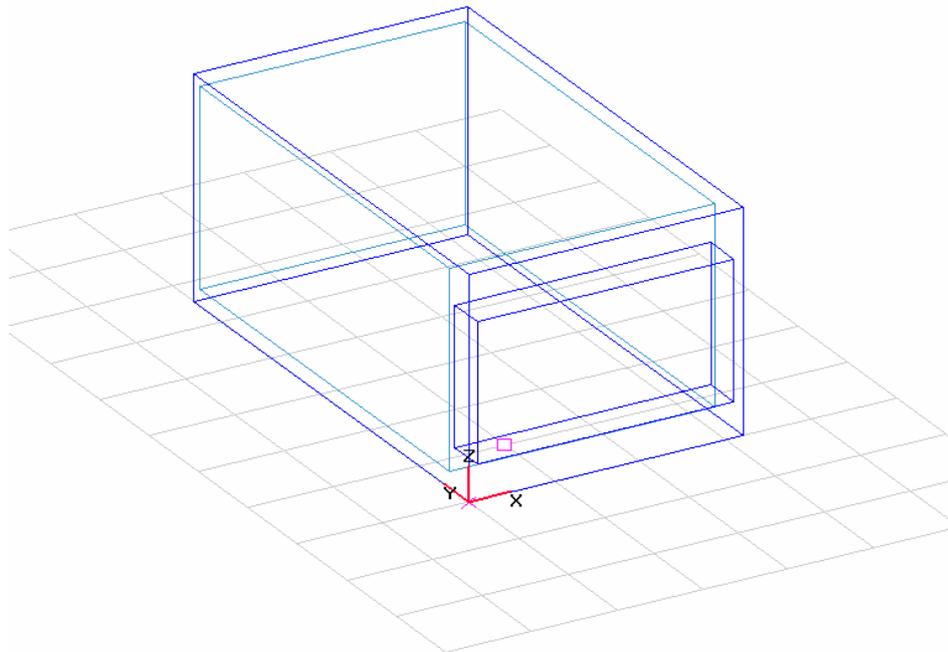


Abbildung 2: Einbox mit 40% Fensterfläche

Ermittelt über Innenabmessungen:

VOLUMEN: 44.62 m³

WANDFLÄCHE LANG: 14.39 m²

WANDFLÄCHE KURZ: 8.84 m²

DECKEN-, BODENFLÄCHE: 15.66 m²

GEOMETRIE: ZWEIBOX FALL 1

Die Zweibox besteht aus 2 mal Einbox.

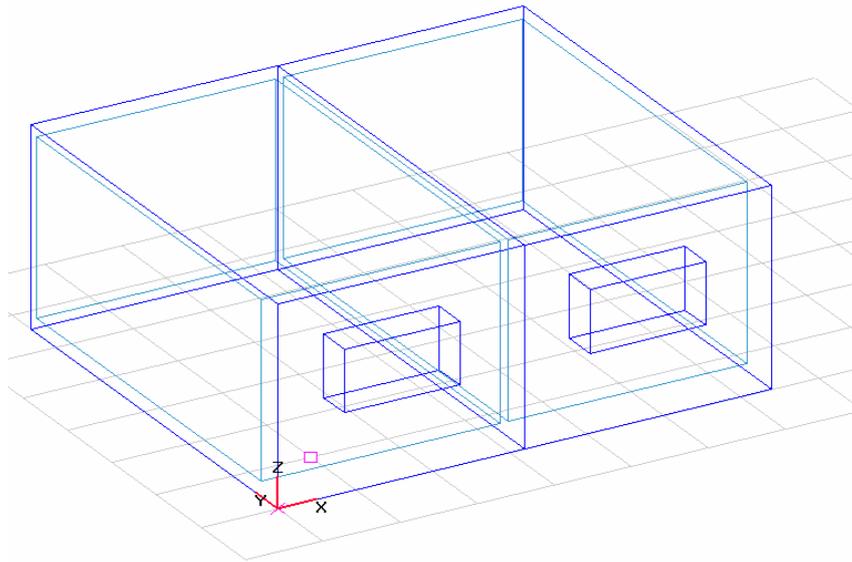


Abbildung 3: Zweibox Fall 1

GEOMETRIE: ZWEIBOX FALL 2

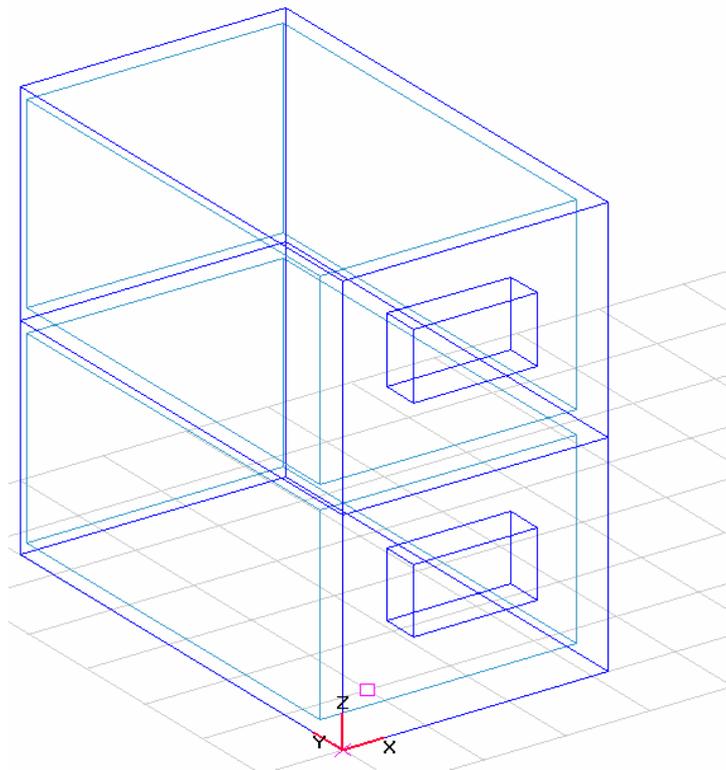


Abbildung 4: Zweibox Fall 2

AUFBAUTEN SCHWER:

| AUSSENWAND | | | | | |
|-------------------|----------|----------|-------|-----------|-------------|
| | ρ | c | d | λ | R |
| SCHWER | kg/m^3 | $J/kg.K$ | m | W/mK | m^2K/W |
| Innen | | | | | 0.130 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.200 | 2.300 | 0.087 |
| EPS | 17 | 1450 | 0.260 | 0.040 | 6.500 |
| Putz | 1600 | 1100 | 0.010 | 0.700 | 0.014 |
| Außen | | | | | 0.040 |
| Σ | | | 0.470 | $R(T)$ | 6.771 |
| | | | | U | 0.15 |

Tabelle 3: Außenwandaufbau schwere Bauweise

| DECKE | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|-------|-----------|-------------|
| | ρ | c | d | λ | R |
| SCHWER | kg/m^3 | $J/kg.K$ | m | W/mK | m^2K/W |
| Innen aufwärts | | | | | 0.100 |
| Parkett | 700 | 2500 | 0.020 | 0.200 | 0.100 |
| Estrich | 2000 | 1080 | 0.060 | 1.330 | 0.045 |
| TSDP | 11 | 1450 | 0.030 | 0.044 | 0.682 |
| Schüttung (Ausgl.) | 1800 | 1000 | 0.040 | 0.700 | 0.057 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.200 | 2.300 | 0.087 |
| Innen aufwärts | | | | | 0.100 |
| Σ | | | 0.350 | $R(T)$ | 1.171 |
| Innen aufwärts | R_{si} | 0.10 | | U | 0.85 |
| Innen abwärts | R_{si} | 0.17 | | U | 0.76 |

Tabelle 4: Deckenaufbau schwere Bauweise

| INNENWAND Einbox | | | | | |
|-------------------------|----------|----------|-------|-----------|-------------|
| | ρ | c | d | λ | R |
| SCHWER | kg/m^3 | $J/kg.K$ | m | W/mK | m^2K/W |
| Innen | | | | | 0.130 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.100 | 2.300 | 0.043 |
| Innen | | | | | 0.130 |
| | | | 0.100 | $R(T)$ | 0.303 |
| | | | | U | 3.30 |

Tabelle 5: Innenwandaufbau schwere Bauweise

| WOHNUNGSTRENNWAND Zweibox | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|--------|-------|-----------|--------------------|
| | ρ | c | d | λ | R |
| SCHWER | kg/m ³ | J/kg.K | m | W/mK | m ² K/W |
| Innen | | | | | 0.13 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.015 | 2.3 | 0.01 |
| Dämmung | 16 | 1030 | 0.07 | 0.04 | 1.75 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.015 | 2.3 | 0.01 |
| Innen | | | | | 0.13 |
| | | | 0.1 | R(T) | 2.02 |
| | | | | U | 0.49 |

Tabelle 6: Wohnungstrennwand schwere Bauweise

AUFBAUTEN FIKTIV:

| AUSSENWAND fiktiv um speicherwirksame Masse zu verlieren | | | | | |
|---|-------------------|--------|-------|-----------|--------------------|
| | ρ | c | d | λ | R |
| FIKTIV | kg/m ³ | J/kg.K | m | W/mK | m ² K/W |
| Innen | | | | | 0.130 |
| Dämmung | 17 | 1450 | 0.130 | 0.040 | 3.250 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.200 | 2.300 | 0.087 |
| EPS | 17 | 1450 | 0.130 | 0.040 | 3.250 |
| Putz | 1600 | 1100 | 0.010 | 0.700 | 0.014 |
| Außen | | | | | 0.040 |
| | | | 0.470 | R(T) | 6.771 |
| | | | | U | 0.15 |

Tabelle 7: Außenwandaufbau fiktive Bauweise

| DECKE fiktiv um speicherwirksame Masse zu reduzieren | | | | | |
|---|-------------------|--------|-------|-----------|--------------------|
| | ρ | c | d | λ | R |
| FIKTIV | kg/m ³ | J/kg.K | m | W/mK | m ² K/W |
| Innen | | | | | 0.130 |
| Dämmung statt Parkett | 16 | 1030 | 0.020 | 0.040 | 0.500 |
| Estrich | 2000 | 1080 | 0.060 | 1.330 | 0.045 |
| TSDP | 11 | 1450 | 0.030 | 0.044 | 0.682 |
| Schüttung (Ausgl.) | 1800 | 1000 | 0.040 | 0.700 | 0.057 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.170 | 2.300 | 0.074 |
| Dämmung | 16 | 1030 | 0.030 | 0.040 | 0.750 |
| Innen | | | | | 0.130 |
| | | | 0.350 | R(T) | 2.368 |
| | | | | U | 0.42 |

Tabelle 8: Deckenaufbau fiktive Bauweise

| INNENWAND fiktiv um speicherwirksame Masse zu reduzieren | | | | | |
|---|-------------------|--------|-------|-----------|--------------------|
| | ρ | c | d | λ | R |
| FIKTIV | kg/m ³ | J/kg.K | m | W/mK | m ² K/W |
| Innen | | | | | 0.130 |
| Dämmung | 16 | 1030 | 0.030 | 0.040 | 0.750 |
| Stahlbeton | 2300 | 1080 | 0.070 | 2.300 | 0.030 |
| Innen | | | | | 0.130 |
| | | | 0.100 | R(T) | 1.040 |
| | | | | U | 0.96 |

Tabelle 9: Innenwandaufbau fiktive Bauweise

FENSTER:

| FENSTER | | 10% | 40% |
|--|--------------------|-------------|-------------|
| Fensterleibung = Wärmedämmstärke (20 cm) | | | |
| Verglasung | | | |
| Profibauglas (Bauph II) | | | |
| Lichttransmission | | 0.72 | |
| Strahlungstransmission | | 0.54 | |
| U-Wert | W/m ² K | 0.70 | 0.70 |
| Dichte | kg/m ³ | 30 | 30 |
| Psi-Wert | | 0.041 | 0.041 |
| Fläche Verglasung | m ² | 1.082 | 5.132 |
| Länge Wärmebrücke | m | 4.280 | 9.280 |
| Gesamtenergiedurchlassgrad | | 0.510 | 0.510 |
| Rahmen | | | |
| U-Wert | W/m ² K | 1.12 | 1.12 |
| Dichte | kg/m ³ | 500 | 500 |
| Rahmenstärke | m | 0.09 | 0.09 |
| Fläche Rahmen | m ² | 0.418 | 0.87 |
| | | | |
| U-Wert Fenster gesamt | | | |
| | | | |
| U _g * A _g | | 0.758 | 3.593 |
| U _f * A _f | | 0.468 | 0.972 |
| ψ * I | | 0.175 | 0.380 |
| | | | |
| Summe | | 1.401 | 4.945 |
| Fläche Gesamt | m ² | 1.5 | 6.0 |
| | | | |
| U_w | W/m ² K | 1.05 | 0.89 |

Tabelle 10: Fensteraufbau

Wärmebrücken

Es werden keine Wärmebrücken berücksichtigt. Bei Passivhäusern wird eine wärmebrückenfreie Konstruktion vorausgesetzt.

Interne Wärmequellen

Erst bei der stationären Berechnung und der Simulation des Beispiels Mehrfamilienwohnhaus werden innere Quellen mit 2.1 W/m^2 angesetzt [FEI98b].

SIMULATIONSPARAMETER BSim2000

Heizung

Zur Ermittlung der Heizlast ist es notwendig eine nahezu gleichmäßige Temperatur im Innenraum zu halten. Zu diesem Zweck wurde ein Heizungssystem definiert, um eine minimale empfundene Temperatur von **20°C** zu gewährleisten.

Die ÖNORM M 7500 geht von einer Innenlufttemperatur von 20°C aus.

In Anwendung der Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau [SCH03] erfolgt die Auslegung mit 22°C empfundener Temperatur unter der Voraussetzung, dass alle Wohnungen beheizt werden. Falls die Nachbarwohnungen leer stehen müssen mindestens 20°C erreicht werden.

Kühlung

Eine sommerliche Überwärmung wird in der ÖNORM B 8110-3 [ON099] als vermieden betrachtet, wenn die empfundene Raumtemperatur in dem betrachteten Raum während einer Hitzeperiode die Grenztemperaturen von 27°C für den Tag und 25°C für die Nacht nicht überschreitet. Aus diesem Grund wurde ein Kühlung definiert, welche die Temperatur nicht über **26°C** steigen lässt.

Infiltration

In BSim2000 ist es möglich einen Basisluftwechsel und seine beeinflussenden Faktoren zu definieren. Die Berechnung des Infiltrationsmodells erfolgt in Abhängigkeit von 3 Bedingungen:

- Basisluftwechsel
- Term, abhängig von der Temperaturdifferenz (Außen - Innen)
- Term, abhängig von der Windgeschwindigkeit

$$n_{\text{out,air}} = n_0 + c_t \cdot (T_i - T_o)^{T_p} + c_v \cdot v \quad \text{Formel 14}$$

- n_0 Basisluftwechsel
- c_t Temperaturfaktor,
Luftwechselzunahme in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz
- T_i operative Innentemperatur
- T_o Außentemperatur
- T_p Einfluss der Temperaturdifferenz
- c_v Windfaktor mit der Annahme,
dass Luftwechsel proportional zur Windgeschwindigkeit ist
- v Windgeschwindigkeit

Um die Vergleichbarkeit gewährleisten zu können, wurde ein Basisluftwechsel eingesetzt, der diese Einflussfaktoren schon enthält. In BSim2000 wurden die weiteren Parameter daher 0 gesetzt.

Die Luftdichtheit eines Passivhaus ist mit dem maximalen Luftwechsel $n_{50} < 0.6 \text{ h}^{-1}$ definiert.

Der Luftvolumenstrom aufgrund Windanströmung und Auftriebsdrücken an der Gebäudehülle erfolgt nach EN 12831 [OEN03] mittels:

$$\dot{V}_{\text{inf},i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \epsilon_i \quad \text{Formel 15}$$

- V_i Raumvolumen berechnet auf Basis der Innenmaße [m³]
- e_i Koeffizient für Abschirmung
 $e = 0.01$ entspricht beheizten Raum mit 1 Öffnung nach außen

ε_i Höhenkorr.faktor, berücks. Zunahme der Windgeschwindigkeit
 $\varepsilon = 1$ für die Höhe 0 – 10 m

Faktor 2... n_{50} - Wert bezieht sich auf gesamtes Gebäude und
 hiermit wird der ungünstigste Fall berücksichtigt

Somit wurde

$$\varepsilon \cdot e \cdot n_{50} = 1 \cdot 0.01 \cdot 0.6 = \mathbf{0.006 \text{ h}^{-1}}$$
 als Basisluftwechsel angesetzt.

Die Simulationen wurden des weiteren auch mit einem Basisluftwechsel von $n = 0.5 \text{ h}^{-1}$ durchgeführt. Dies erfolgte einerseits zur Kontrolle des verwendeten Programms und andererseits, um die Auswirkungen dieses recht hoch angesetzten Infiltrationsluftwechsels zu beobachten.

Mechanische Lüftung

Die Lüftungsanlage wurde wie folgt festgelegt:

Überdruckanlage ($P_L=0$ für M 7500)

| | |
|----------------|---|
| Input / Output | $\frac{n \cdot V}{3600} = \frac{0.5 \cdot 44.62}{3600} = 0.0062 \text{ m}^3/\text{s}$ |
|----------------|---|

Pressure Rise: 250 Pa

Total Effekt: 0.7 70% Wirkungsgrad

Part to Air: 0 Wärme, die von Lüftungsanlage (Eigenwärme)
 direkt an die Luft abgegeben wird

Recovery Unit: 0.85 Wärmerückgewinnung, 85% Wirkungsgrad

Wetterdaten

Die verwendeten Wetterdaten sind IWEC (International Weather for Energy Calculation) Dateien.

Diese enthalten "typische" Wetterdaten, die primär für Energiesimulationsprogramme erstellt wurden. Die Entwicklung der IWEK Dateien erfolgte in zwei Schritten. Zuerst wurden Wetterdaten von DATSAV3 von bis zu 18 Jahre (1982-1999) aus den nationalen Klimadatenzentren verarbeitet. Kleine Lücken in den Daten wurden ausgefüllt, und die Sonnenstrahlung wurde über die Erdsonnengeometrie und der Wolkenabdeckung berechnet. In einer zweiten Stufe wurden zwölf typische Wettermonate aus der langfristigen Zeitserie gewählt und in eine IWEK Datei zusammengesetzt.

Die IWEK Dateien enthalten Stundenmittelwerte der Trockentemperatur, der Taupunkttemperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung.

BERECHNUNGSSWERTE ÖNORM M 7500

| | | |
|-------|--|-------|
| T_i | Innentemperatur | 20°C |
| T_e | Außentemperatur | -12°C |
| f_F | Korrekturfaktor für 10% Fensterfläche | 1 |
| f_F | Korrekturfaktor für 40% Fensterfläche | 0.417 |
| w_R | Wärmeverlustkoeffizient des Raumes $w_R = 0.17 - 0.00065 V_R$ | 0.141 |
| w_F | Wärmeverlustkoeffizient der Fenster und Türen | |
| | für $n = 0.006 \text{ h}^{-1}$ | 0.2 |
| | für $n = 0.5 \text{ h}^{-1}$ | 0.8 |

Tabelle 11: Eingangswerte für die Berechnung nach ÖNORM M 7500

w_F

0.2 windschwache Gegend, normale Windlage ($v = 2 \text{ m/s}$)
Luftdurchlasskoeff. $a = 0.11 \text{ m}^3/(\text{h m Pa}^{2/3})$ (sehr gut abgedichtetes Fenster)

0.8 windschwache Gegend, normale Windlage ($v = 2 \text{ m/s}$)
Luftdurchlasskoeff. $a = 0.44 \text{ m}^3/(\text{h m Pa}^{2/3})$ (zB. Holzverbundfenster)

3.4 ERGEBNISSE EINBOXMODELL

3.4.1 ERMITTLUNG T_{eT}

$$\begin{aligned}
 \text{Heizlast}_i = & \left[\sum_n A_n \cdot U_n + \sum_m I_m \cdot \psi_m \right] \cdot (T_i - T_{eT}) \\
 & + 0,34 \cdot (\dot{V}_{\text{inf}} + \dot{V}_{\text{mech,inf}} + n_{\text{anlage}} \cdot (1 - \eta) \cdot V) \cdot (T_i - T_{eL}) \\
 & + \sum_{n'} A_{n'} \cdot U_{n'} \cdot (T_i - T_{i,n'}) \\
 & - \sum_k A_{g,k} \cdot g_k \cdot \text{versch}_k \cdot P_{\text{Solar},k} \cdot 0,9 \\
 & - P_{\text{intern}}
 \end{aligned}$$

Formel 13

Die Außentemperatur für die Transmissionsverluste wurde mittels eines Einboxmodells ermittelt.

Das Einboxmodell (Abbildung 1 und 2) wurde mit den Aufbauten aus Tabelle 3-8 zusammengestellt.

Die Randbedingungen (Simulationsparameter) für die Simulation wurden so definiert, dass sich nur Verluste durch Transmission nach außen ergeben. D.h. alle anderen Ursachen für Verluste oder Gewinne wie Infiltration, mechanische Lüftung und Solarstrahlung wurden ausgeschlossen. Somit ergibt sich:

$$T_{eT} = - \frac{\text{Heizlast}_i}{\sum_n A_n \cdot U_n} + T_i$$

Formel 16

Heizlast_i aus Simulation mit Heizung, ohne Solarstrahlung, ohne Infiltration, ohne Lüftung

A_n, U_n der Außenhaut

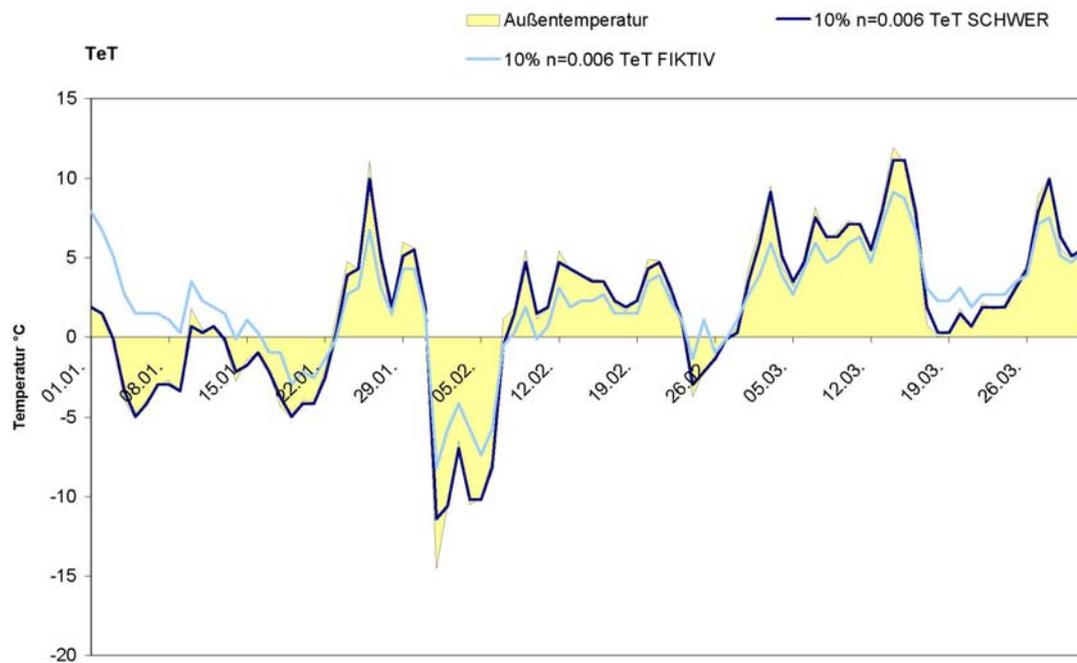


Diagramm 1: T_{eT} für schwere und fiktive Bauweise berechnet von Einbox mit 10% Fensterfläche

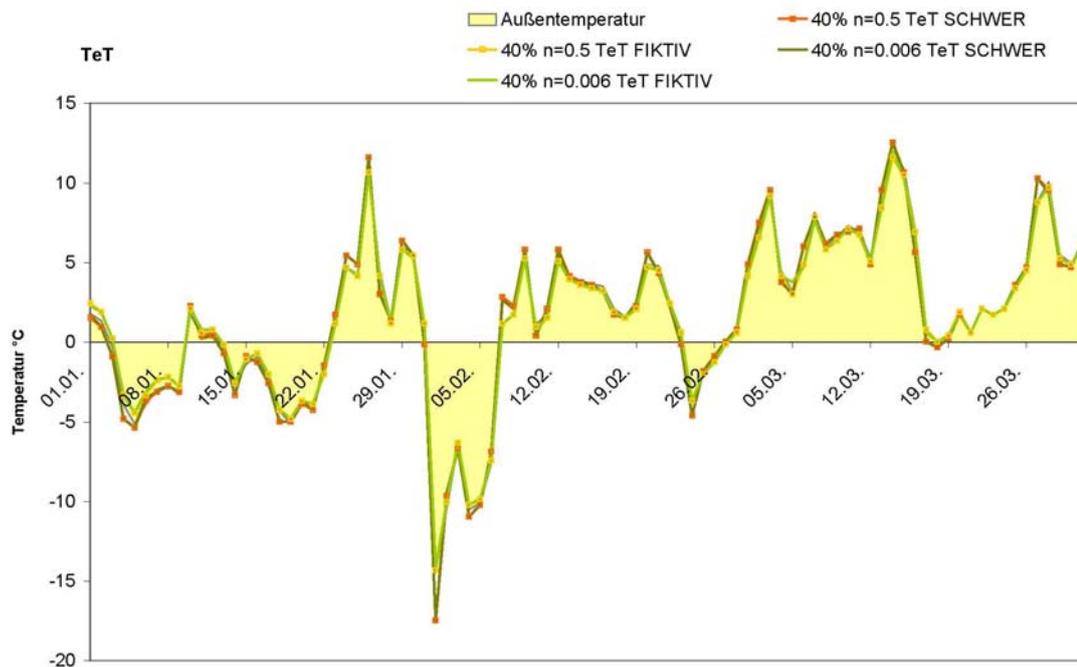


Diagramm 2: T_{eT} für schwere und fiktive Bauweise berechnet von Einbox mit 40% Fensterfläche

In Diagramm 1 und Diagramm 2 sind die Verläufe der berechneten T_{eT} den tatsächlichen Temperaturen gegenübergestellt.

Im Falle der Einbox mit 10% Fensterfläche passt sich die Temperatur der Transmissionslast bei schwerer Bauweise sehr gut der tatsächlichen Temperatur an. Die fiktive Bauweise erfordert bis zu 5°C tiefere oder höhere Temperaturen. Der Wechsel zwischen positiver und negativer Differenz liegt ca. zwischen +2 und -2°C (ab März +5°C) der tatsächlichen Temperatur.

Die Temperaturen der Transmissionslast bei 40% Fensterfläche weisen nahezu die gleichen Werte wie die tatsächliche Temperatur auf, unabhängig von der Bauweise.

Ein weiterer Unterschied zwischen 10 und 40% Fensterfläche ist, dass die Maxima und Minima bei 10% von der tatsächlichen Temperatur gebildet werden und bei 40% von der schweren Bauweise.

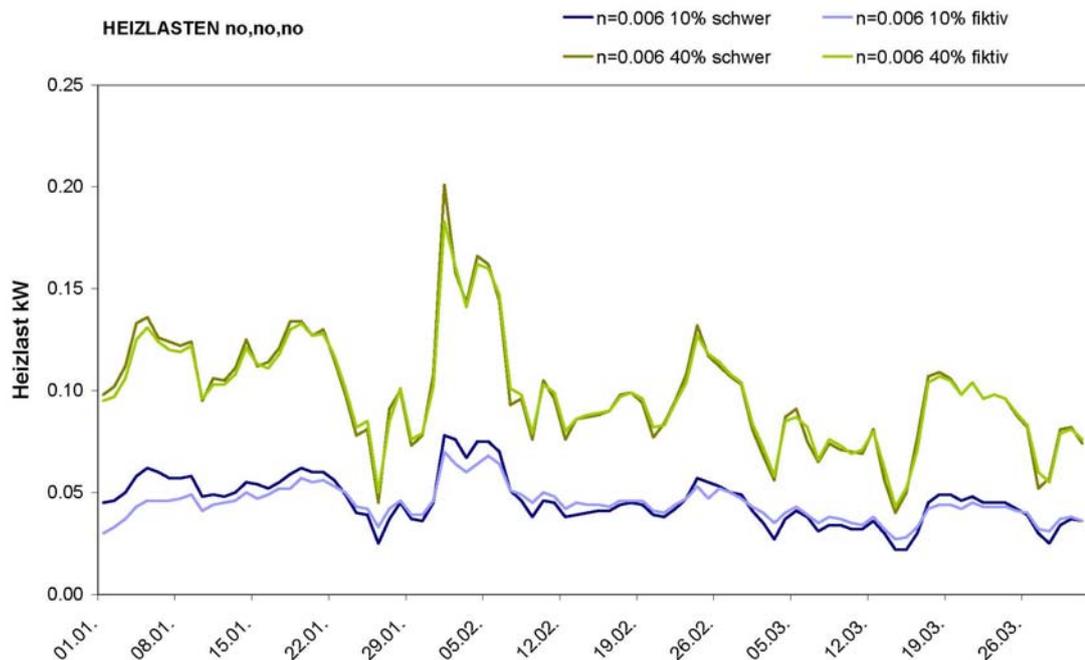


Diagramm 3: Heizlast ohne Infiltration, ohne mechanische Lüftung, ohne Solarstrahlung

Die hier berechnete Heizlast hängt nur von den Transmissionsverlusten ab, egal ob leichte (fiktive) oder schwere Bauweise.

Aufgrund der Formel 16 für die Heizlast ist ersichtlich, dass die Transmissionsverluste gegengleich zur Außentemperatur verlaufen müssen,

da die Innentemperatur fix ist und die Außenwand nur zwischen 10 und 40% Fensterfläche variiert.

In Diagramm 3 ist die Heizlast bei 10 und 40% Fensterfläche dargestellt.

Bei 10% Fensterfläche ist ein deutlicher Unterschied zwischen schwerer und sehr leichter (fiktiver) Bauweise zu erkennen.

Da der U-Wert des Fensters wesentlich schlechter ist als jener der Außenwand, sind die Transmissionsverluste und somit die Heizlast bei 40% Fensterfläche größer. Aus diesem Grund hat auch die Dynamik der Außentemperatur einen größeren Einfluss und der Unterschied zwischen schwerer und fiktiver Bauweise (unterschiedliche Wärmespeicherfähigkeit) ist kaum merklich.

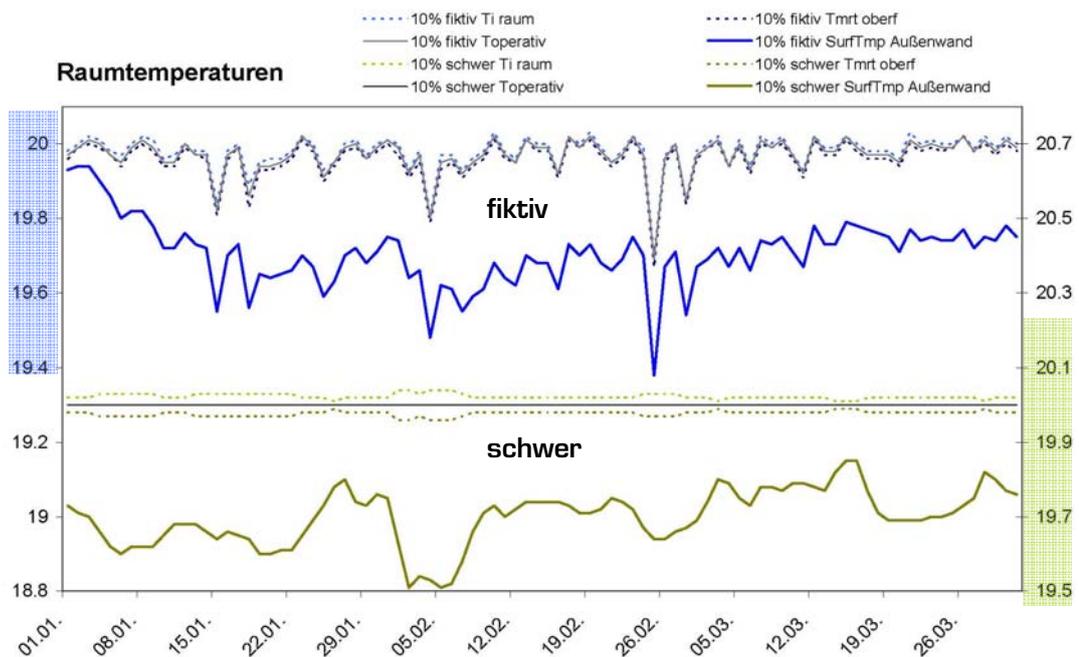


Diagramm 4: Oberflächen und Raumtemperaturen in Abhängigkeit der Bauweise

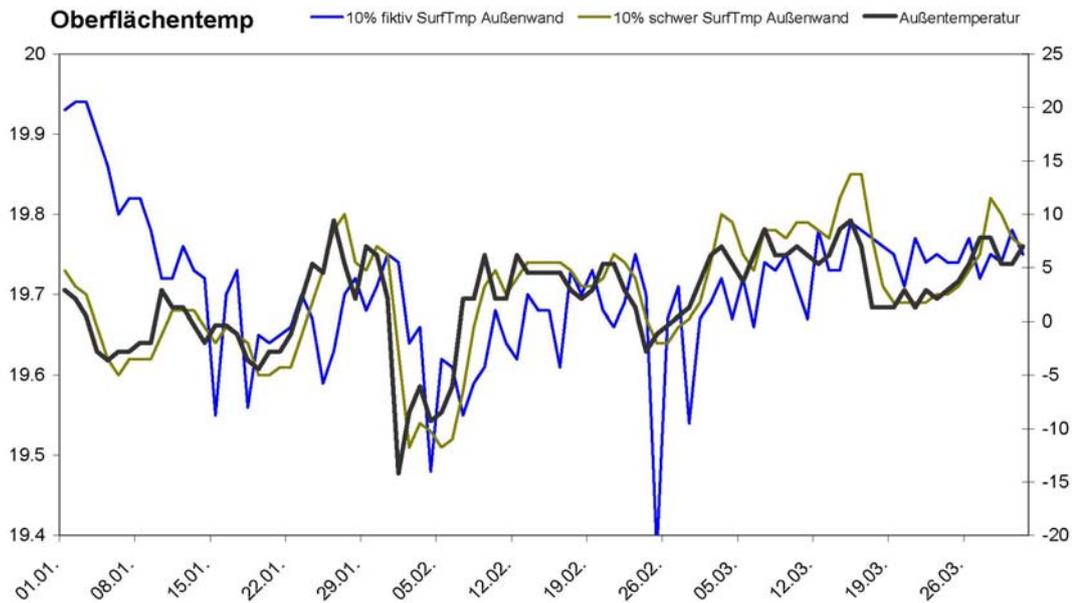


Diagramm 5: Innenraumseitige Oberflächentemperatur der Außenwände

Um die Unterschiede der Boxen mit verschiedenen Fenstergrößen anschaulicher zu machen, wurden die folgenden Diagramme erstellt. Dazu wurden fiktive Temperaturen zwischen +20°C und -15°C Außentemperatur mit jeweils mehrtägiger Dauer und extremen Wechseln angesetzt.

Die Reaktionen der beiden Varianten sind markant unterschiedlich. Besonders gut erkennbar ist dies in den Übergängen von Warm zu Kalt (Diagramm 6).

Im Falle von **10% Fensterfläche** gibt es bei fiktiver Bauweise einen stetigen Anstieg der Heizlast in der Kältephase und einen dauernden Abfall in der Wärmephase. Die Heizlast bei schwerer Bauweise verläuft nach 3 Tagen Anstieg konstant weiter über die Temperaturperiode.

Die fiktive Bauweise unterliegt geringeren Schwankungen, d.h. die Minima und Maxima werden von der schweren Bauweise gebildet.

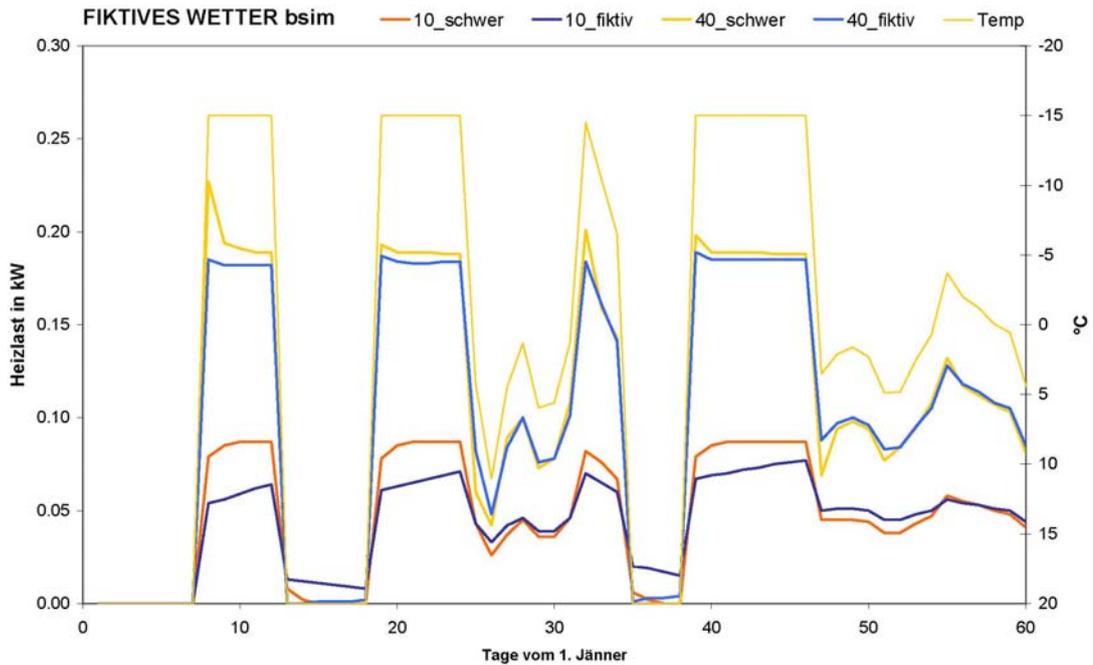


Diagramm 6: Heizlast ohne Infiltration, ohne mechanische Lüftung, ohne Solarstrahlung mit fiktiven Temperaturen (+20°C, -15°C), 10% und 40% Fensterfläche, berechnet mit BSim2000

Die Boxen mit **40% Fensterfläche** zeigen gänzlich andere Reaktionen (Diagramm 6). Sowohl bei schwerer als auch fiktiver Bauweise steigen bei Senkung der Temperatur die Heizlasten extrem an und nehmen dann über die Temperaturperiode stetig ab.

Die Unterschiede zwischen den Bauweisen sind hier nicht sehr stark ausgeprägt.

Auch hier bildet die Heizlast der schweren Bauweise die Minima und Maxima.

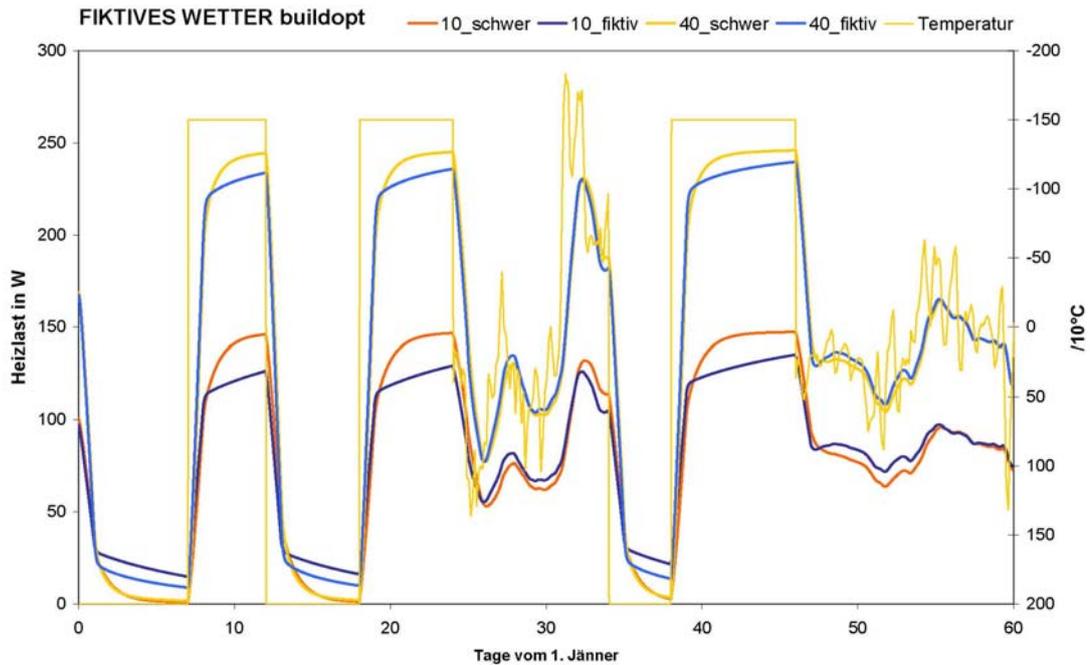


Diagramm 7: Heizlast ohne Infiltration, ohne mechanische Lüftung, ohne Solarstrahlung mit fiktiven Temperaturen (+20°C, -15°C), 10% und 40% Fensterfläche, berechnet mit buildopt

Zur Kontrolle wurden die gleichen Berechnungen mit dem Simulationsprogramm buildopt durchgeführt. Hier sind die Verläufe bei 10 und 40% Fensterfläche sehr ähnlich. Es ist anzunehmen, dass das Programm BSim2000 numerische Schwierigkeiten hat mit 40% Fensterfläche.

Der Unterschied von schwerer zu fiktiver Bauweise ist schwer erkennbar, besonders wenn nur eine Fläche mit Transmissionsverlusten nach außen, welche zum Großteil von Fenstern gebildet wird. Deshalb wurde ein Würfel definiert der nur aus Außenwänden und Decken ohne Fenster besteht.

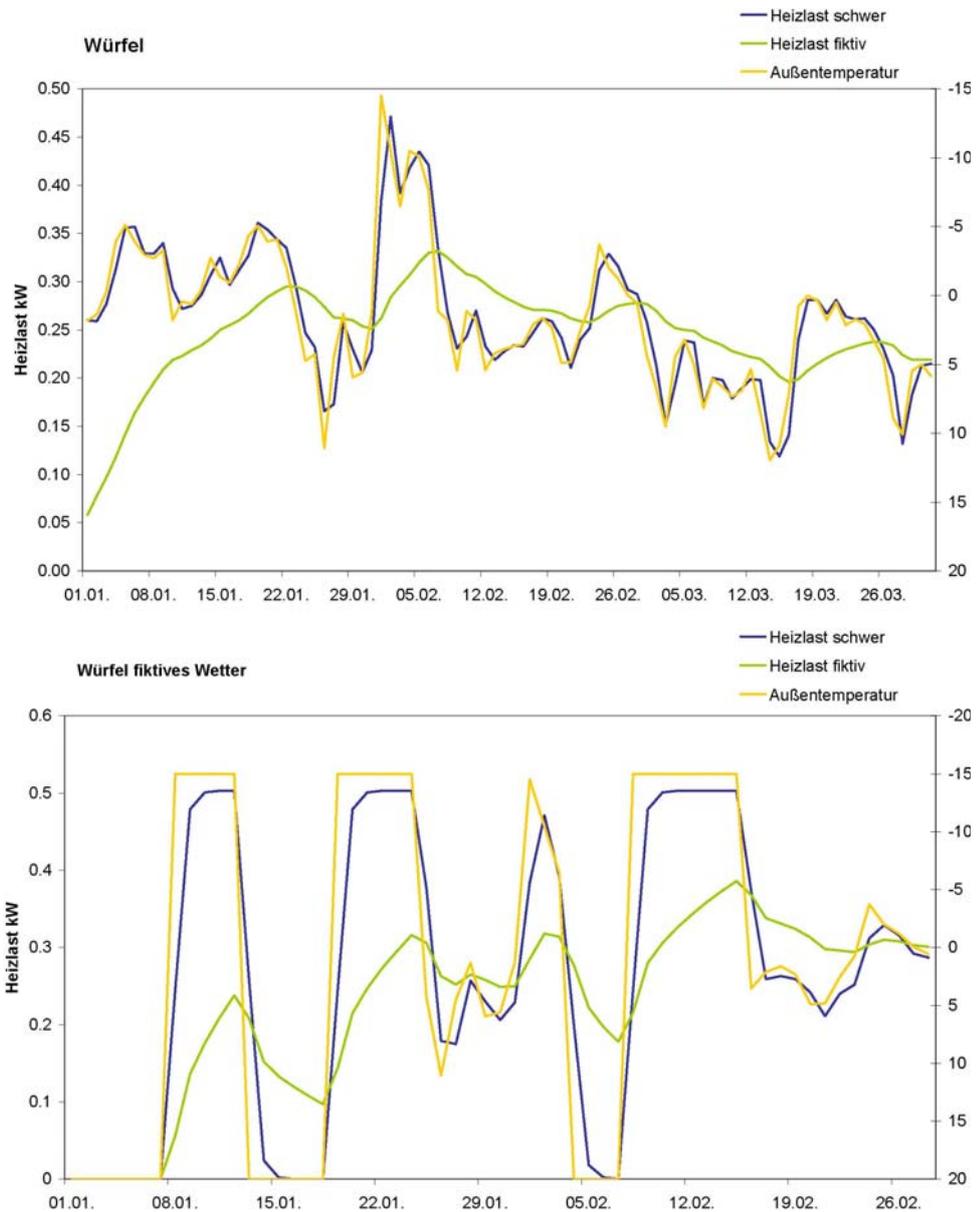


Diagramm 8: Heizlasten Würfel mit IWEK und fiktivem Wetter

Die schwere Bauweise reagiert nicht wirklich träge aber doch immerhin etwa einen Tag zeitversetzt.

Im Vergleich dazu ist die fiktive Bauweise kaum beeinflusst durch die sprunghaften Temperaturwechsel.

Eigentlich sollte schwere Bauweise träger reagieren (als fiktiv) und somit die Ausgeglichenere sein. Es wirkt aber so, dass die schwere Bauweise einiges mehr an Energie benötigt um das Innenklima beizubehalten, wenn es kalt wird. Dafür sinkt die Heizlast auch sofort wieder, wenn es warm wird.

Dieses trägere Verhalten lässt sich in der Heizlast nicht erkennen, aber im Temperaturverlauf des Innenklimas. Hier gibt es starke Temperaturschwankungen bei fiktiver Bauweise.

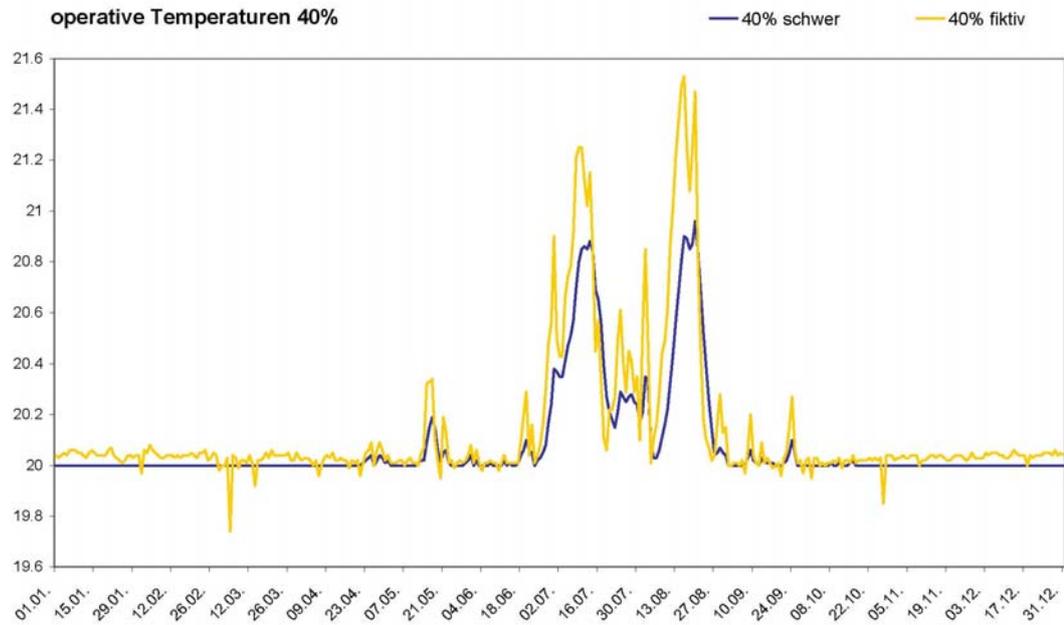


Diagramm 9: Operative Temperaturen der Einbox bei Simulation ohne Solarstrahlung, Infiltration und mechanischer Lüftung

3.4.2 ERMITTLUNG T_{eL}

$$\begin{aligned}
 \text{Heizlast}_i &= \left[\sum_n A_n \cdot U_n + \sum_m I_m \cdot \psi_m \right] \cdot (T_i - T_{eT}) \\
 &+ 0,34 \cdot (\dot{V}_{inf} + \dot{V}_{mech,inf} + n_{anlage} \cdot (1-\eta) \cdot V) \cdot (T_i - T_{eL}) \\
 &+ \sum_{n'} A_{n'} \cdot U_{n'} \cdot (T_i - T_{i,n'}) \\
 &- \sum_k A_{g,k} \cdot g_k \cdot versch_k \cdot P_{Solar,k} \cdot 0,9 \\
 &- P_{intern}
 \end{aligned}$$

Formel 13

Die ermittelte Temperatur ist als Grundlage für die Lüftungsverluste, sowohl für die Infiltration als auch für die mechanische Lüftungsanlage zu verwenden. Folgende Eingangsparameter werden in der Simulation verwendet: Heizung, Infiltration und mechanische Lüftung.

Die Außentemperatur für den Transmissionsverlust stammt aus der, im vorherigen Kapitel beschriebenen Ermittlungsmethode für T_{eT} .

$$T_{eL} = - \frac{\text{Heizlast}_i - \left[\sum_n A_n \cdot U_n \right] \cdot (T_i - T_{eT})}{0,34 \cdot (\dot{V}_{inf} + n_{anlage} \cdot (1-\eta) \cdot V)} + T_i$$

Formel 17

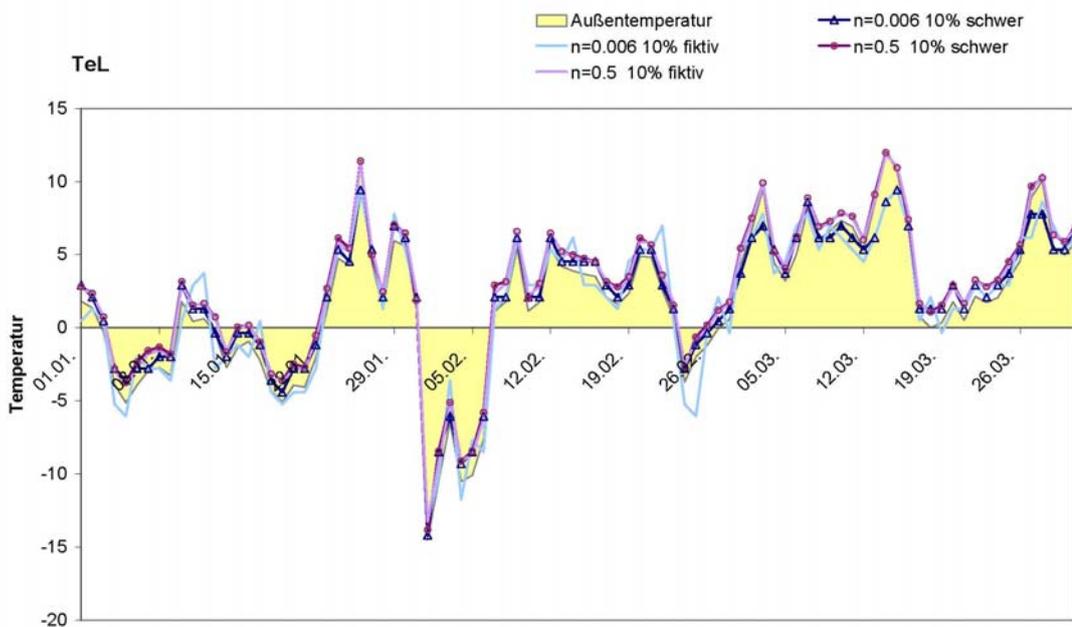


Diagramm 10: T_{eL} für schwere und fiktive Bauweise mit 10% Fensterfläche und verschiedenen Luftwechselzahlen

Die Temperaturen für Lüftungsverluste weisen in der Variante 10% Fensterfläche unabhängig von der Bauweise bis Ende Februar sehr ähnliche Ergebnisse auf. Abweichend davon ist die fiktive Bauweise mit Infiltrationsluftwechsel 0.006 h^{-1} . In der selben Bauweise verhält sich die Variation bei 40% Fensterfläche, wobei sich die Abweichung der fiktiven Bauweise nicht so stark darstellt.

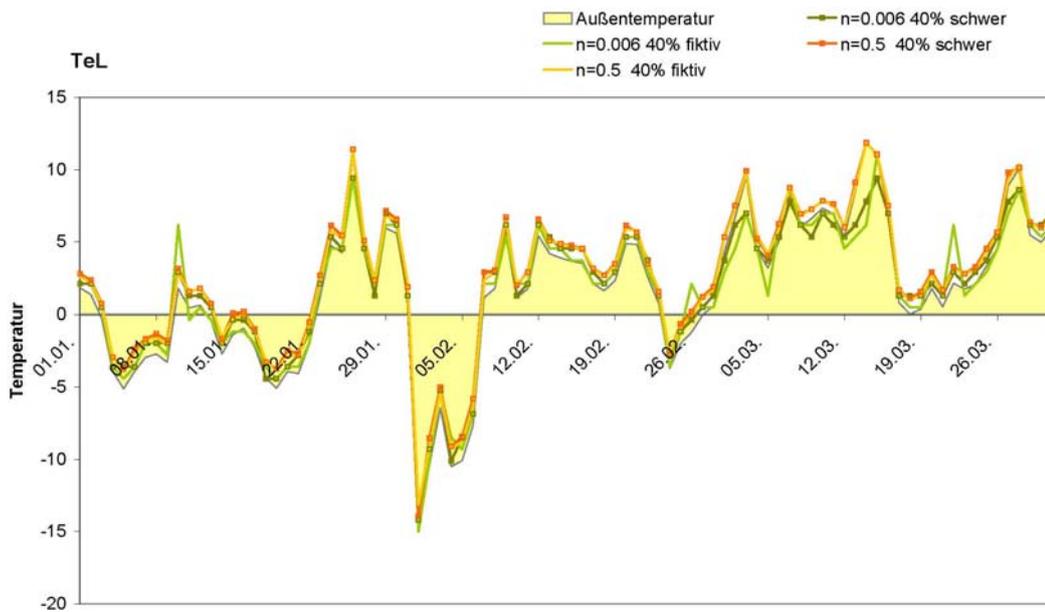


Diagramm 11: T_{eL} für schwere und fiktive Bauweise berechnet mit 40% Fensterfläche und verschiedenen Luftwechselzahlen

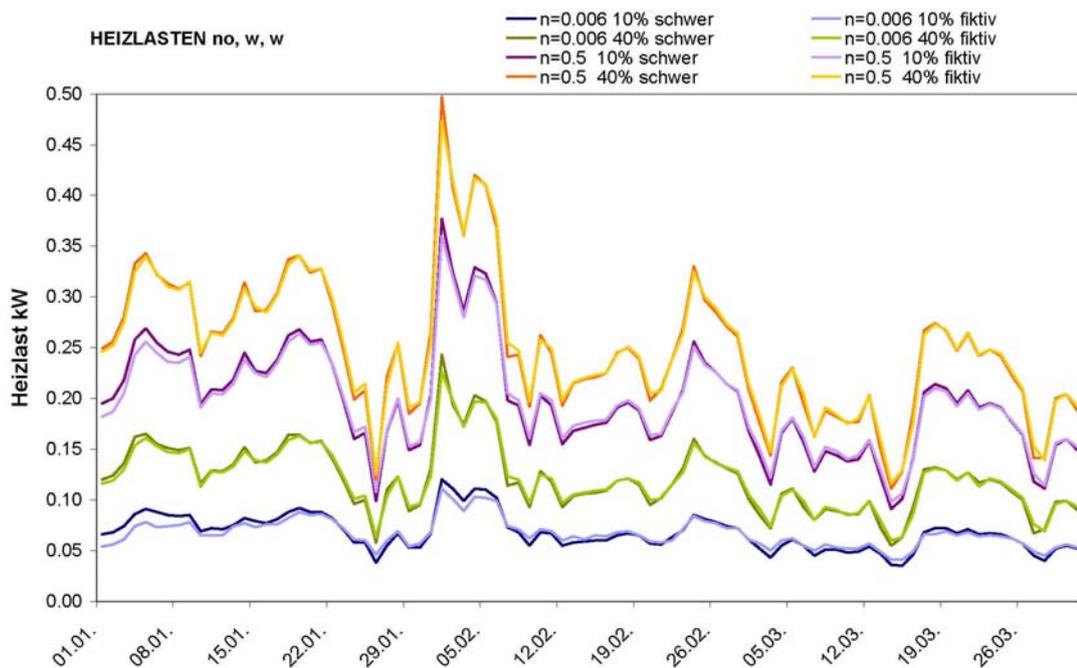


Diagramm 12: Heizlast ohne Solarstrahlung, mit Infiltration und mechanischer Lüftung

3.4.3 ERMITTLUNG P_{solar}

$$\begin{aligned}
 \text{Heizlast}_i &= \left[\sum_n A_n \cdot U_n + \sum_m I_m \cdot \psi_m \right] \cdot (T_i - T_{eT}) \\
 &+ 0,34 \cdot (\dot{V}_{inf} + \dot{V}_{mech,inf} + n_{anlage} \cdot (1-\eta) \cdot V) \cdot (T_i - T_{eL}) \\
 &+ \sum_{n'} A_{n'} \cdot U_{n'} \cdot (T_i - T_{i,n'}) \\
 &- \sum_k A_{g,k} \cdot g_k \cdot versch_k \cdot P_{Solar,k} \cdot 0,9 \\
 &- P_{intern}
 \end{aligned}$$

Formel 13

Die Simulation der Heizlast erfolgt hier unter Berücksichtigung der Heizung, Infiltration, mechanischen Lüftung, Kühlung und Außenklima samt Solarstrahlung.

Die Außenluft- und Zulufttemperatur stammen aus den beiden vorherigen Ermittlungen.

$$P_{Solar,k} = \frac{\text{Heizlast}_i - \left[\sum_n A_n \cdot U_n \right] \cdot (T_i - T_{eT}) - 0,34 \cdot (\dot{V}_{inf} + n_{anlage} \cdot (1-\eta) \cdot V) \cdot (T_i - T_{eL})}{A_{g,k} \cdot g_k \cdot versch_k \cdot 0,9}$$

Formel 18

In den folgenden Diagrammen wurden die berechneten Globalstrahlungen zur Ermittlung der solaren Gewinne zusammengestellt.

Die einzelnen Diagramme stellen die jeweiligen Ergebnisse mit beiden Bauweisen dar, getrennt nach Fensteranteil und Infiltrationsluftwechsel.

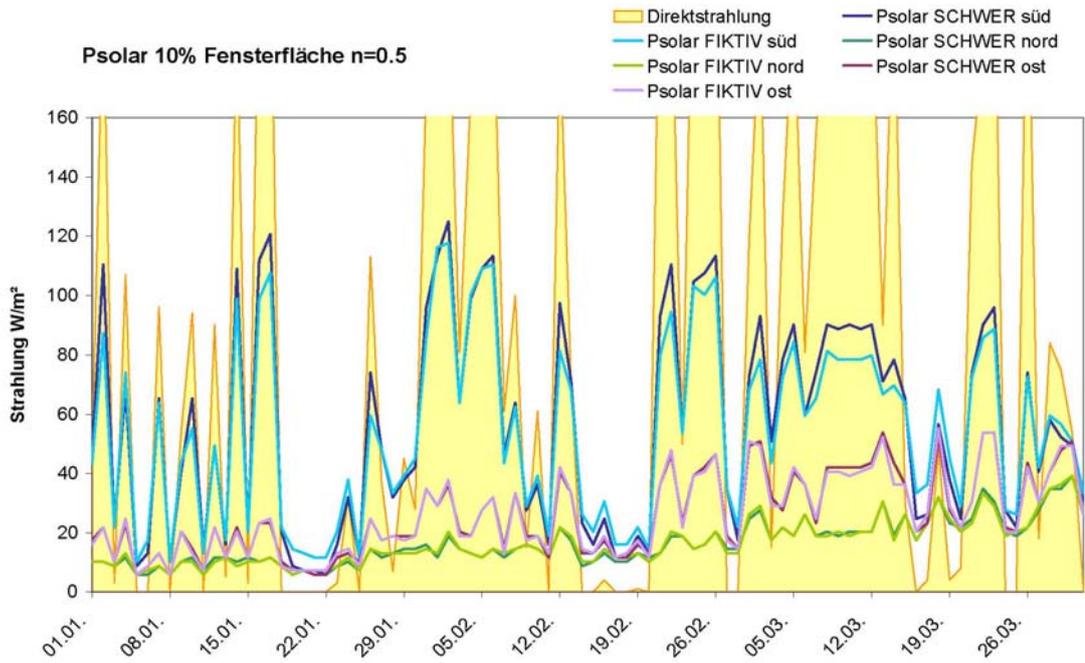


Diagramm 13: Zusammenstellung P_{solar} für schwere und fiktive Bauweise mit 10% Fensterfläche, alle Orientierungen

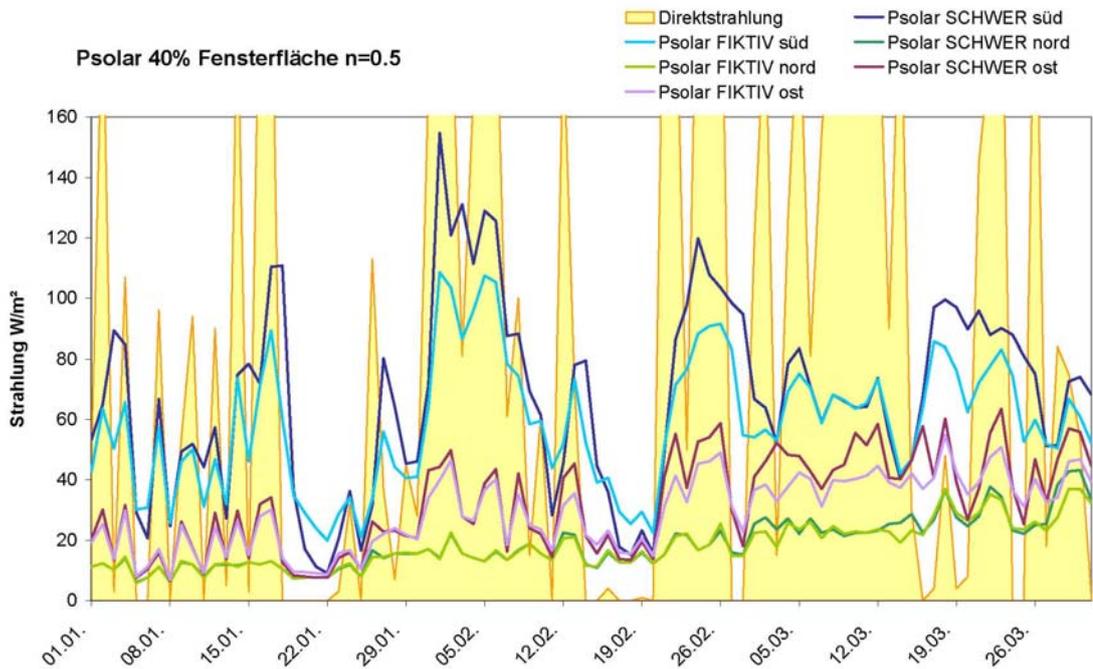


Diagramm 14: Zusammenstellung P_{solar} für schwere und fiktive Bauweise mit 40% Fensterfläche, alle Orientierungen

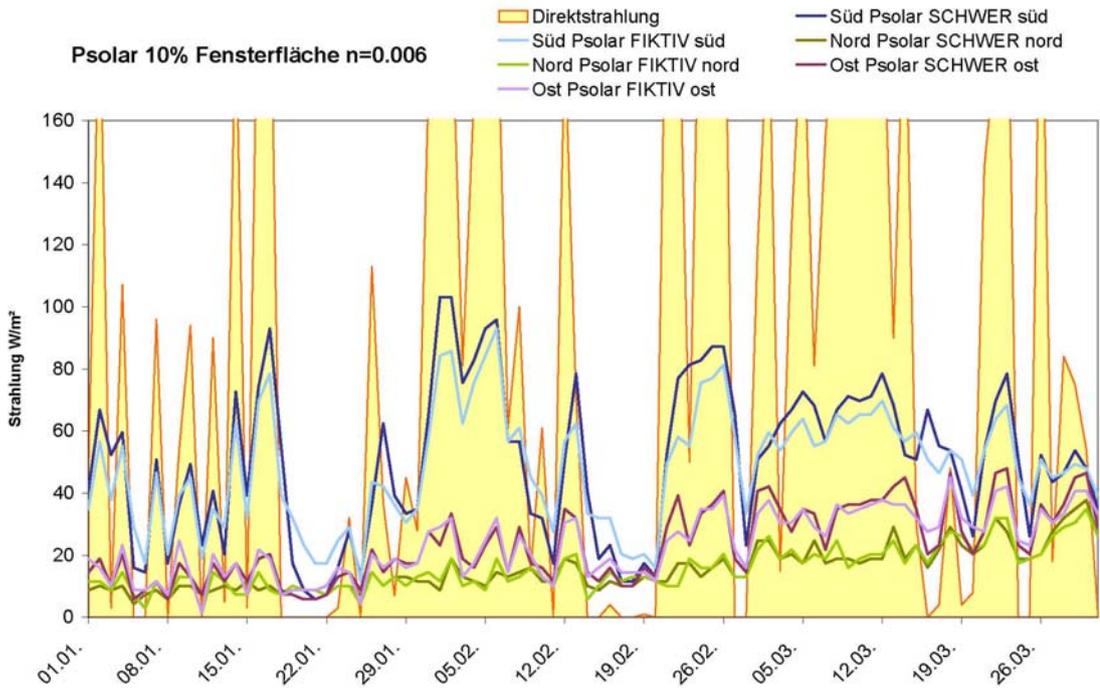


Diagramm 15: Zusammenstellung P_{solar} für schwere und fiktive Bauweise mit 10% Fensterfläche, alle Orientierungen

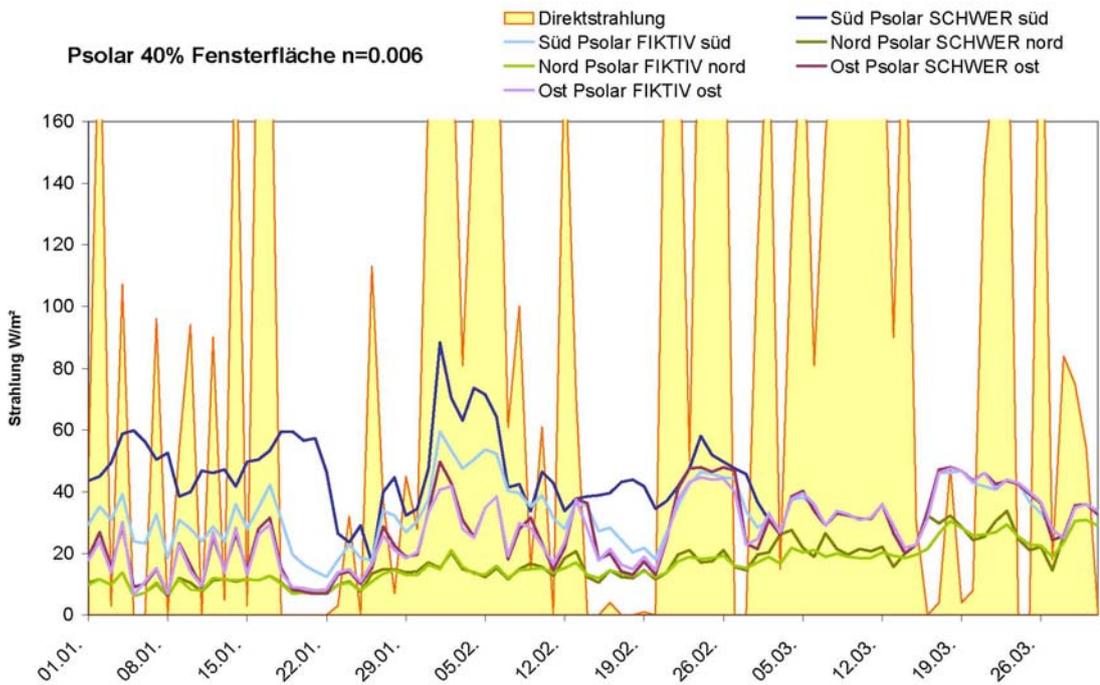


Diagramm 16: Zusammenstellung P_{solar} für schwere und fiktive Bauweise mit 40% Fensterfläche, alle Orientierungen

Im Allgemeinen verläuft P_{solar} innerhalb der Direktstrahlung. Im Falle von 10% Fensterfläche mit $n = 0.006 \text{ h}^{-1}$ und 40% Fensterfläche wirken die solaren Gewinne nach Tagen mit sehr starker Direktstrahlung noch kurze Zeit nach.

Die Ergebnisse der Nordorientierung zeigen einen Zusammenhang mit der Diffusstrahlung, die nicht abgebildet ist. Dies gilt auch für den Osten, mit dem Unterschied, dass bei sehr hoher Direktstrahlung der Einfluss der Direktstrahlung im Verlauf der solaren Gewinne erkennbar ist.

Die solaren Gewinne sind bei schwerer Bauweise höher als bei fiktiver und der Verlauf ist ähnlich. Im Falle von 10% Fensterfläche sind die Unterschiede zwischen schwerer und fiktiver Bauweise gering.

Generell sind bei den Fensterorientierungen Nord und Ost die solaren Gewinne bei 40% Fensterfläche größer, wobei dies im Norden ausgeprägter ist. Die Unterschiede zwischen schwer und fiktiv sind gering.

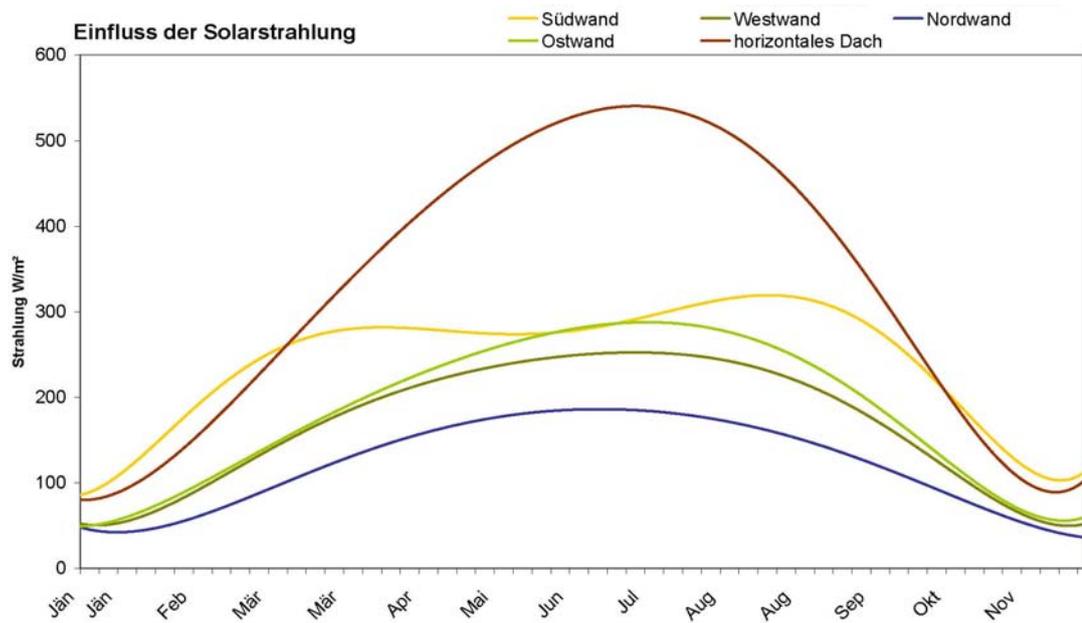


Diagramm 17: Einfluss der Solarstrahlung auf verschieden orientierte Flächen; ermittelt über IVEC – Daten, Polynomische Trendlinie über Tagesmittelwerte

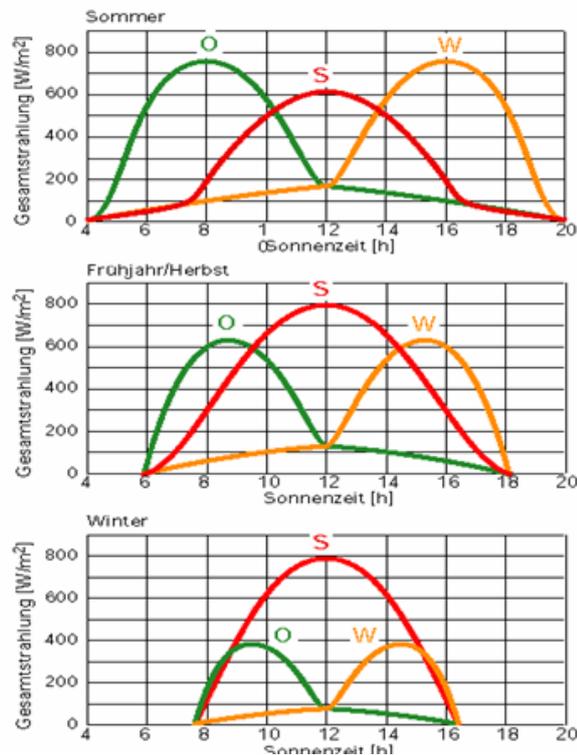


Abbildung 5: Einfluss der Solarstrahlung auf verschieden orientierte Flächen in Abhängigkeit der Jahreszeit [KLIO6]

3.4.4 AUSLEGUNGSTAGE

Da der Einfluss der Fensterfläche und der Bauweise nicht hinreichend bekannt ist, wurden bei der Ermittlung der Auslegungstage die Eingaben für die Einbox variiert. Die Fensterflächen wurden mit 10% (Abbildung 1) und 40% (Abbildung 2) der Bodenfläche angesetzt. Die Variation der Bauweise erfolgt über die Wahl eines schweren (Tabelle 3, Tabelle 5) und eines sehr leichten, fiktiven Wandaufbaus (Tabelle 7, Tabelle 9).

Zur Bestimmung der Auslegungstage wurden die mittels Simulation berechneten Heizlasten gegenübergestellt und Spitzen ermittelt. In den Diagramm 19 - Diagramm 21 ist auch sehr gut zu erkennen, dass die Fensterfläche ausschlaggebender für die Heizlast ist als die Bauweise.

Als Auslegungstag für die Einbox mit 10% Fensterfläche, schwerer Bauweise, Südorientierung und Infiltration 0.5 h^{-1} ergibt sich der 1. Februar (Diagramm 19), an welchem es zwar sehr sonnig aber auch sehr kalt ist. Betrachtet man die Heizlasten für die Nordorientierung (Diagramm 20) und Ostorientierung (Diagramm 21) zeigt sich, dass der 1. Februar in diesen beiden Orientierungen für alle Fenstergrößen und Bauweisen der maßgebliche Tag mit der höchsten Heizlast ist, außer bei 40% Fensterfläche mit geringer Infiltration.

Die Heizlasten der Einboxen mit Südorientierung weisen am 21. Jänner ihren höchsten Wert auf. Vergleichbare Wetterdaten gibt es am 5. und 19. Jänner mit noch etwas schlechteren Strahlungswerten (Direktstrahlung = 0, Diffusstrahlung = 14 bzw. 17) und etwas tieferen Temperaturen (-5°C). Der 21. Jänner bildet wegen den kalten und strahlungsarmen Tage davor den Auslegungstag. Der Wärmeschutz der größeren Fenster ist schlechter und der Einfluss der letzten solaren Gewinne ist abgeklungen.

| <i>IWEC Daten</i> | <i>Außentemperatur</i> | <i>Direktstrahlung</i> | <i>Diffusstrahlung</i> | |
|-------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------|
| 1. Februar | -14.50°C | 205 W/m ² | 25 W/m ² | Sonnig, kalt |
| 21. Jänner | -4.06°C | 0 W/m ² | 18 W/m ² | Trüb, mild |

Tabelle 12: Tagesmittelwerte der Wetterdaten aus IWEC Datenfile

| | | 01.Feb | | | |
|--------------------------|------------------|-------------------------|--------|---------------------------|--------|
| | | n = 0.5 h ⁻¹ | | n = 0.006 h ⁻¹ | |
| | | 10% | 40% | 10% | 40% |
| Temperatur | °C | | | | |
| T _{eT} schwer | | -13.01 | -17.48 | -11.4 | -17.48 |
| T _{eT} fiktiv | | -8.18 | -14.31 | -8.18 | -14.12 |
| T _{eL} schwer | | -13.82 | -13.93 | -14.18 | -14.18 |
| T _{eL} fiktiv | | -13.25 | -13.13 | -13.37 | -15.00 |
| P_{solar} | W/m ² | | | | |
| Südfenster | | | | | |
| Schwer | | 113 | 155 | 104 | 88 |
| Fiktiv | | 116 | 109 | 84 | 60 |
| Ostfenster | | | | | |
| Schwer | | 29 | 44 | 23 | 50 |
| Fiktiv | | 29 | 40 | 29 | 41 |
| Nordfenster | | | | | |
| Schwer | | 12 | 14 | 9 | 15 |
| Fiktiv | | 13 | 14 | 12 | 15 |

| | | 21.Jän | | | |
|--------------------------|------------------|-------------------------|-------|---------------------------|-------|
| | | n = 0.5 h ⁻¹ | | n = 0.006 h ⁻¹ | |
| | | 10% | 40% | 10% | 40% |
| Temperatur | °C | | | | |
| T _{eT} schwer | | -4.15 | -4.24 | -4.15 | -4.24 |
| T _{eT} fiktiv | | -2.54 | -3.86 | -2.54 | -3.86 |
| T _{eL} schwer | | -2.70 | -2.70 | -2.79 | -2.79 |
| T _{eL} fiktiv | | -2.81 | -2.93 | -4.42 | -3.60 |
| P_{solar} | W/m ² | | | | |
| Südfenster | | | | | |
| Schwer | | 7 | 11 | 6 | 57 |
| Fiktiv | | 12 | 24 | 17 | 14 |
| Ostfenster | | | | | |
| Schwer | | 6 | 8 | 6 | 7 |
| Fiktiv | | 7 | 9 | 9 | 8 |
| Nordfenster | | | | | |
| Schwer | | 6 | 8 | 6 | 7 |
| Fiktiv | | 7 | 8 | 9 | 8 |
| Fiktiv | | 7 | 8 | 9 | 8 |

Tabelle 13: Ermittelte Temperaturen und Solarstrahlung an den Auslegungstagen

| | T _{eT} | T _{eL} | P süd | P ost | P nord |
|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 01.Feb | -14.5°C | -14.0°C | 60 Wm ⁻² | 23 Wm ⁻² | 9 Wm ⁻² |
| 21.Jän | -4.0°C | -4.0°C | 6 Wm ⁻² | 6 Wm ⁻² | 6 Wm ⁻² |

Tabelle 14: Zusammenstellung der Werte für die Berechnung an Auslegungstagen, Minima aus den Ergebnissen der Tabelle 13

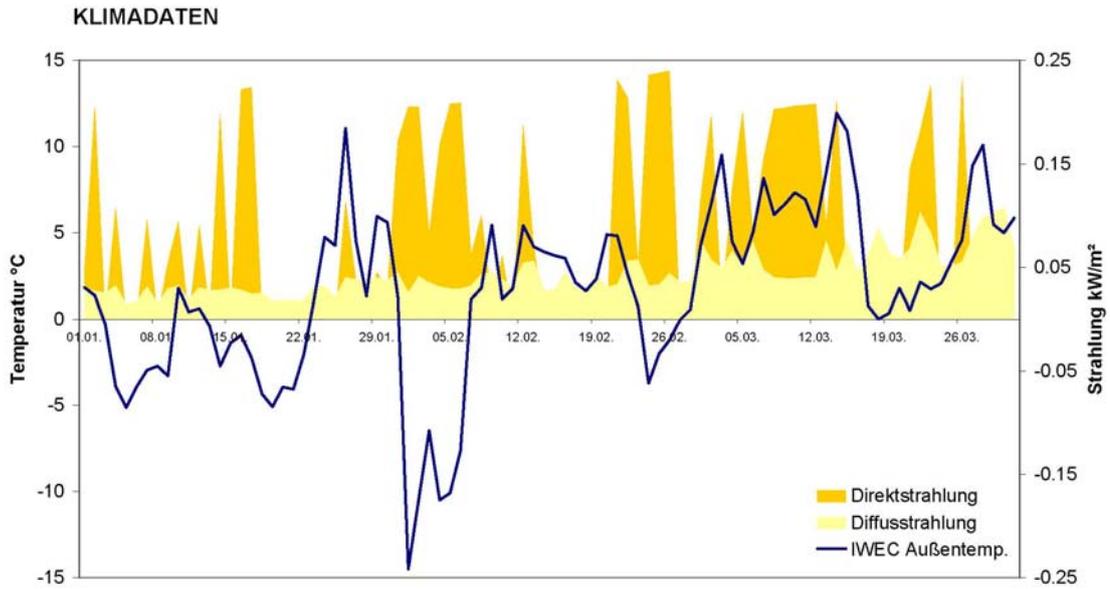


Diagramm 18: IWEK Wetterdaten 1.Jänner-31.März

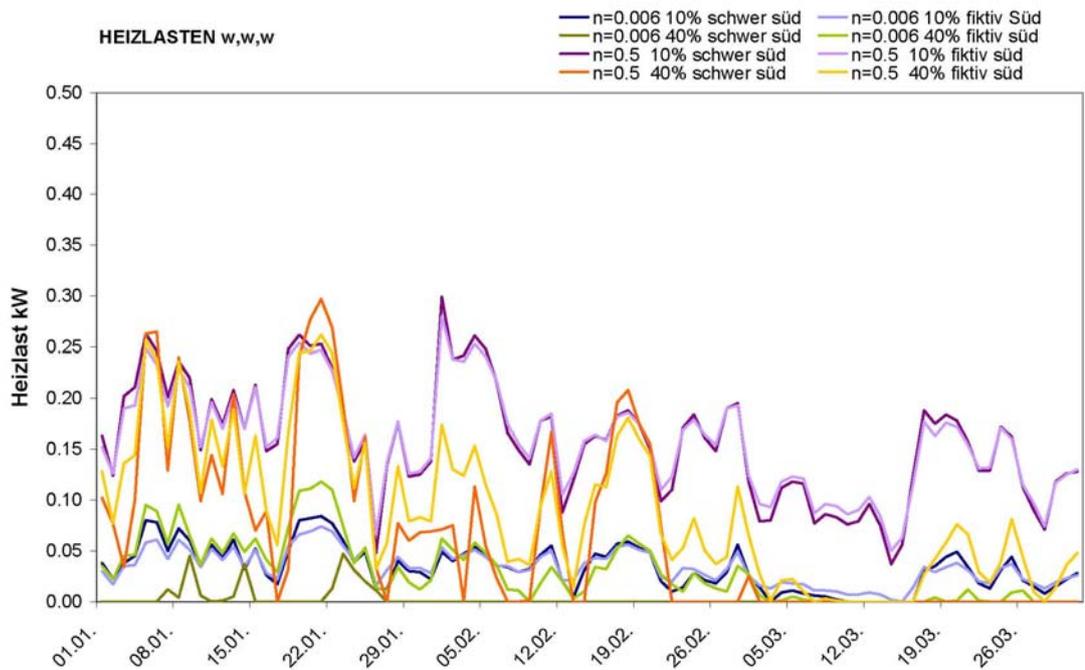


Diagramm 19: Zusammenstellung der Heizlasten mit Solarstrahlung, Infiltration und Lüftung berechnet, mittels Einbox und Fensterausrichtung Süden; Variation der Fenstergröße und Bauweise

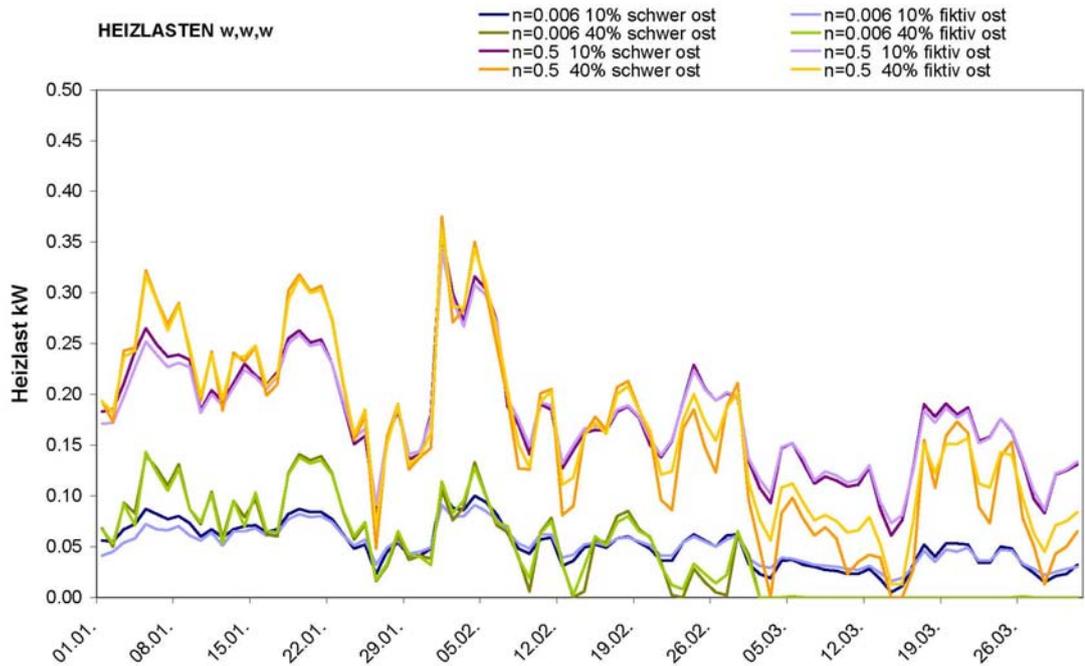


Diagramm 20: Zusammenstellung der Heizlasten mit Solarstrahlung, Infiltration und Lüftung berechnet, mittels Einbox und Fensterausrichtung Osten; Variation der Fenstergröße und Bauweise

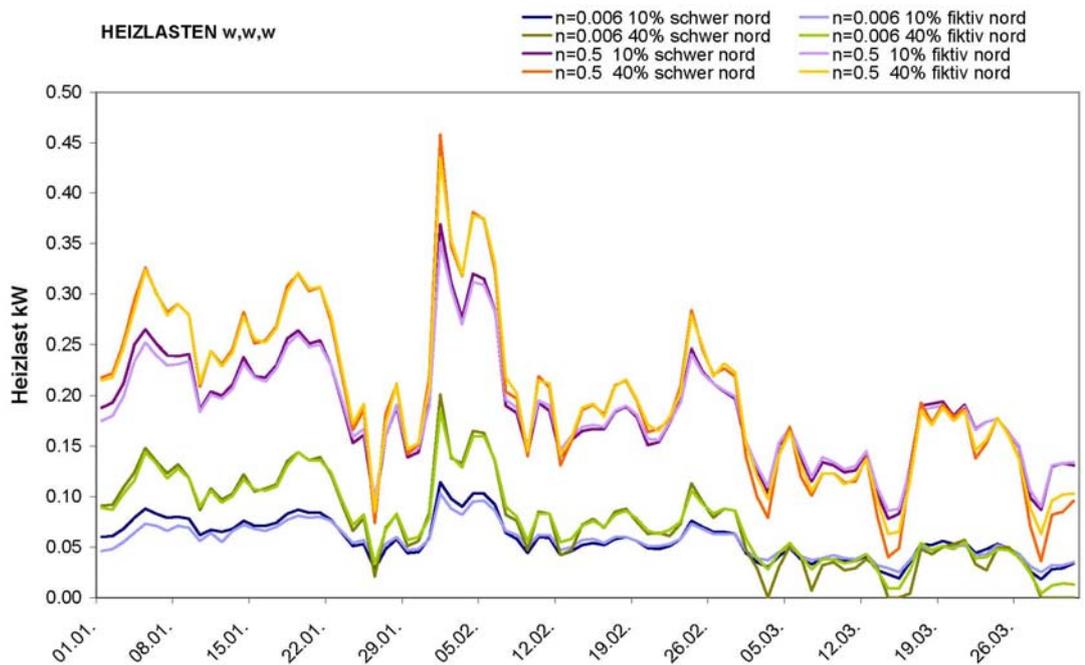


Diagramm 21: Zusammenstellung der Heizlasten mit Solarstrahlung, Infiltration und Lüftung berechnet, mittels Einbox und Fensterausrichtung Norden; Variation der Fenstergröße und Bauweise

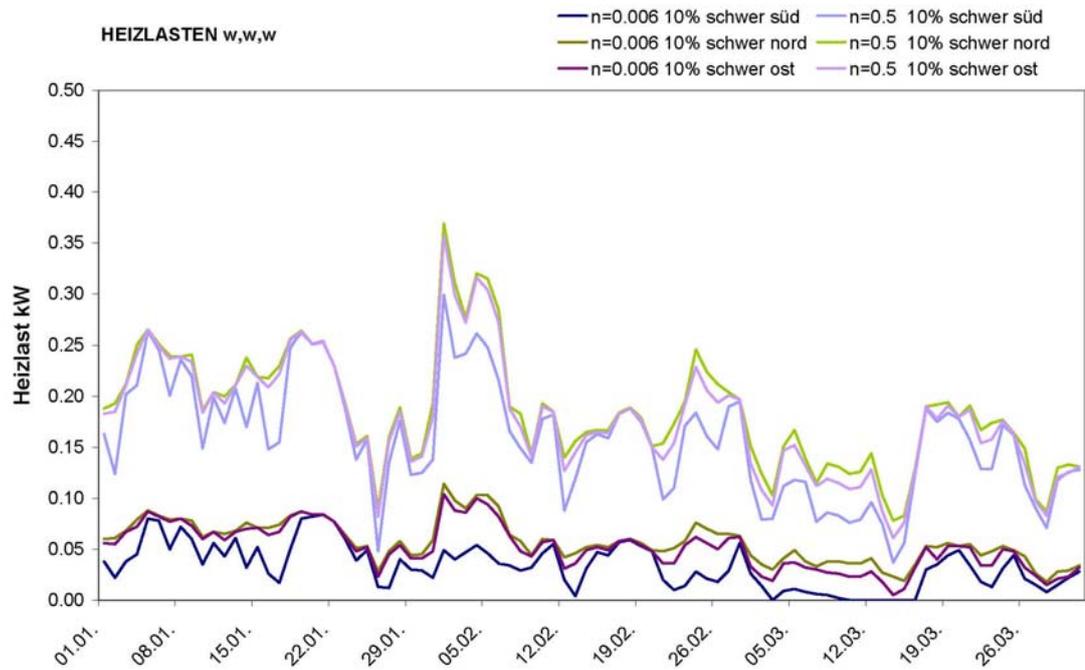


Diagramm 22: Vergleich der Heizlasten in Abhängigkeit der Orientierung der Fenster für schwere Bauweise und 10% Fensterfläche

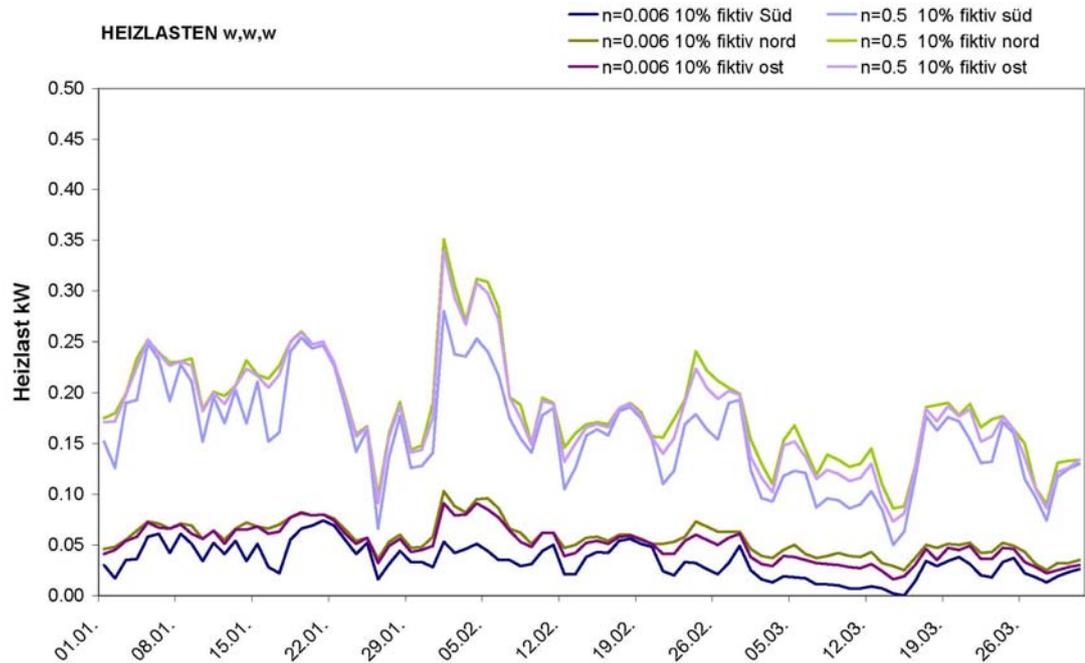


Diagramm 23: Vergleich der Heizlasten in Abhängigkeit der Orientierung der Fenster für fiktive Bauweise und 10% Fensterfläche

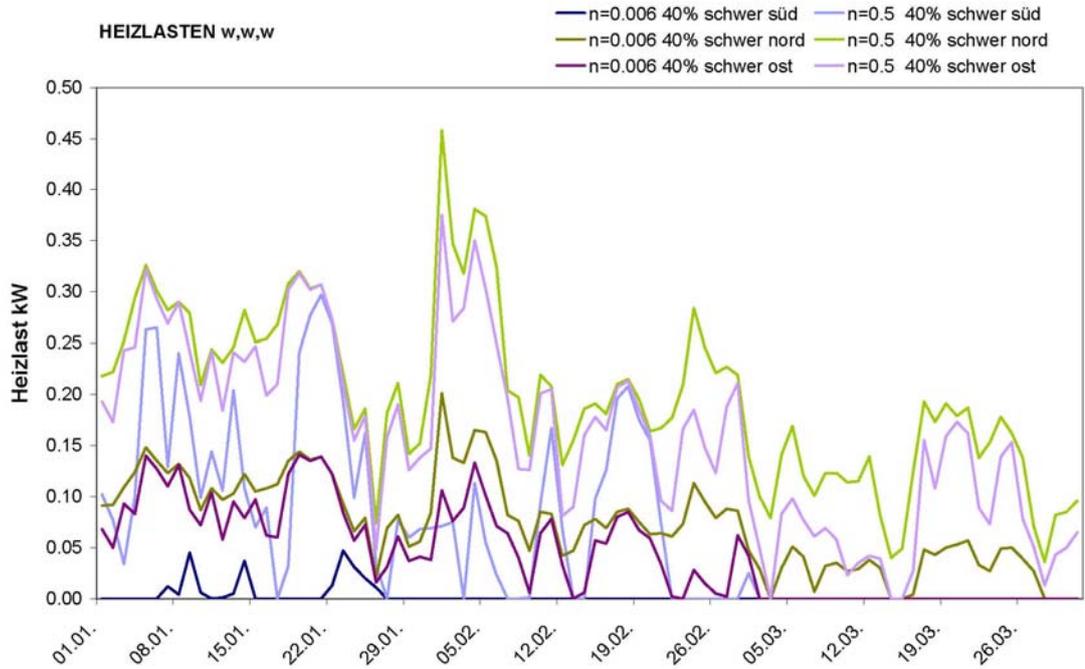


Diagramm 24: Vergleich der Heizlasten in Abhängigkeit der Orientierung der Fenster für schwere Bauweise und 40% Fensterfläche

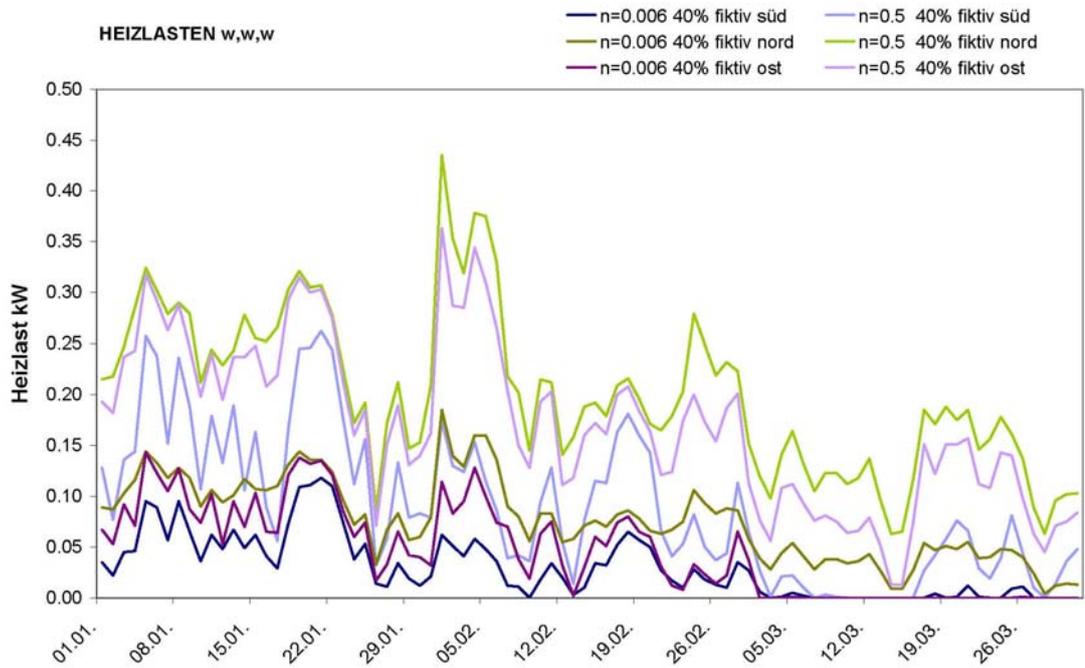


Diagramm 25: Vergleich der Heizlasten in Abhängigkeit der Orientierung der Fenster für fiktive Bauweise und 40% Fensterfläche

3.5 ERGEBNISSE ZWEIBOXMODELL

3.5.1 ERMITTLUNG $T_{i,n'}$

$T_{i,n'}$ entspricht der Temperatur des Nachbarräumens, die sich einstellt, wenn der Nachbarraum nicht beheizt wird. Es wurden hierfür vier Fälle definiert. In jedem Fall wurde allen Randflächen der Zweibox die Randbedingungen des beheizten Raumes zugeordnet. D.h. die Zweibox hat „warme“ Nachbarräume, die den Temperaturverlauf des beheizten Raumes der Zweibox haben und es erfolgt kein Wärmestrom.

Fall 1: beheizter und unbeheizter Raum liegen nebeneinander;
Verbindungsfläche:

$$U = 0.49 \text{ W/m}^2\text{K} \qquad A = 14.4 \text{ m}^2$$

Fall 2: beheizter und unbeheizter Raum liegen übereinander: beheizter Raum unten

$$U = 0.85 \text{ W/m}^2\text{K} \qquad A = 15.66 \text{ m}^2$$

Fall 3: beheizter und unbeheizter Raum liegen übereinander: beheizter Raum oben

$$U = 0.76 \text{ W/m}^2\text{K} \qquad A = 15.66 \text{ m}^2$$

Fall 4: entspricht Fall 1 mit dem Unterschied, dass es keine Wärmerückgewinnung beim unbeheizten Nachbarn gibt

Die Ermittlung von $T_{i,n'}$ erfolgte auf 3 verschiedene Arten zu Vergleichszwecken an den beiden zuvor bestimmten Auslegungstagen.

3.5.1.1 Verwendung der in 3.4.4 Auslegungstage ermittelten Werte

$$\begin{aligned}
 \text{Heizlast}_i &= \left[\sum_n A_n \cdot U_n + \sum_m I_m \cdot \psi_m \right] \cdot (T_i - T_{eT}) \\
 &+ 0,34 \cdot (\dot{V}_{\text{inf}} + \dot{V}_{\text{mech,inf}} + n_{\text{anlage}} \cdot (1-\eta) \cdot V) \cdot (T_i - T_{eL}) \\
 &+ \sum_{n'} A_{n'} \cdot U_{n'} \cdot (T_i - T_{i,n'}) \\
 &- \sum_k A_{g,k} \cdot g_k \cdot \text{versch}_k \cdot P_{\text{Solar},k} \cdot 0,9 \\
 &- P_{\text{intern}}
 \end{aligned}$$

Formel 13

$$T_{i,n'} = - \frac{\text{Heizlast}_i - \left[\left(\sum A_n \cdot U_n \right) \cdot (T_i - T_{eT}) + 0,34 \cdot (\dot{V}_{\text{inf}} + n_{\text{anlage}} \cdot (1-\eta) \cdot V) \cdot (T_i - T_{eL}) - A_{g,k} \cdot g_k \cdot \text{versch}_k \cdot 0,9 \cdot P_{\text{Solar},k} \right]}{\sum (A_{n'} \cdot U_{n'})} + T_i$$

Formel 19

Die Heizlast wurde mittels Zweibox ermittelt. Diese wurde mit schwerer Bauweise, 10% Fensterfläche und Südorientierung angenommen.

Die Eingangsparameter für den beheizten Raum waren Heizung, Kühlung, Infiltration und mechanische Lüftung. Der unbeheizte Nachbarraum wurde nur mit Infiltration und mechanischer Lüftung (mit Wärmerückgewinnung) angesetzt. Die Wetterdaten enthielten Solarstrahlung. Die beiden Boxen haben ein Fenster und verzeichnen somit solare Gewinne.

3.5.1.2 Heizlastdifferenz aus Simulationen

$$T_{i,n'} = - \frac{\text{Heizlast}_{\text{Zweibox}} - \text{Heizlast}_{\text{Einbox}}}{\sum U_n \cdot A_n} + T_i \quad \text{Formel 20}$$

Die Heizlast_{Zweibox} entspricht der Heizlast aus 3.5.1.1 und Heizlast_{Einbox} jener aus 3.4.3 Ermittlung P_{solar}.

3.5.1.3 Operative Temperaturen aus der Simulationen

Topoperative Temperatur entspricht der empfundenen Temperatur, sie errechnet sich aus der Lufttemperatur und der Temperatur der Umgebungsflächen.

| | FALL 1 | | FALL 2 | | FALL 3 | | FALL 4 | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1.Feb | 21.Jän | 1.Feb | 21.Jän | 1.Feb | 21.Jän | 1.Feb | 21.Jän |
| 1. Auslegungstage | 18.94 | 18.61 | 19.44 | 19.04 | 19.12 | 18.92 | 15.85 | 14.96 |
| 2. Heizlastdifferenz | 18.88 | 18.31 | 19.40 | 18.88 | 19.08 | 18.57 | 15.78 | 14.94 |
| 3. Simulation Top | 18.91 | 18.33 | 19.20 | 18.79 | 19.33 | 18.59 | 16.09 | 15.17 |

Tabelle 15: Ergebnisse für $T_{i,n}$ in °C

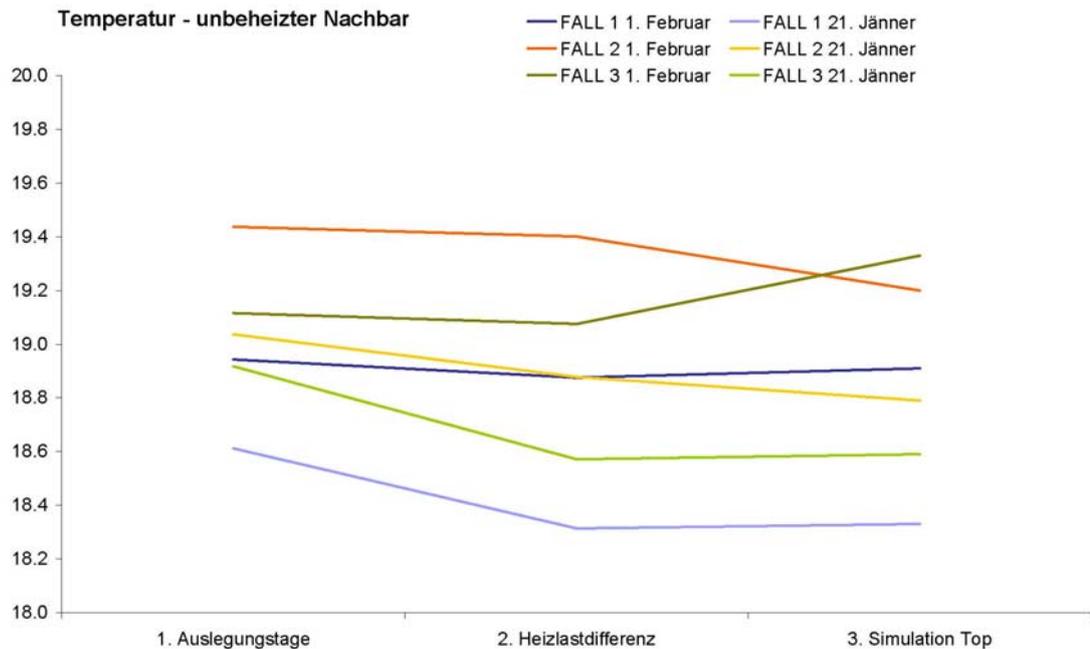


Diagramm 26: Temperatur des unbeheizten Nachbarn, aus Tabelle 15

Maßgebend für den Fall 1 ist der 21. Jänner (kalt und trüb). Die wärmste Temperatur stellt sich beim Nachbarn am 1. Februar (eisig und sonnig) im Fall 2 ein. Am 1. Februar bleibt es im Vergleich zum 21. Jänner immer wärmer, weil es sehr sonnig ist und auch der unbeheizte Nachbar solare Gewinne hat.

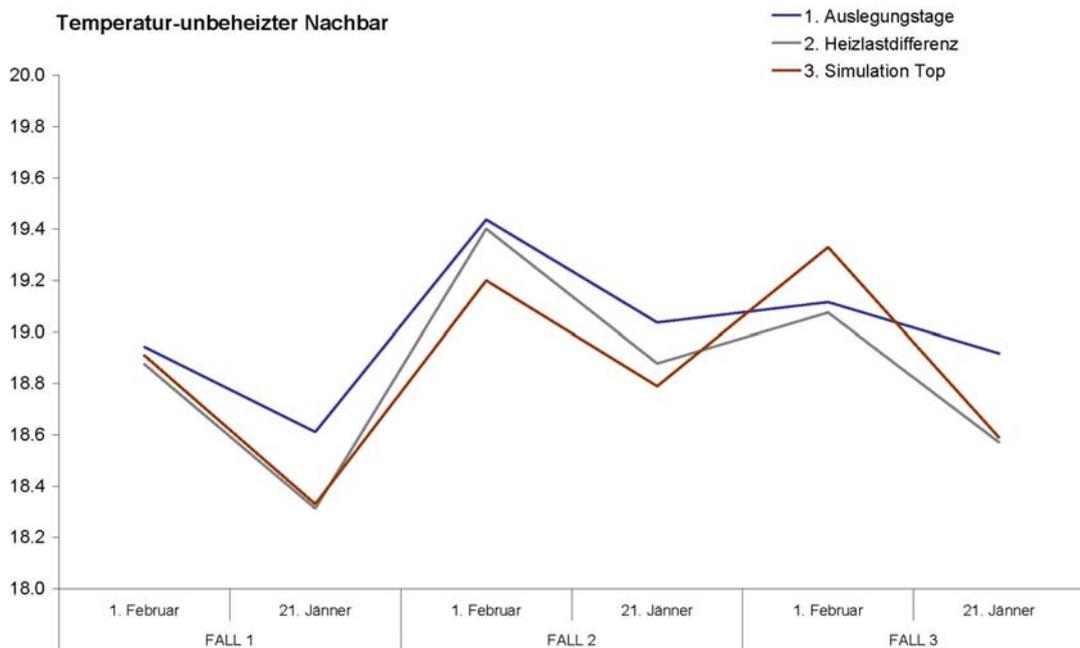


Diagramm 27: Temperatur des unbeheizten Nachbarn, aus Tabelle 15

Temperatur in nicht beheizten Nachbarräumen [ÖN083]

In der Norm gibt es eine Zusammenstellung der Temperaturen in nicht beheizten Nachbarräumen in Abhängigkeit der Außentemperatur.

Temperatur in Nachbarräumen [JAU99]

Bei Nachbarräumen oder Nachbarwohnungen, welche üblicherweise beheizt sind, aber nicht von der zu berechnenden Anlage versorgt werden, ist einheitlich eine Temperatur von +15°C anzusetzen, da dieser Wert wegen der guten thermischen Kopplung über die Innenflächen auch bei teil- und zeitweiser Beheizung kaum unterschritten wird. Durch die Möglichkeit der individuellen Raumtemperaturregelung durch Änderung der Wohnungsbelegung und -nutzung muss man dem Nutzer eines Gebäudes jederzeit die Möglichkeit einräumen durch eine teilweise eingeschränkte Beheizung den Heizenergieverbrauch zu senken.

Bei diesen fremdbeheizten Nachbarräumen ist der dadurch auftretende zusätzliche Wärmeverlust bei der Heizlast zu berücksichtigen.

Diesbezüglich wurde in den Zweibox-Simulationen bei den unbeheizten Nachbarn nur die Heizung und Kühlung ausgesetzt. Die mechanische Lüftung wurde mit der Wärmerückgewinnung beibehalten.

Im Folgenden wird die Temperatur unbeheizter Nebenräume nach ÖNORM M 7500 ermittelt:

ÖNORM M 7500: TEMPERATUREN UNBEHEIZTER NEBENRÄUME

Für einige wesentliche Fälle sind Temperaturen unbeheizter Nebenräume in der ÖNORM M 7500 Teil 4 [ÖNO83] angegeben. Die Temperatur eines Raumes kann bei stationären Bedingungen aus der Energiebilanz des Raumes wie folgt berechnet werden:

$$t_u = \frac{\sum(U \cdot A \cdot t)_i + \sum(U \cdot A \cdot t)_e + \dot{V} \cdot \rho \cdot c \cdot t_{zul}}{\sum(U \cdot A)_i + \sum(U \cdot A)_e + \dot{V} \cdot \rho \cdot c} \quad \text{Formel 21}$$

- t_i Berechnungs-Raumtemp. der angrenzenden beheizten Räume
- t_{zul} Zulufttemperatur [°C]
- t_u Temperatur des unbeheizten Raumes [°C]
- t_e Außenlufttemperatur [°C]
- V_R Raumvolumen [m³]
- \dot{V} Volumenstrom [m³/s]
- n_L Luftwechsel [s-1]
- A Fläche [m²]
- U Wärmedurchgangskoeffizient [W/m²K]

- Index e Bauteile, mit denen der unbeheizte Raum an die Außenluft grenzt
- Index i Bauteile, mit denen der unbeheizte Raum an beheizte grenzt

Bei den Berechnungen nach ÖNORM M 7500 wurden Infiltration und mechanische Lüftung gesplittet.

Volumenstrom Infiltration $\dot{V}_I = n V_R$

Volumenstrom mech. Lüftung (aus Kapitel 3.3) $\dot{V}_L = 0.0062 \text{ m}^3/\text{s}$

mit WRG $\eta=80\%$, $\dot{V}_L \cdot (1-\eta)$ $\dot{V}_L = 0.00093 \text{ m}^3/\text{s}$

Außenlufttemperatur für Transmissionsverlust -12°C

Außenlufttemperatur für Infiltrationsverluste -12°C

Zulufttemperatur für mechanische Lüftung t_{zul}

Es ergeben sich folgende Temperaturen t_u für den unbeheizten Raum:

| $n = 0.5 \text{ h}^{-1}$ | 0.006 h^{-1} | |
|--------------------------|------------------------|---|
| 18.28°C | 18.28°C | nur Transmissionsverluste |
| 10.89°C | 14.03°C | mit Lüftungsverlusten, ohne WRG und $t_{zul} = -12^\circ\text{C}$ |
| 13.54°C | 17.51°C | mit Lüftungsverlusten, WRG und $t_{zul} = -12^\circ\text{C}$ |
| 14.09°C | 18.14°C | mit Lüftungsverlusten, WRG und $t_{zul} = 15^\circ\text{C}$ |

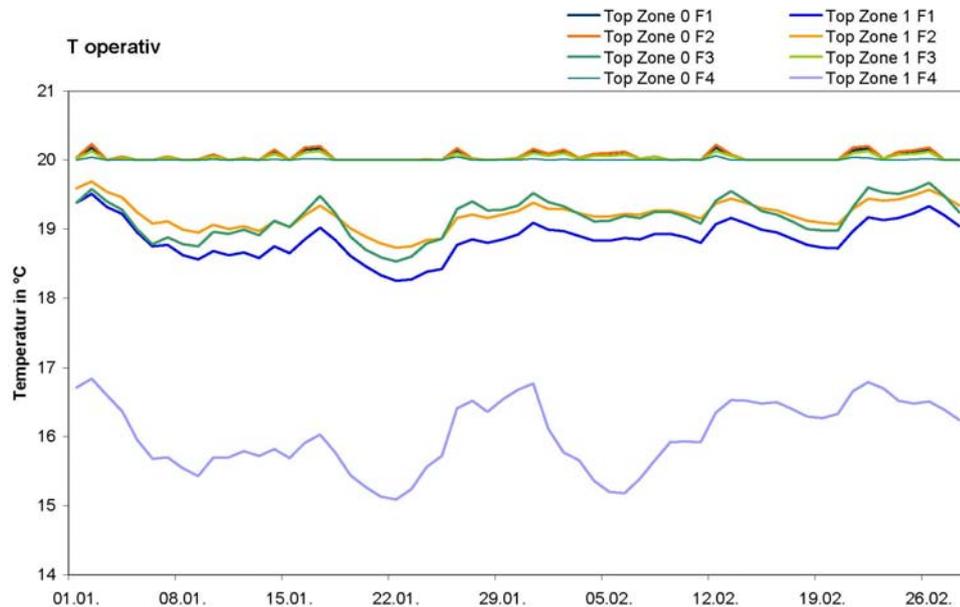


Diagramm 28: operative Temperaturen aus der Simulation mit BSim2000 in unbeheizten und beheizten Zonen der Zweibox (F1, F2, F4: Zone 0 beheizt; F3: Zone 1 beheizt)

Fall 4 entspricht Fall 1 mit dem Unterschied, dass es keine Wärmerückgewinnung bei der mechanischen Lüftung des unbeheizten Nachbarn gibt.

In Diagramm 28 sind die operativen Temperaturen der beheizten und unbeheizten Zonen aus den Zweibox - Simulationen dargestellt.

Im Fall 1 hat die Verbindungswand zwischen beheizt und unbeheizt die geringere Fläche und den niedrigsten U-Wert. Aus diesem Grund bekommt der Nachbar nicht so viel Wärme und ist daher kühler als in den anderen Fällen.

Die niedrigste Temperatur ergibt sich in jedem Fall mit Südorientierung am 22. Jänner und ist im Fall 1 18.25°C. Das heißt bei ausgeschalteter Heizung

aber laufender mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung ist dies die minimal erreichbare Temperatur der unbeheizten Zone.

Dies entspricht der Temperatur für unbeheizte Nachbarn berechnet nach ÖNORM M 7500 (mit Lüftungsverlusten und WRG), wenn die Zulufttemperatur $t_{zul} = +18^{\circ}\text{C}$ beträgt.

Um eine Raumtemperatur von $+15^{\circ}\text{C}$, wie in der ÖNORM M 7500 für fremdbeheizte Räume angegeben ist, zu erreichen, muss bei der Berechnung mit einem Infiltrationsluftwechsel von $n = 0.5 \text{ h}^{-1}$ eine Außen- und Zulufttemperatur von -4.7°C angesetzt werden. Im Falle eines Infiltrationsluftwechsels von $n = 0.006 \text{ h}^{-1}$ können die 15°C Innentemperatur nur ohne Wärmerückgewinnung und einer Außen- und Zulufttemperatur von -6.5°C erreicht werden.

In den Simulationen wird diese Temperatur annähernd (15.12°C) im Fall 4 (ohne Wärmerückgewinnung) erreicht.

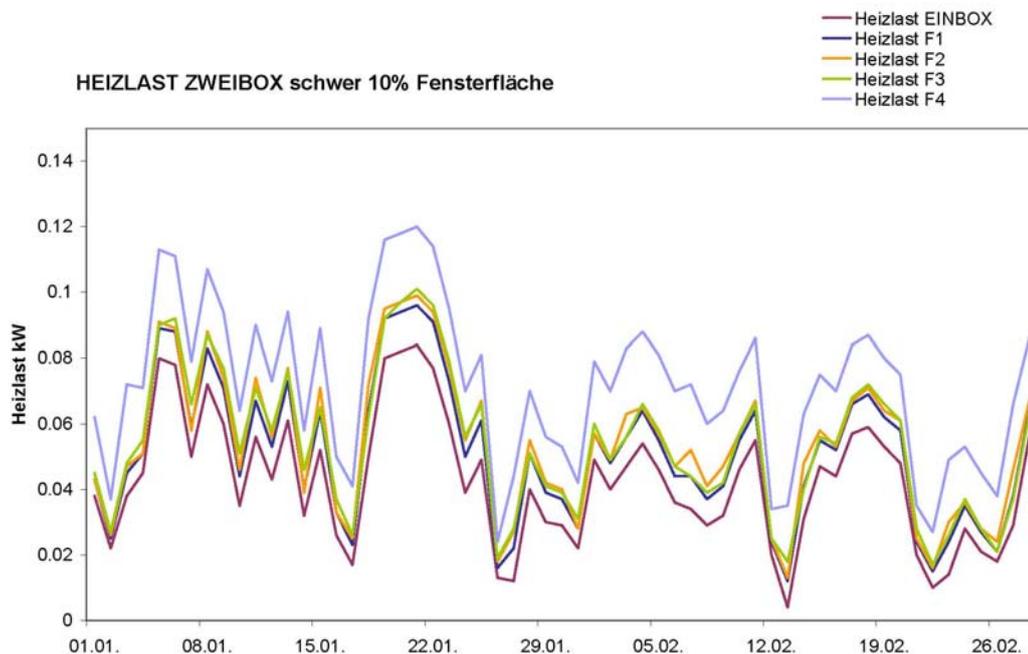


Diagramm 29: Heizlasten zu den 4 Fällen gegenüber Heizlast Einbox

4 VERGLEICH ÖNORM M 7500 UND STATIONÄRER BERECHNUNG MIT AUSLEGUNGSWERTEN

Die Auslegungswerte für die stationäre Berechnung stammen aus dem Kapitel 3.4.4. Die ÖNORM M 7500 kennt keinen Unterschied bezüglich Bauweise und Fensterorientierung.

In den folgenden Diagrammen sind die Heizlasten an den Auslegungstagen zusammengestellt. Die Heizlasten aus der Simulation, aus der stationären Berechnung nach Formel 13 mit Auslegungswerten und der Berechnung nach ÖNORM M 7500 werden gegenübergestellt. Dies erfolgt für die beiden Auslegungstage, aufgesplittet nach der Fenstergröße und -orientierung. Die orientierungsweise Aufteilung wurde durchgeführt, um die Unterschiede aus den Zusammenfassungen der berechneten solaren Gewinnen und der Simulationen im Vergleich zur ÖNORM, die immer einen konstanten Wert liefert, darzustellen.

Die Simulation erfolgte mittels Einbox unter Berücksichtigung von Heizung, Kühlung, Infiltration, mechanische Lüftung und Wetterdaten mit Solarstrahlung.

| | T_{eT} | T_{eL} | P süd | P ost | P nord |
|---------------|----------|----------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 01.Feb | -14.5°C | -14.0°C | 60 Wm ⁻² | 23 Wm ⁻² | 9 Wm ⁻² |
| 21.Jän | -4.0°C | -4.0°C | 6 Wm ⁻² | 6 Wm ⁻² | 6 Wm ⁻² |

Tabelle 16: Zusammenstellung der Werte für die Berechnung an Auslegungstagen

In Tabelle 16 ist die Zusammenfassung der Ergebnisse aus Tabelle 13 aufgelistet. Die Werte sind die Minima aus den berechneten Parametern der Auslegungstage, aber zu den Mittelwerten dieser orientiert. D.h. einzelne „Ausreißer“ wurden nicht berücksichtigt. Da die -17.5°C am 1. Februar vermutlich aus einer Überkompensation der Heizlast bei 40% Fensterfläche (Diagramm 6) stammen und die tatsächliche Temperatur an diesem Tag -14.5°C beträgt, wurden für den Auslegungstag 1. Februar -14.5°C angesetzt.

Ergebnisse der Berechnung nach ÖNORM M 7500:

Die Berechnung erfolgte mit den Eingangswerten nach Tabelle 11. Der verwendete Wärmeverlustkoeffizient für Fenster und Türen ist hier $w_F = 0.2$.

| | 10% Fensterfläche | 40% Fensterfläche | |
|-------------------------|-------------------|-------------------|----------|
| P_D | 79.49 W | 171.63 W | Formel 5 |
| P_R | 201.31 W | 201.31 W | Formel 8 |
| P_F | 9.60 W | 16.01 W | Formel 7 |
| P_Z | 210.91 W | 217.32 W | Formel 6 |
| P_n | 290.40 W | 388.96 W | Formel 9 |

In P_D fließen die Außenwand und das Fenster mit der Fläche und dem zugehörigen U-Wert ein. Dieser Transmissionsanteil trägt markant zur Heizlastdifferenz der beiden Fenstergrößen bei.

P_R ist nur vom Raumvolumen abhängig, das in beiden Fällen gleich groß ist.

P_F ist abhängig von der Fensterfläche. P_Z ist die Summe von P_R und P_F .

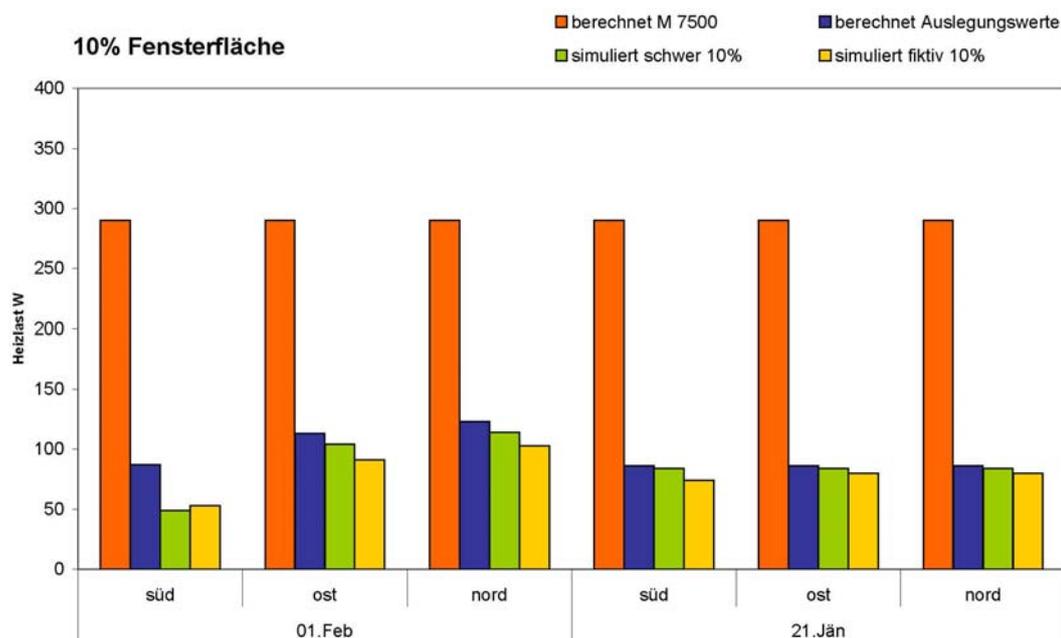


Diagramm 30: Vergleich der Heizlasten simuliert, stationär berechnet mit ermittelten Auslegungswerten und berechnet nach ÖNORM M 7500; 10% Fensterfläche

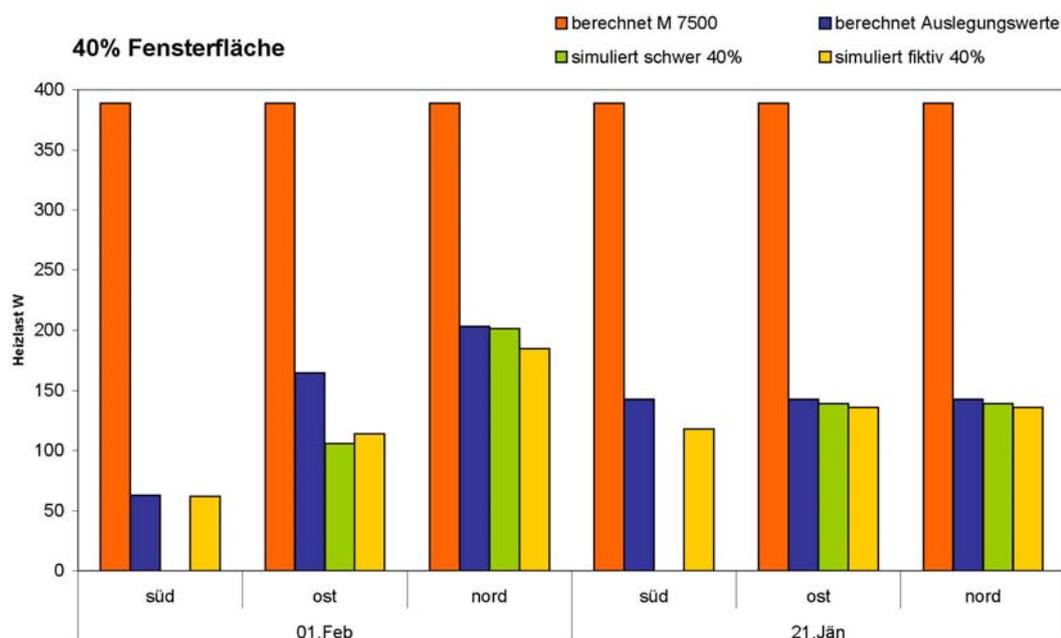


Diagramm 31: Vergleich der Heizlasten simuliert, stationär berechnet mit ermittelten Auslegungswerten und berechnet nach ÖNORM M 7500; 40% Fensterfläche

Wie bereits erwähnt ist bei Nord- und Ostorientierung für fast alle Bauweisen und Fensterflächen der 1. Februar maßgebend für die Heizlast. Die Ausnahme bildet nur die fiktive Bauweise mit 40% Fensterfläche in Ostorientierung.

Dieser Tag ist sehr kalt und sonnig, wodurch sich in der Berechnung für die verschiedenen Ausrichtungen große Unterschiede ergeben. Im Vergleich dazu weisen die Heizlasten der verschiedenen Ausrichtungen kaum Unterschiede

auf am 21. Februar. Die Einbox mit 40% Fensterfläche und schwerer Bauweise weicht dabei signifikant ab.

01.Feb

| 10% Fensterfläche | Süd | | Ost | | Nord | |
|---------------------------|------------|-----|------------|-----|-------------|-----|
| berechnet Auslegungswerte | 87 | 100 | 113 | 100 | 123 | 100 |
| berechnet M 7500 | 290 | 333 | 290 | 257 | 290 | 236 |
| simuliert schwer | 49 | 56 | 104 | 92 | 114 | 93 |
| simuliert fiktiv | 53 | 61 | 91 | 81 | 103 | 84 |
| 40% Fensterfläche | Süd | | Ost | | Nord | |
| berechnet Auslegungswerte | 63 | 100 | 165 | 100 | 203 | 100 |
| berechnet M 7500 | 389 | 617 | 389 | 236 | 389 | 192 |
| simuliert schwer | 0 | 0 | 106 | 64 | 201 | 99 |
| simuliert fiktiv | 62 | 98 | 114 | 69 | 185 | 91 |

21.Jän

| 10% Fensterfläche | Süd | | Ost | | Nord | |
|---------------------------|------------|-----|------------|-----|-------------|-----|
| berechnet Auslegungswerte | 86 | 100 | 86 | 100 | 86 | 100 |
| berechnet M 7500 | 290 | 337 | 290 | 337 | 290 | 337 |
| simuliert schwer | 84 | 98 | 84 | 98 | 84 | 98 |
| simuliert fiktiv | 74 | 86 | 80 | 93 | 80 | 93 |
| 40% Fensterfläche | Süd | | Ost | | Nord | |
| berechnet Auslegungswerte | 143 | 100 | 143 | 100 | 143 | 100 |
| berechnet M 7500 | 389 | 272 | 389 | 272 | 389 | 272 |
| simuliert schwer | 0 | 0 | 139 | 97 | 139 | 97 |
| simuliert fiktiv | 118 | 83 | 136 | 95 | 136 | 95 |

Tabelle 17: Ergebniszusammenstellung und Faktoren bezüglich Auslegungswert

In Tabelle 17 sind die Heizlasten aus Diagramm 30 und Diagramm 31 zusammengestellt (hervorgehobene Werte). Die daneben stehenden Werte sind Prozentangaben in Bezug auf die Heizlast „berechnet mit Auslegungswerten“.

Kein Ergebnis erhält man für die Simulation der Einbox mit 40% Fensterfläche, südorientiert und schwerer Bauweise, da hier die Heizlast gleich 0 ist.

Am 21. Februar gibt es keine Direktstrahlung, wodurch sich keine Unterschiede in Abhängigkeit der Fensterorientierung ergeben.

Es zeigt sich, dass das Verfahren zur Heizlastberechnung eines Passivhauses nach ÖNORM M 7500 ungeeignet ist. In Bezug zur stationären Berechnung mit den ermittelten Werten an den Ausgleichstagen überschätzt die Norm die Heizlast etwa um das 3-fache. Hier zeigt sich, dass ein Gebäude (Raum) trotz der baulichen Maßnahmen eines Passivhaus (U-Werte, luftdichte Ausführung der Gebäudehülle) nach ÖNORM M 7500 die geforderte Heizlast von 10 W/m^2 (Tabelle 18) nicht erreicht. Das Problem dabei ist die aus der Berechnung resultierende notwendige Heizleistung, womit auf ein konventionelles Heizsystem nicht verzichtet werden kann. Dieses Heizsystem wird dabei auch noch überdimensioniert.

Generell sind die angenommenen Auslegungswerte gut gewählt, sodass sich die damit berechneten Heizlasten den Simulationsergebnissen angleichen.

In Relation zu einem Passivhaus wurden relativ schlechte Fenster gewählt. Dies zeigt sich besonders bei 40% Fensterfläche (ca 70% der Außenwandfläche). In diesem Fall wird die erforderliche Heizlast von 10 W/m^2 in Ost- und Nordorientierung nicht erreicht. In Südorientierung werden diese hohen Verluste durch die solaren Gewinne mehr als ausgeglichen. Macht man jedoch keinen Unterschied zwischen den Orientierungen, und setzt die minimalen solaren Gewinne (6 W/m^2 vom 21. Jänner) zusätzlich zu den sehr tiefen Temperaturen vom 1. Februar an, ergeben sich für 40% Fensterfläche 13.5 W/m^2 Heizlast. Bei gleich bleibendem U-Wert der Außenwand, wäre somit ein Wärmedurchgangskoeffizient von $0.56 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$ (Passivhaus $U_w \leq 0.8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) der Fenster nötig, um unter die 10 Wm^{-2} zu kommen.

Im Falle von 10% Fensterfläche sind die solaren Gewinne bzw. die Transmissionsverluste nicht so gravierend, was sich auch in der Heizlast niederschlägt. Berechnet man hier die Heizlast mit minimalen solaren Gewinnen und den niedrigen Temperaturen des 1. Februar ergibt sich eine Heizlast von 8 W/m^2 .

| 10% Fensterfläche | 01.Feb | | | 21.Jän | | |
|---------------------------|---------------|------------|-------------|---------------|------------|-------------|
| | Süd | Ost | Nord | Süd | Ost | Nord |
| berechnet Auslegungswerte | 5.6 | 7.2 | 7.8 | 5.5 | 5.5 | 5.5 |
| berechnet M 7500 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 | 18.5 |

40% Fensterfläche

| | | | | | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|
| berechnet Auslegungswerte | 4.0 | 10.5 | 13.0 | 9.1 | 9.1 | 9.1 |
| berechnet M 7500 | 24.8 | 24.8 | 24.8 | 24.8 | 24.8 | 24.8 |

Tabelle 18: Heizlast in W/m^2 Nettogrundfläche

5 PRAKTISCHES BEISPIEL

MEHRFAMILIENWOHNHAUS

Bei dem praktischen Beispiel handelt es sich um ein Mehrfamilienwohnhaus mit 27 Wohneinheiten in Wien. Die Längsachse des Gebäudes ist Nord – Süd orientiert. Das Gebäude ist teilweise unterkellert und das umgebende Gelände ist bebaut, wodurch es zu einer teilweisen Verschattung kommt.

Die Berechnungen wurden mit dem Simulationsprogramm Buildopt [BEDO6] durchgeführt.

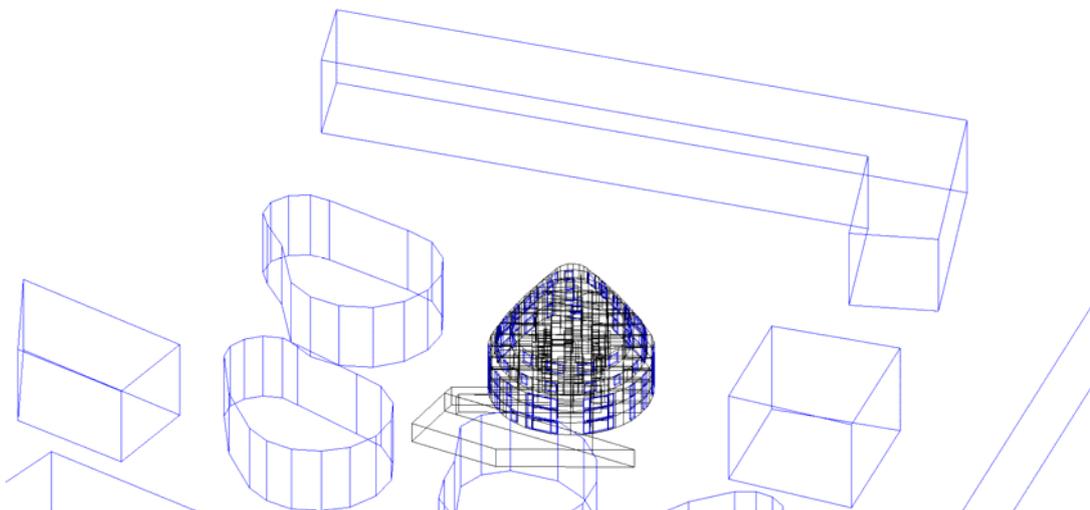


Abbildung 6: Bildausschnitt des Gebäudes mit den Nachbargebäuden aus buildopt; Perspektivische Darstellung 15.März 12:00 MEZ aus der Sonnenposition

| | | | | |
|------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| NORD | EG_top1 | 10G_top8 | 20G_top15 | 30G_top22 |
| NORD-OST | EG_top2 | 10G_top9 | 20G_top16 | 30G_top23 |
| OST | EG_top3 | 10G_top10 | 20G_top17 | 30G_top24 |
| SÜD-OST | EG_top4 | 10G_top11 | 20G_top18 | 30G_top25 |
| SÜD-WEST | EG_top5 | 10G_top12 | 20G_top19 | 30G_top26 |
| WEST | EG_top6 | 10G_top13 | 20G_top20 | 30G_top27 |
| NORD-WEST | EG_top7+14 | | 20G_top21 | 30G_top28 |

Tabelle 19: Orientierungen der Wohneinheiten

Das Gebäude wird für die Simulation mit einer semizentralen Lüftungsanlage ausgestattet (Fall 2+3 bzw. Fall anlsim). Das heißt:

- Zentrale Wärmerückgewinnung und Vorheizregister für den Frostschutz
- Dezentrales Nachheizregister pro Wohneinheit

Die Zuluftvolumina wurden nach hygienischen und thermischen Anforderungen festgelegt. Die Zuluft innerhalb der Wohneinheit wird in der Wohnküche und in den Schlafräumen mit der gleichen Zulufttemperatur eingebracht. Die Abluft wird in der Wohnküche, Bad und WC abgezogen, teilweise mit dem Vorraum als Überströmzone. Die Zulufttemperatur wird über ein Thermostat in der Wohnküche geregelt mit einer operativen Solltemperatur von 22°C.

5.1.1 Berechnungssysteme

5.1.1.1 Simulation

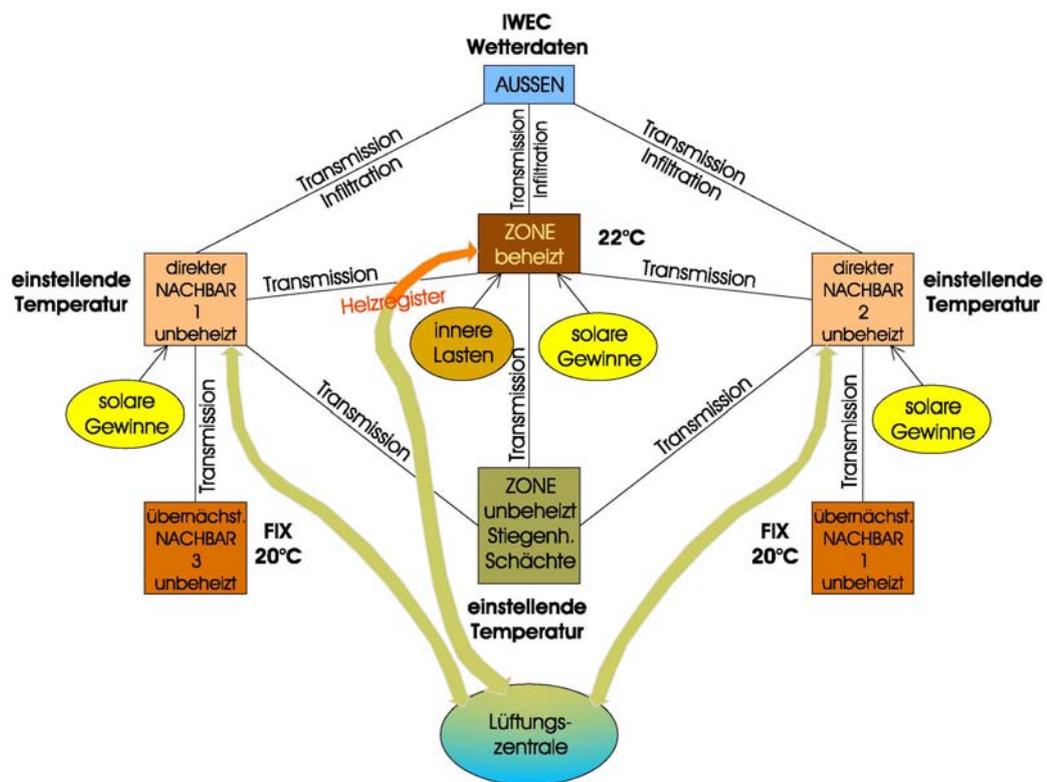


Abbildung 7: System für die Berechnung - Simulation

In Abbildung 7 sind die Zusammenhänge für die dynamische Berechnung dargestellt. Im Mittelpunkt steht die beheizte Zone, die auf eine operative Temperatur von 22°C beheizt wird und welcher innere Lasten zugeordnet werden können. Solare Gewinne über transparente Außenbauteile aus Diffus- und Direktstrahlung (IWEW – Wetterdaten) unter Berücksichtigung einer Verschattung in Abhängigkeit der Orientierung, Geometrie und Umgebung werden dabei berücksichtigt. Die Zone verliert Wärme durch Infiltration mit Außenluft und Transmission nach außen und zu unbeheizten Zonen.

Die Temperaturen der unbeheizten Nachbarn und der unbeheizten Zonen, wie Stiegehäuser, Schächte uä. ergeben sich aus den Wärmeverlusten und -gewinnen dieser Zonen. Der übernächste Nachbar der beheizten Zone wird fix mit einer operativen Temperatur von 20°C angenommen zur Reduzierung der Berechnungszeiten.

Zusätzlich zu den Lüftungsverlusten durch Infiltration in der beheizten Zone und den unbeheizten Nachbarn gibt es Verluste über die mechanische Lüftungsanlage. Die Abluft wird über eine Wärmerückgewinnungsanlage geführt, wodurch die Zulufttemperatur auf ca. 15°C erwärmt wird und die, der Zuluft zugeführten Frischluft wird mittels eines Vorheizregisters aus Frostschutzgründen auf 0°C erwärmt. Das Nachheizregister jeder Wohneinheit erwärmt die Zuluft auf die notwendige Temperatur, um die gewünschte operative Temperatur zu erreichen.

TOP 15 FALL 2

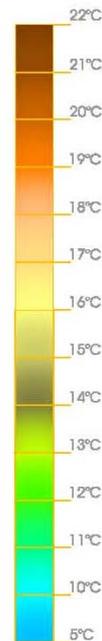
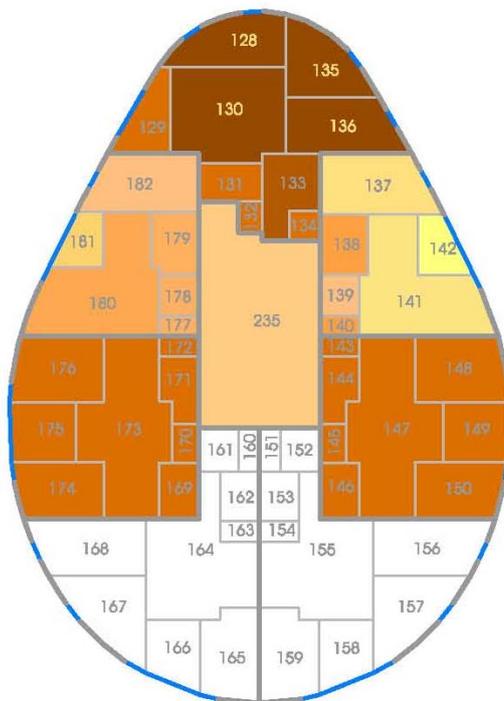


Abbildung 8:

Beispiel Top 15 beheizt:

Zonen in Top 15
(ansim)

- 128 Zimmer Zul
- 129 Veranda
- 130 Wohnküche Zul
- 131 Bad Abl
- 132 WC Abl
- 133 Vorraum
- 134 Abstellraum
- 135 Zimmer Zul
- 136 Zimmer Zul

Die übernächsten Nachbarn haben fix 20°C. Bei den direkten Nachbarn und im Stiegenhaus (235) stellen sich Temperaturen zwischen 16 und 20°C ein.

5.1.1.2 Stationäre Berechnung

Das System der stationären Berechnung ist prinzipiell gleich dem für die Simulation. Der Unterschied besteht in den statischen Wetterdaten und den zugehörigen solaren Gewinnen. Die Temperaturen für die Transmission, Lüftung und die Solarstrahlung sind Fixwerte aus Tabelle 16, den Auslegungstagen.

5.1.1.3 ÖNORM M 7500

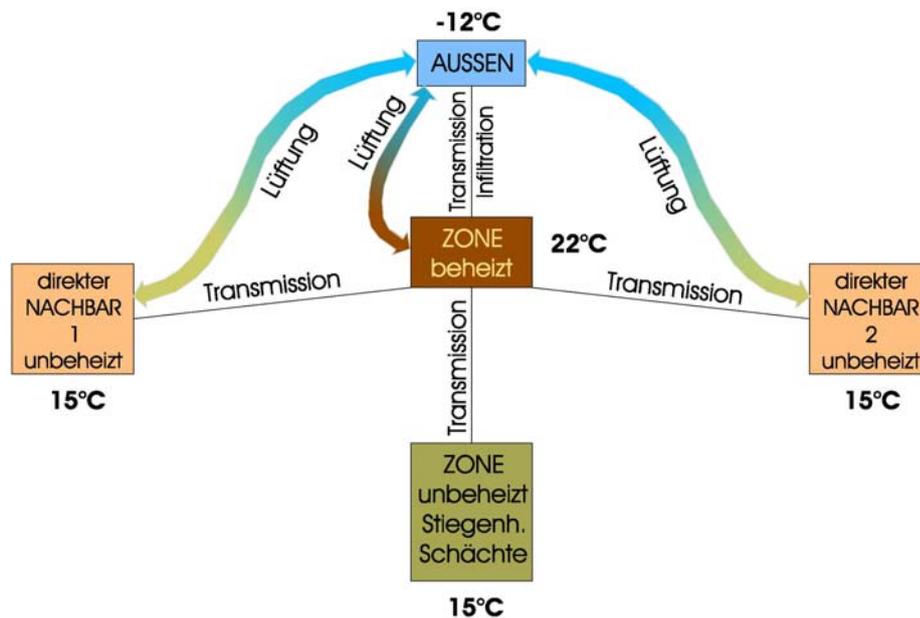


Abbildung 9: System für die Berechnung nach ÖNORM M 7500

Die Berechnung nach ÖNORM M 7500 ist in Kapitel 2.1 genauer beschrieben bzw. sind die Ergebnisse Abschätzungen nach Kapitel 2.4 (Heizlast).

5.1.1.4 Gegenüberstellung der Berechnungsarten

Die Berechnungsarten haben verschiedene Ansätze, d.h. es werden Verluste und Gewinne unterschiedlich berücksichtigt. Es wird hier versucht die Randbedingungen für die Berechnungen den Ansätzen entsprechend anzusetzen.

Die ÖNORM M 7500 berücksichtigt in der Berechnung keine Solarstrahlung, keine inneren Lasten und keine Wärmerückgewinnung ($q = 0 \text{ W/m}^2$, $n = 0.4 \text{ h}^{-1}$) und die Normaußentemperatur stammt aus einem Zweitagesmittel (Kapitel 2.1). Die Nachbarn werden als unbeheizt, mit einer Temperatur von 15°C betrachtet.

Die stationäre Berechnung mit den Auslegungswerten (1 Tagesmittel) berücksichtigt Solarstrahlung, innere Lasten ($q = 2.1 \text{ W/m}^2$), eine Wärmerückgewinnung mit einem Wirkungsgrad von 80%, womit sich eine Luftwechselzahl von $n = 0.4 \cdot (1 - 0.8) = 0.08 \text{ h}^{-1}$ ergibt und unbeheizten Nachbarn, deren Temperatur sich einstellt (ähnlich Abbildung 8).

Die Ergebnisse der Simulation „ansim“ stammen aus der Berechnung mit einer semizentralen Lüftungsanlage (unterschiedliche Luftwechselzahlen). Diese Heizlasten setzen sich zusammen aus der Leistung des Nachheizregisters der jeweiligen Wohneinheit und einem nach dem Zuluftvolumen der Wohneinheit gewichteten Anteil des Vorheizregisters. Die Nachbarn werden als unbeheizt (Abbildung 8) betrachtet und die inneren Lasten in den beheizten Zonen sind mit 2.1 W/m^2 festgelegt.

Die Simulation „sim ideal“ erfolgt in Anlehnung an die Simulation „ansim“, jedoch mit konstantem Luftwechsel ($n = 0.08 \text{ h}^{-1}$) und idealer Beheizung, d.h. jeder Raum der beheizten Wohneinheit wird konstant auf 22°C gehalten.

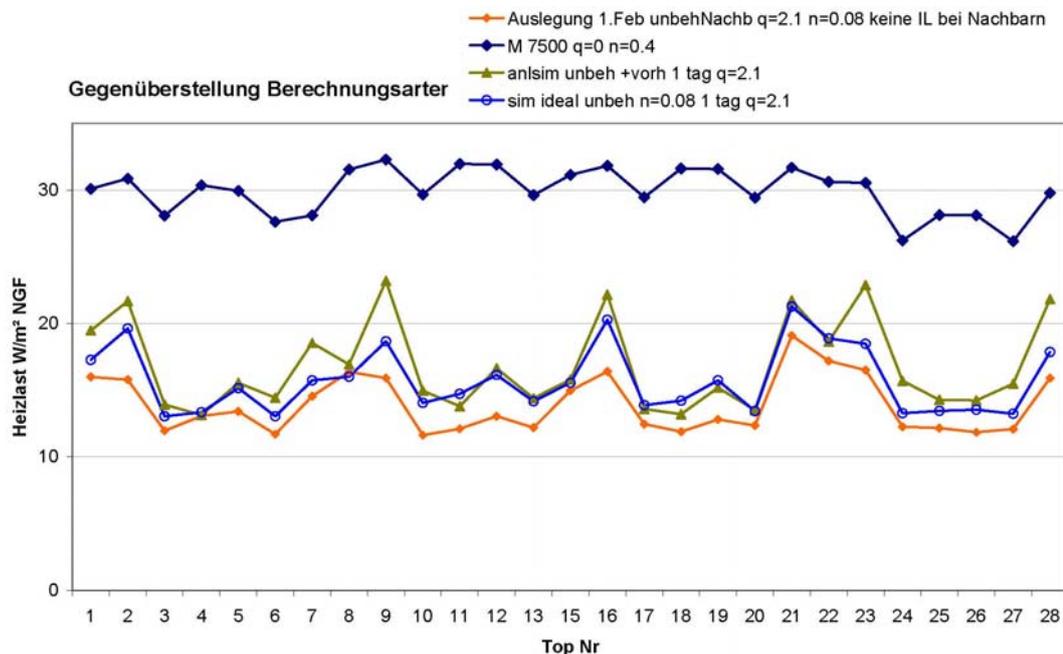


Diagramm 32: Heizlasten in W/m^2 für jede Wohneinheit berechnet nach M 7500, stationär mit Auslegungstagen, Simulation mit semizentraler Lüftungsanlage und Simulation mit konstantem Luftwechsel

Die Berechnung nach ÖNORM M 7500 liefert zum Teil bis zu 2.8 mal höhere Heizlasten als die anderen Berechnungen. Die Heizlasten aus der Simulation mit konstantem Luftwechsel liegen zwischen den Ergebnissen der Simulation

mit semizentraler Lüftungsanlage und stationärer Berechnung. Die Heizlastspitzen der Simulationen gibt es bei den Wohneinheiten mit Nordostorientierung (Tops 2, 9, 16, 23).

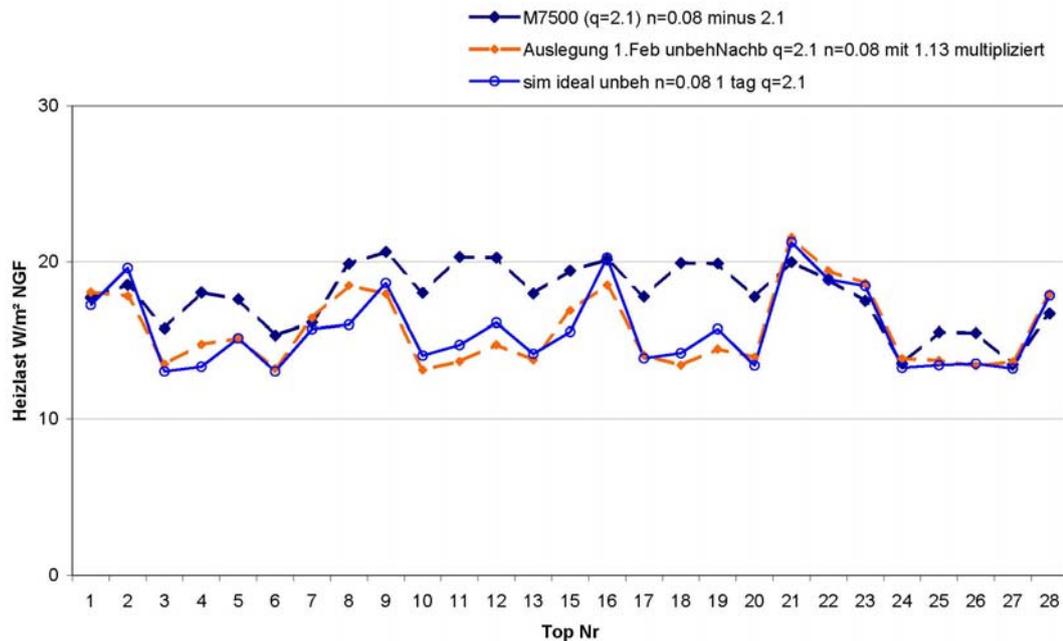


Diagramm 33: Heizlasten in W/m^2 für jede Wohneinheit berechnet nach M 7500 mit Luftwechsel $0.08\ h^{-1}$ (WRG), stationär mit Auslegungstagen mit einem Sicherheitsfaktor von 1.1 gegenübergestellt der Simulation mit konstantem Luftwechsel

Ein Vergleich der Berechnungsverfahren ist nur mit den gleichen Ansätzen möglich. Deshalb wurde wie im Diagramm 32 dargestellt die Berechnung nach ÖNORM M 7500 auch unter Berücksichtigung der Wärmerückgewinnung und innerer Wärmequellen durchgeführt und der Simulation mit konstantem Luftwechsel gegenübergestellt. Die großen Unterschiede sind auf die fehlenden solaren Gewinne, speziell bei den Südwohnungen (4, 5, 11, 12, 18, 19, 25, 26) zurückzuführen. Ansonsten passen die Ergebnisse gut zu jenen der Simulation.

Die Simulationen mit BSim2000 für die Berechnung der Auslegungstage zeigt, dass bei Berücksichtigung der solaren Gewinne die Transmissionsverluste etwas erhöht sind. Aus diesem Grund wurden die Ergebnisse der stationären Berechnung um 10% (Sicherheitsbeiwert 1.1) erhöht. Die Differenz der stationären Berechnung zur Simulation (sim ideal) entspricht im Mittel 13%.

5.1.2 Einflüsse

5.1.2.1 Unterschiede zwischen beheizten und unbeheizten Nachbarn

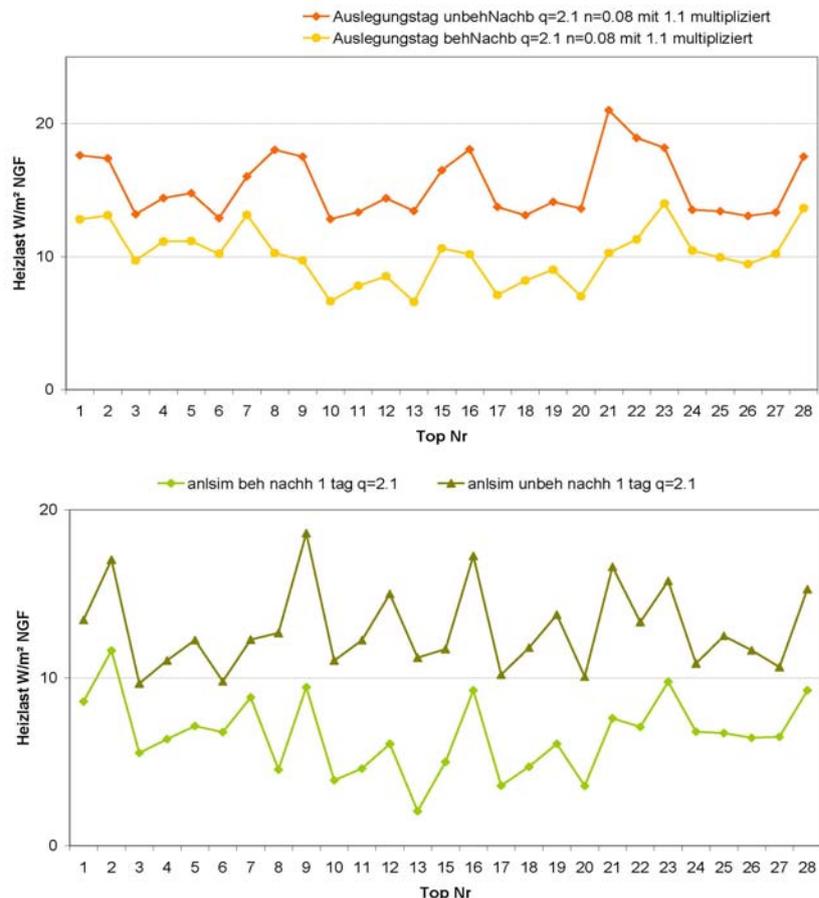


Diagramm 34: Unterschied Heizlast mit unbeheizten und beheizten Nachbarn

ansim unbeh-beh: Differenz in W/m^2 min 3.03, max 9.18, mittel 6.29
 Ausleg unbeh-beh Differenz in W/m^2 min 2.40, max 9.74, mittel 4.74

U-Werte

| | |
|------------------------------|---------------|
| Wand zu Nachbar, Stiegenhaus | 0.35 W/m^2K |
| Decke nach oben | 0.58 W/m^2K |
| Decke nach unten | 0.63 W/m^2K |

Temperaturdifferenz

| | | |
|----------------------|------|--------------|
| beheizte Zone | 22°C | |
| unbeheizte Zone etwa | 18°C | ⇒ 4 K |

Für eine etwa 70 m^2 große Wohnung ergeben sich hiermit Verluste von etwa 450 W (~6.5 W/m^2 NGF).

5.1.2.2 Semizentrale Lüftungsanlage

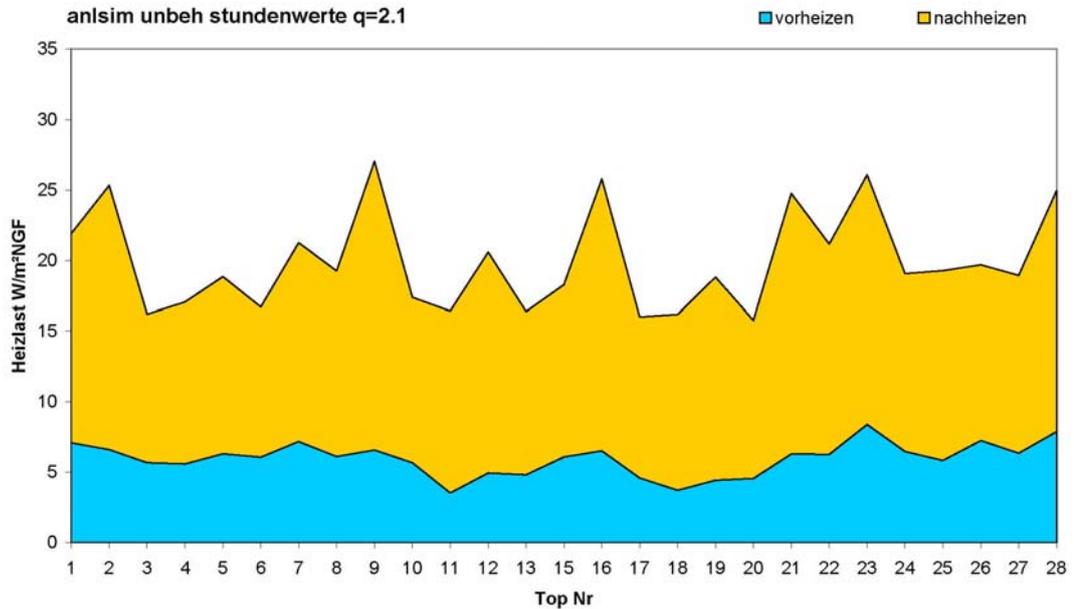


Diagramm 35: Aufspaltung der Leistung für Nachheizen und Vorheizen der Simulationsergebnisse „ansim“ mit semizentraler Lüftungsanlage

Der Anteil des Vorheizregisters beträgt bis zu 30% der Heizlast einer Wohneinheit bei unbeheizten Nachbarn und bis zu 60% bei beheizten Nachbarn.

Die Lüftungsverluste aufgrund der mechanischen Lüftungsanlage ergeben sich zu $0.34 \cdot n_{\text{anlage}} \cdot (1 - \eta) \cdot (T_i - T_{\text{zul}})$ (siehe Formel 13). Bei gleichen Luftwechselzahlen und Wirkungsgraden der Wärmerückgewinnung bildet die erforderliche Temperaturerhöhung den Unterschied. Diese ist bei der semizentralen Lüftungsanlage

| | | |
|------------|----------------------------|-------------|
| vorheizen | von -10°C auf 0°C | 10 K |
| nachheizen | $(1 - 0.8) \cdot (20 - 0)$ | <u>4 K</u> |
| | | 14 K |

und bei der stationäre Berechnung bzw. der Simulation mit konstantem Luftwechsel

| | | |
|----------------------|--------------------------------|------------|
| kein Vorheizregister | | |
| nachheizen | $(1 - 0.8) \cdot [20 - (-10)]$ | 6 K |

5.1.2.3 Einfluss der Luftwechselzahl und der inneren Quellen für stationäre Berechnung

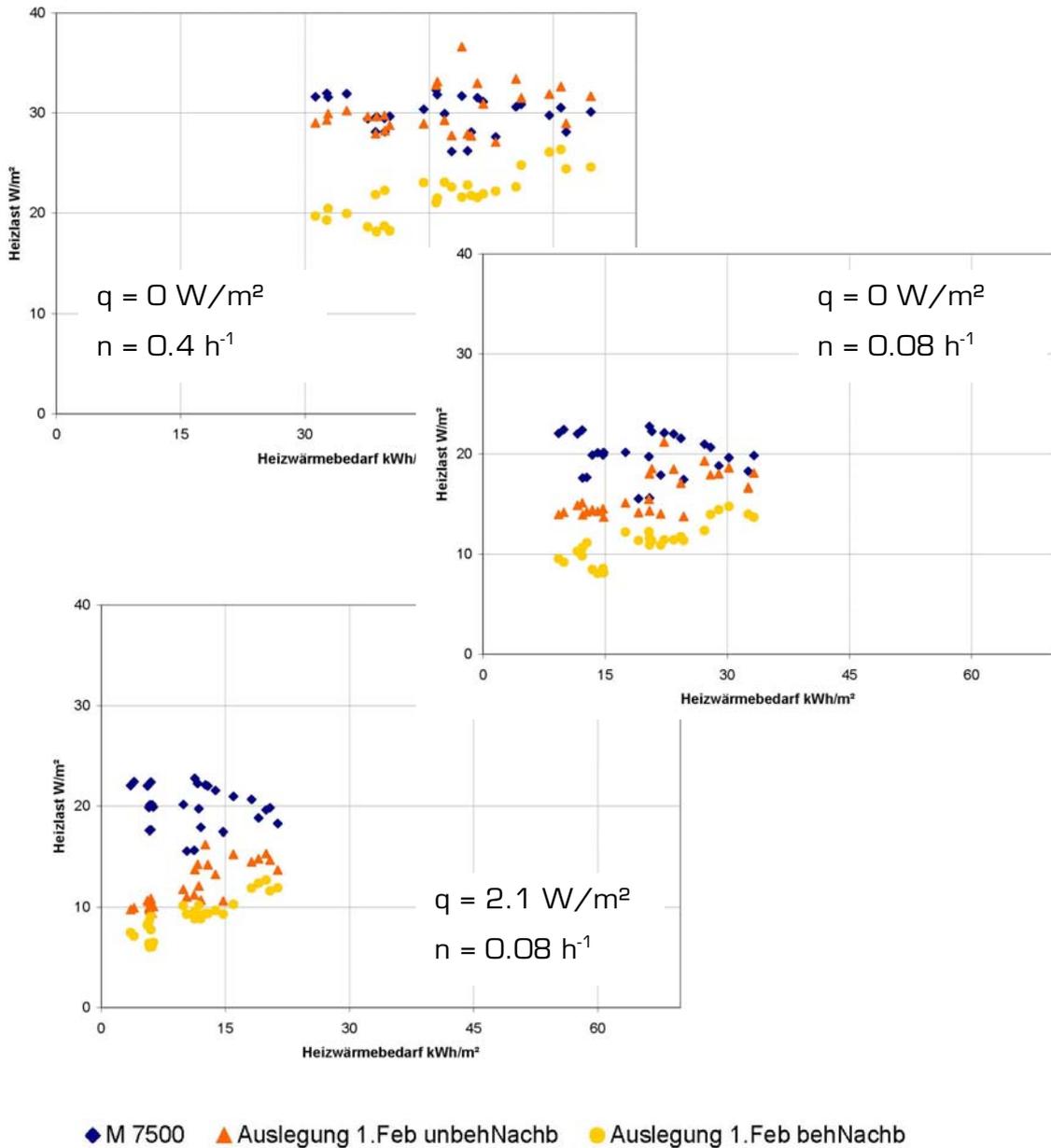


Diagramm 36: Einfluss der inneren Lasten (bei M 7500 nicht berücksichtigt) und der Luftwechselzahl bei stationärer Berechnung

5.1.3 Passivhauskriterium

Die Erfüllung des Passivhauskriteriums für die Heizlast muss für das gesamte Gebäude und für jede Wohneinheit gesondert betrachtet werden.

Die Norm verlangt, dass fremdbeheizte Nachbarn berücksichtigt werden. Wie bereits im Kapitel 5.1.2 unter 5.1.2.1 Unterschiede zwischen beheizten und unbeheizten Nachbarn beschrieben, machen diese Verluste trotz hoch wärmegeämmter Bauteile bereits um die 6 W/m² NGF aus. Dies entspricht schon 60% des Heizlastkriteriums (<10 W/m² NGF). Es ist daher sehr schwierig das Kriterium einzuhalten. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich alle Nachbarn mitheizen lassen ist jedoch gering, weitere Berechnungen werden daher mit beheizten Nachbarn durchgeführt.

Das **gesamte Gebäude** wird von einer thermischen Hülle umschlossen, mit Transmissionsverlusten nach Außen (Außenluft, Boden) und zu unbeheizten Zonen (Keller, Schächte), Lüftungsverlusten (Infiltration, mechanische Lüftungsanlage), solaren Gewinnen und inneren Wärmequellen. Für die wohnungsweise Berechnung werden die Nachbarn als beheizt betrachtet.

| | Heizlast des gesamten Gebäudes in W/m ² EBF | |
|--|--|---------|
| | EBF Norm | EBF PHI |
| ÖNORM M 7500 | 26.2 | 27.2 |
| Auslegungstag * 1.1 (stationär) | 9.0 | 9.3 |
| Sim ideal | 9.3 | 9.6 |
| anl Sim +vorh | 9.6 | 10.0 |
| anl Sim nur nachh | 5.8 | 6.0 |

Tabelle 20: Heizlasten für das gesamte Gebäude in W/m² EBF

Die Heizlast der Simulation mit semizentraler Lüftungsanlage enthält den Anteil eines Vorheizregister für den Frostschutz, der bei den anderen Berechnungen nicht bzw. nur geringfügig berücksichtigt wird.

Die ÖNORM M 7500 liefert auch hier bis zu 2.9 mal höhere Heizlasten.

Ermittlung der Energiebezugsfläche (EBF):

| | Nettoflächen in m ² |
|--|--------------------------------|
| Wohneinheit ohne Veranda | 2037 |
| Veranden | 141 |
| Stiegenhäuser ab EG | 290 |
| Flächen im UG in der thermischen Hülle | 105 |

| Energiebezugsflächen in m ² | |
|--|------------------------------|
| <i>NORM</i> | <i>PHI</i> |
| 2037 + 141 + 290 | 2037 + 141 + 0.5*(290 + 105) |
| 2468 | 2376 |

Dabei bedeutet die Berechnung „Norm“ die Flächenermittlung in Anlehnung an die ÖNORM B 1800 unter Berücksichtigung der Bestimmungen des OIB-Leitfadens mit den Anmerkungen des Magistrats der Stadt Wien MA25 (Stand November 2006) zur Ermittlung der Bezugsfläche. D.h. Veranden sind in der Bezugsfläche enthalten, wenn sie beheizt sind. Ein verbundenes Stiegenhaus ist ebenfalls enthalten.

Dabei bedeutet PHI die Flächenermittlung in Anlehnung an die Bestimmungen des Passivhaus Institutes zur Ermittlung der Energiebezugsfläche. D.h. Veranden zählen ganz, wenn sie ein Aufenthaltsraum innerhalb der thermischen Hülle sind und verbundene Stiegenhäuser, ein Technikraum usw. zählen mit der halben Fläche.

Die **Heizlast je Wohneinheit** bezieht sich auf die Nettofläche, welche hier mit 80% der Bruttofläche ermittelt wurde.

Wie bereits in Kapitel 1.2 erwähnt ergibt sich die maximale Heizlast von 10 W/m² NGF aufgrund der begrenzten Leistungseinbringung mittels Zuluft wegen der Staubverschmelzung. Deshalb werden hier nur die Leistungen der Nachheizregister aus der Simulation mit semizentraler Lüftungsanlage als maßgeblich betrachtet.

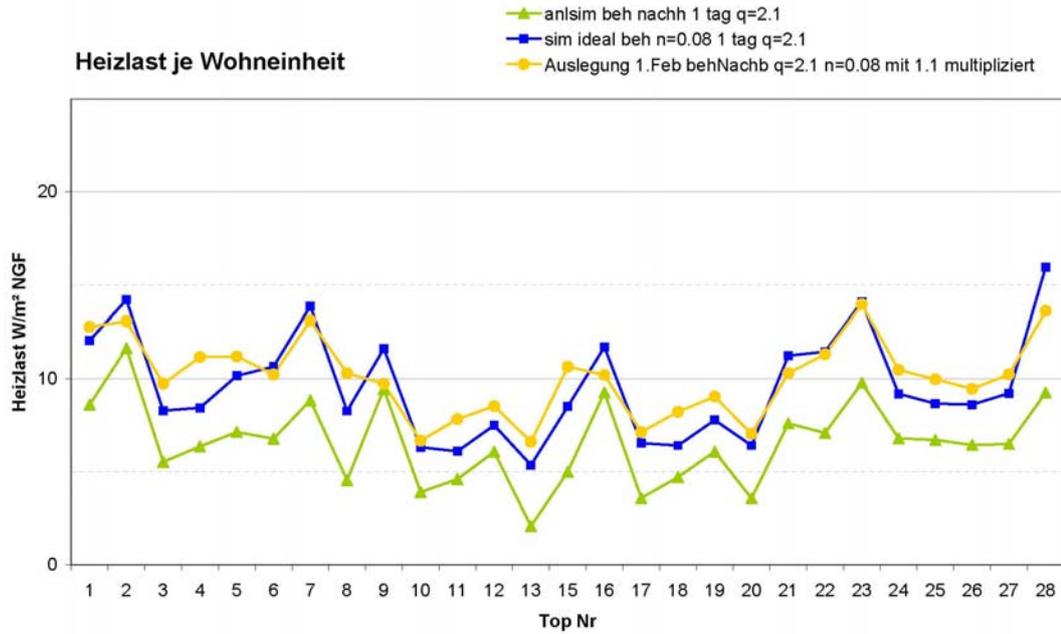


Diagramm 37: Maßgebliche Heizlasten je Wohneinheit

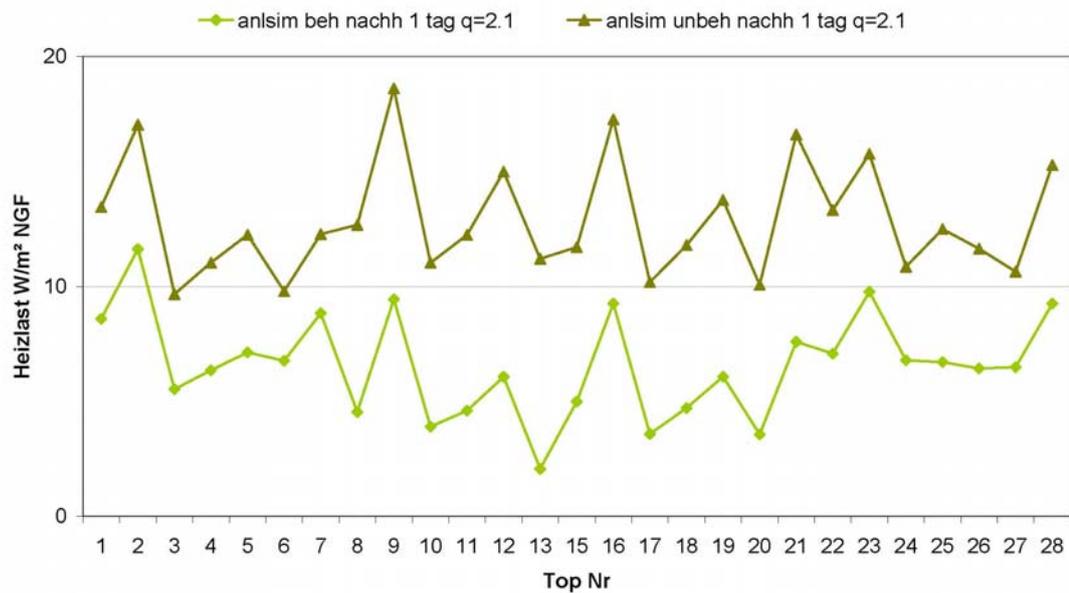


Diagramm 38: Heizlasten je Wohneinheit für den Fall „ansim“ mit beheizten und unbeheizten Nachbarn

Die Auslegung des Nachheizregisters muss jedenfalls mit einer gewissen Sicherheit erfolgen. Hierfür sollen die unbeheizten Nachbarn berücksichtigt werden.

Die maximale Heizlast für den Fall der unbeheizten Nachbarn sind $19 \text{ W/m}^2 \text{ NGF}$ (Diagramm 38) bzw. ohne Berücksichtigung innerer Wärmequellen $22 \text{ W/m}^2 \text{ NGF}$.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Die Heizlast dient zur Bestimmung der für die Auslegung des Heizsystems maßgeblichen Heizleistung. Die Berechnung der Heizlast nach Norm erfüllt die Passivhauskriterien nicht und verhindert somit einen möglichen Verzicht auf ein konventionelles Heizsystem.

In der vorliegenden Arbeit wird anhand von drei Berechnungsverfahren (ÖNORM M 7500, eine stationäre Berechnung mit Auslegungswerten und eine dynamische Simulation) gezeigt, wie die Heizlastermittlung durchgeführt werden kann und welche eine ausreichende Genauigkeit aufweist.

Zur Ermittlung der maximalen Heizlast mittels stationärer Berechnung wurden zwei Auslegungstage ermittelt. Wovon einer sehr kalt mit viel Solarstrahlung und einer mit milden Temperaturen ohne Direktstrahlung ist. Die Auslegungstemperaturen entsprechen dem Tagesmittel der stündlichen Außenlufttemperaturen.

Die Temperaturen, die sich in unbeheizten Wohneinheiten einstellen resultieren aus folgenden Gewinnen und Verlusten:

- Solarstrahlung
- inneren Wärmequellen
- Zuluft über die WRG
- beheizten Nachbarn
- Außenbauteile
- unbeheizten Nachbarn
- Lüftungsverlusten

Die Validierung der Berechnungsverfahren erfolgt durch Heizlastberechnungen eines mehrgeschossigen Wohnbaus in Passivhausbauweise.

Die Unterschiede zwischen der stationären Berechnung und der Simulation sind kleiner als $1 \text{ W/m}^2 \text{ NGF}$. Die Berechnung nach ÖNORM M 7500 überschätzt die Heizlast um etwa das 2.8 fache.

Die Berechnung für das gesamte Gebäude berücksichtigt Verluste nach außen und zu unbeheizten Zonen (Keller) sowie solare und interne Gewinne. Es ergeben sich dabei Heizlasten unter $10 \text{ W/m}^2 \text{ NGF}$.

Die Heizlastergebnisse für die einzelnen Wohneinheiten können nicht so einfach verglichen werden, da in den Berechnungsansätzen die Leistung der Zulufterwärmung unterschiedlich betrachtet werden.

Prinzipiell ist die maßgebliche Heizlast der Anteil des Nachheizregisters aus der Simulation mit semizentraler Lüftungsanlage. Das Nachheizregister erwärmt die Zuluft, die bei einem Wirkungsgrad des Wärmetauschers von 85% mit etwa 16°C aus der Lüftungszentrale geliefert wird, auf bis zu 50°C, um die gewünschte Raumtemperatur zu erhalten.

Zur Sicherung der Frostfreiheit bei der Frischlufteinspeisung in der Lüftungszentrale wird ein Vorheizregister eingesetzt, das die Frischluft von Außentemperatur auf 10°C erwärmt. Das Vorheizregister wird bei der Betrachtung des gesamten Gebäudes berücksichtigt.

Die Planung eines auf Zuluftnachheizung basierenden Heizsystems sollte auch den ungünstigen Fall unbeheizter Nachbarn beachten.

Bei dem untersuchten Wohnhaus hat sich die erforderliche Heizleistung, durch das mitheizen der direkten Nachbarn verdoppelt.

LITERATURVERZEICHNIS

- [BED06] Bednar T.; TU-Wien
- [BIS99] Bisanz C.; Heizlastauslegung im Niedrigenergie- und Passivhaus; Fachinformation PHI-1999/2; Passivhaus Institut; Darmstadt Januar 1999
- [BSIM00] BSim2000, Version 2,2,4,12; Danish Building and Urban Research Institute
- [CHRO0] Christophersen E.: User's Guide for BSim2000, Danish Building and Urban Research Institute – Division for Energy and Indoor Climate; Hørsholm (DK), April 2000
- [DRE05] Dreyer J., Bauphysik I, II
- [FEI98a] Feist W., Brausem M., Sengotta R., Werner J., Paul E., Bühringer A.; Das Passivhaus – Baustandard der Zukunft?; Protokollband Nr. 12 Arbeitskreis kostengünstiger Passivhäuser; Passivhaus Insitut; Darmstadt 1998
- [FEI98b] Feist W., Schnieders J., Loga T., Bisanz C., Mangold D., Ebel W.; Energiebilanzen mit dem Passivhaus Projektierungs Paket; Protokollband Nr. 13 Arbeitskreis kostengünstiger Passivhäuser; Passivhaus Insitut; Darmstadt 1998
- [JAU99] Jauschowitz R.; Leitfaden zur Berechnung der Heizlast von Gebäuden; dbv – Verlag Graz; 1999
- [KLIO6] Präsentation von klima:aktiv; Energieoptimierung in der Entwurfsplanung
- [KIRO5] Kirtschig T., Werner J.; Innovationen der Gebäudetechnik; Zusammenfassung der 9. Passivhaustagung; Arbeitsgruppe 15; 2005
- [LUT85] Lutz P., Jenisch R., Klopfer H., Freymuth H., Krampf L.; Lehrbuch der Bauphysik; B.G. Teubner Stuttgart; Stuttgart 1985
- [MAGO4] Magistrat der Stadt Wien; Papier zur Umsetzung der Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden; Wien 2004
- [OEN97] ÖNORM EN ISO 6946; Bauteile, Wärmedurchlasswiderstand und der Wärmedurchgangskoeffizient; Berechnungsverfahren; Österreichisches Normungsinstitut 1997
- [OEN03] ÖNORM EN 12831; Heizungsanlagen in Gebäuden; Verfahren zur Berechnung der Norm – Heizlast; Österreichisches Normungsinstitut 2003

- [ON083] ÖNORM M 7500; Heizlast von Gebäuden; Österreichisches Normungsinstitut; 1983
- [ON099] ÖNORM M 8118 – 3; Wärmeschutz im Hochbau; Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse; Österreichisches Normungsinstitut; 1999
- [ON005] ÖNORM H 7500; Heizungssysteme in Gebäuden; Verfahren zur Berechnung der Norm – Heizlast; Österreichisches Normungsinstitut 2005
- [SCHO1] Schnieders J., Feist W., Pfluger R., Kah O.; CEPHEUS – Projektinformation 22; Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung; Endbericht; Passivhausinstitut; Darmstadt, 2001
- [SCHO3] Schöberl H., Hutter S., Bednar T., Jachan C., Deseyve C., Steininger C., Sammer G., Kuzmich F., Münch M., Bauer P.; Bauforschung für die Praxis, Band 68, Anwendung der Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau; Fraunhofer IRB Verlag; Wien 2003
- [ZDF06] <http://www.zdf.de/ZDFde/wetter/klima/O,1872,1011036,00.html>