



Bundesministerium  
für Verkehr,  
Innovation und Technologie

**NACHHALTIG**wirtschaften  
k o n k r e t

# Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau

Auftragnehmer:  
Schöberl & Pöll OEG

Autoren:

DI Helmut Schöberl, DI Stefan Hutter  
Schöberl & Pöll OEG

Univ. Ass. DI Dr. Thomas Bednar, DI Christian Jachan, DI Christoph Deseyve  
TU Wien, Institut f. Baustofflehre, Bauphysik u. Brandschutz, Fachbereich Bauphysik

DI Christian Steininger, DI Günther Sammer  
Technisches Büro DI Christian Steininger

Univ.Lektor Arch. DI Franz Kuzmich, DI Markus Münch  
DI Peter Bauer

Werkraum ZT OEG

Konsulenten:

Dipl.-Phys. Johannes Werner  
ebök Ingenieurbüro GbR, Tübingen, D

O. Univ. Prof. DDI Wolfgang Winter  
TU Wien - Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau

Mit Förderung vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit  
Wohnbauforschung F 1463



Wien, August 2003

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>3</b>
<b>1 Ausgangspunkte</b> .....	<b>8</b>
1.1 Was ist Passivtechnologie	8
1.2 Aufgabenstellung und zusammenfassende Planungsziele	9
1.3 Arbeitsweise und Projektteam	11
<b>2 Analyse und Planungsziele</b> .....	<b>14</b>
2.1 Analyse bestehender energiesparender Wohnbauten	14
2.2 Detaillierte Planungsziele	21
<b>3 Berechnungsverfahren</b> .....	<b>25</b>
3.1 Kriterien und Nachweisverfahren	25
3.2 Gebäudemodell mit Buildopt	28
3.3 Anlagenmodell mit Simulink	30
<b>4 Gebäudekonzept</b> .....	<b>40</b>
4.1 Übersicht	40
4.2 Architektonisches Konzept	41
4.3 Bauphysikalisches Konzept	49
4.4 Passivhausrelevante Punkte des Statischen Konzepts	50
4.5 Haustechnisches Konzept	54
<b>5 Bautechnik</b> .....	<b>60</b>
5.1 Brandschutz bei hohen Dämmstoffdicken	60
5.2 Spezielle Aspekte der Vollwärmeschutzfassade	64
5.3 Details zur thermischen Hülle	65
5.4 Holzaußenwände	79
<b>6 Haustechnik</b> .....	<b>87</b>
6.1 Kontrollierte Wohnraumlüftung	87
6.2 Zonensteuerung und Energiespardisplay	120
6.3 Warmwasserbereitung und Heizwärmeversorgung	122
6.4 Elektrische Energie	127
6.5 Primärenergiebedarf	128
<b>7 Thermische und Akustische Qualität</b> .....	<b>129</b>
7.1 Thermische Qualität	129
7.2 Akustische Qualität der Lüftungsanlage	134
<b>8 Kostenanalyse</b> .....	<b>139</b>
8.1 Marktanalyse Fenster	139
8.2 Kostenvergleich Brandschutzriegel bei hohen Dämmstoffdicken	144
8.3 Kostenvergleich Holz- und Massivaußenwand	146
8.4 Kostenvergleich semizentrales und dezentrales Lüftungskonzept	147
8.5 Kostenvergleich Wärmeverteilung	148
8.6 Baukosten	148
8.7 Betriebskosten	155
8.8 Internationaler Vergleich Bauwerkskosten	157
<b>9 Analyse der Nutzungstoleranz</b> .....	<b>161</b>
9.1 Abweichungen vom StandardnutzerInnenverhalten	161
9.2 Grundlagen Risikoanalyse	161
9.3 Untersuchung von leer stehenden Wohnungen	167
9.4 Untersuchung Wohnungstrennwände	170
9.5 Untersuchung Ausfall der Stromversorgung	174
<b>10 NutzerInneneinführung</b> .....	<b>176</b>
<b>11 Weiterführender Forschungsbedarf</b> .....	<b>179</b>
<b>12 Glossar, Literaturverzeichnis, Anhang</b> .....	<b>180</b>

## Zusammenfassung

Die Studie untersucht anhand eines geplanten Bauvorhabens verschiedene Fragestellungen, die für die Einführung des Passivhausstandards im sozialen Wohnungsbau von hoher Relevanz sind. Basis der Arbeiten sind die publizierten Ergebnisse bereits errichteter Passivhäuser, insbesondere aus dem CEPHEUS-Projekt. Als wesentliche Planungsziele wurden folgende Punkte identifiziert:

- Hohe Kosteneffizienz
  - Mehrbaukosten Passivbauweise  $\leq 75,-$  Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche
  - Baukosten  $\leq 1.055,-$  Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche
- Niedriger Energieverbrauch - Passivhausstandard
  - Heizwärmebedarf  $\leq 15$  kWh/m<sup>2</sup>a
  - Heizlast  $\leq 10$  W/m<sup>2</sup>
  - Luftdichtheit  $n_{50} \leq 0,6/h$
  - Primärenergiebedarf  $\leq 120$  kWh/(m<sup>2</sup>a)
- Hoher Nutzungskomfort
  - Geregelter Luftwechsel, Akustik, Hygiene, Nutzungstoleranz

Die Ergebnisse wurden in Zusammenarbeit von sieben Büros unterschiedlicher fachlicher Ausrichtung in einem integralen Planungsprozess erarbeitet. Der Einsatz fachübergreifender dynamischer Simulationsverfahren erlaubte die integrale Beurteilung der Eignung fachtechnischer Einzelkonzepte (z.B. für Lüftung, Heizung, Baukonstruktion) unter dem Zusammenwirken verschiedenartiger Randbedingungen wie Wohnungsbelegung, NutzerInnenverhalten, Klima, Ausfall der Energieversorgung.

Die Ergebnisse sind in sechs Kapiteln (Gebäudekonzept, Bautechnik, Haustechnik, thermische und akustische Qualität, Kostenanalyse, Nutzungstoleranz, NutzerInneneinführung) praxisnah dargestellt.

Die Studie wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit durchgeführt. Ihre Ergebnisse werden im Rahmen des ersten Wiener sozialen Passivwohnbau, Utendorfgasse 7, umgesetzt und überprüft.

### Infobox Gebäude

1140 Wien, Utendorfgasse 7  
39 Wohneinheiten  
Tiefgarage, 3 Lifte,  
2.778 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche

### Bauträger:

Heimat Österreich

### Generalplanung:

Schöberl & Pöll OEG  
in Kooperation mit Arch. DI  
Franz Kuzmich, ebök Ingenieurbüro, Technisches Büro  
DI Christian Steininger,  
Werkraum ZT OEG und TU  
Wien - Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik (Wissenschaftliche Begleitung)



Abbildung 1: Utendorfgasse - Perspektive

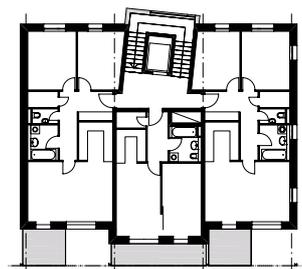


Abbildung 2: Utendorfgasse - Grundriss des Regelgeschosses eines der drei Stiegen

## Ergebnisse

### Baukonstruktion

#### Infobox Baukonstruktion

Tragende Wohnungstrennwände und -decken  
 Thermische Entkopplung:  
 Porenbeton und Stahlbetonlager  
 Tiefgarage Fundamentplatte und dichte Wanne.  
 Außenwand:  
 Stahlbeton, 30 cm Wärmedämmverbundsystem  
 Oberste Geschossdecke:  
 Stahlbeton mit 45 cm Dämmung  
 Unterste Geschossdecke:  
 Stahlbeton mit 35 cm Dämmung

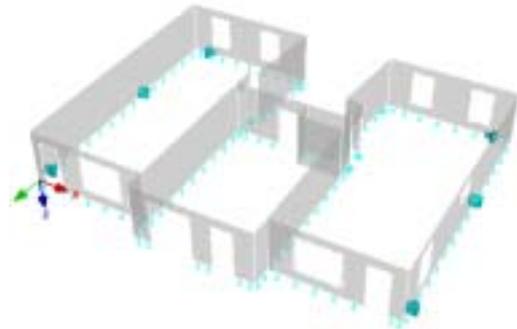


Abbildung 3: Statisches System der thermischen Entkopplung

#### Thermische Entkopplung des Fußpunkts tragender Wände

Aus thermischer Sicht ist die linienförmige Auflagerung des Gebäudes auf Porenbeton die beste Variante. Punktförmige Stahl- oder Stahlbetonauflager können aus statischen Gründen notwendig sein, falls Zugkräfte übertragen werden müssen. Bei Verwendung von punktförmigen Auflagern aus Stahl oder Stahlbeton ist zur Kompensation der Wärmebrückenverluste eine Erhöhung der Deckendämmung von 35 cm auf 43 cm und bei Auflagerung der Außenwände auf Porenbeton und der Innenwänden auf Stahlschuhen auf 37 cm notwendig. Kostentechnisch sind aus derzeitiger Sicht die Ausführung mit Porenbeton und Stahlbetonschuhen die günstigste Lösung.

#### Befestigung Wärmedämmverbundsystem

Zur Minimierung des Wärmeverlustes und aus Kostengründen wird, wenn möglich, eine Verklebung ohne Verdübelung empfohlen - detaillierte Untergrundprüfungen und ausreichende Kleberfestigkeiten vorausgesetzt.

### Kosten

#### Infobox Baukosten

Mehrkosten Passivbauweise 73 Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche  
 Baukosten Sozialer Wohnbau 1.055,- Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche

#### Mehrkosten Passivhaus

Bezogen auf den Wiener Niedrigenergiestandard betragen die baulichen Mehrkosten des Passivhausstandards im sozialen Wohnbau gemäß folgender Abbildung ca. 73 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche. Bezogen auf den sozialen Wohnbau ergeben sich 7 % Mehrkosten.

#### Baukosten Passivhaus Sozialer Wohnbau

Die verbesserte bauliche Qualität der Gebäudehülle und die hocheffiziente Lüftungstechnik bei Passivhäusern erfordern Mehrinvestitionen. Durch Optimierung der Baukomponenten, integrierter Performancesimulation und integraler Planung konnte das Planungsziel der Baukosten des sozialen Wohnbaus von 1.055 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche eingehalten werden.

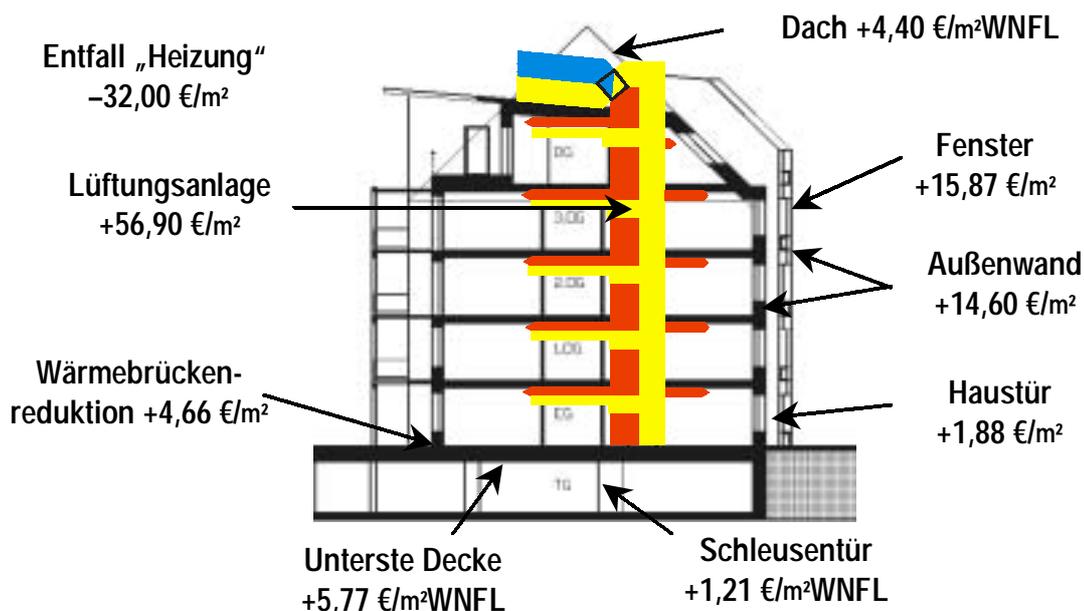


Abbildung 4: Grafische Darstellung der baulichen Mehrkosten für den Passivhausstandard im sozialen Wohnbau je Quadratmeter Wohnnutzfläche, exkl. USt., Basis 2003

### Fenster

Die explizite Berücksichtigung der Vielzahl bauphysikalischer Details bei Fensterkonstruktion und Einbau konnten die Fensterkosten stark senken. Zur Erleichterung einer kostenoptimierten Ausschreibung wurde eine Checkliste erstellt.

### Holz- und Massivaußenwand

Höhere Baukosten einer Passivholzaußenwand aus TJI-Trägern im Vergleich zur Massivwand mit Wärmedämmverbundsystem können durch einen Nutzflächengewinn überkompensiert werden. Die alternativ entwickelte Sparholzlösung hat zusätzlich deutlich geringere Baukosten, ist allerdings noch unerprobt.

### Brandschutzriegel

Die Kosten der Brandschutzriegel belaufen sich je nach Ausführung zwischen 1,52 und 3,04 Euro je Quadratmeter Fassade. Am kostengünstigsten sind Ausführungen mit Sturzplatten.

### Internationaler Vergleich

Im internationalen Kontext gehört die Utendorfgasse zu den Projekten mit den niedrigsten Baukosten. Im Baukostenvergleich des reinen Passivbaus, d.h. ohne Tiefgarage, ist das entwickelte Passivhauskonzept für den sozialen Wohnbau mit 1.055 Euro/m<sup>2</sup> das kostengünstigste Projekt.

### Haustechnik

#### Infobox Haustechnik

Semizentrale Lüftungsanlage  
 Heizung und Warmwasserbereitung mittels zentralem Gasbrennwertkessel  
 Hygiene und Schallschutz: siehe Infobox Qualitäten

#### Semizentrale Lüftungsanlage:

- Zentrale Wärmerückgewinnung, Luftfilterung, Stützventilatoren und elektrisches Vorheizregister als Frostschutz.

- Dezentrales Nachheizregister je Wohneinheit und drehzahlgeregelte, in allen Betriebszuständen abgeglichene, Ventilatoren mit 4-stufiger Regelung durch die BewohnerInnen.

Im Vergleich zu einer Anlage mit zentralen Ventilatoren ergeben sich geringere Investitionen bei nur geringfügig höherer elektrischer Antriebsleistung.

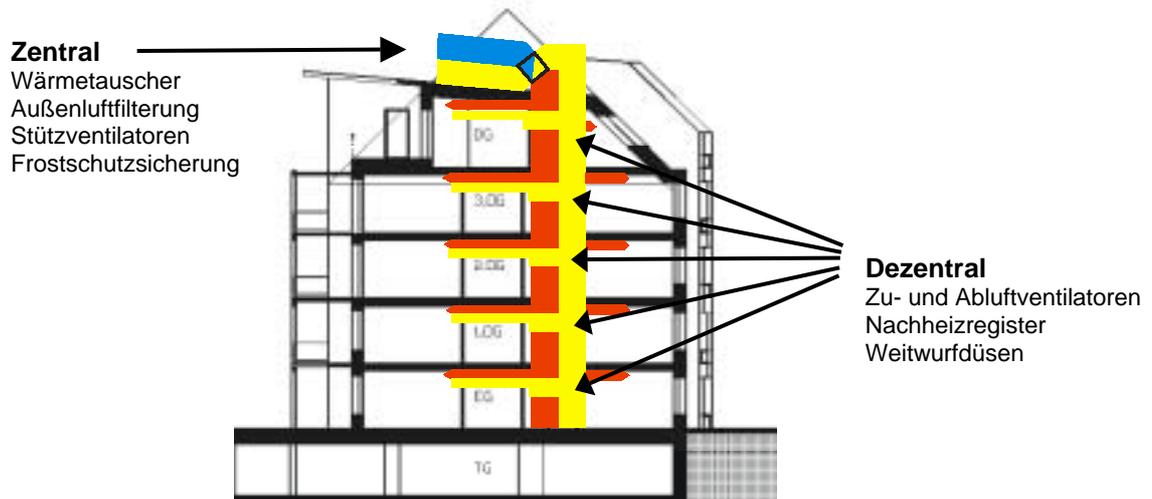


Abbildung 5: Haustechnisches Konzept

### Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung für die Heizung und Warmwasserbereitung erfolgt in einem gemeinsamen Gasbrennwertkessel und zentralem Warmwasserspeicher mit Zirkulation im Tiefgaragengeschoss. Die Versorgung der Nachheizregister erfolgt über einen vom Warmwasser getrennten Leitungskreis.

### Notkamine

Die Gebäudeheizlast ist aufgrund der hohen thermischen Qualität der Gebäudehülle kleiner als  $10 \text{ W/m}^2$  Nettogeschossfläche. Durch die Novellierung der Wiener Bauordnung Anfang 2003 sind daher für das Projekt Utendorfsgasse keine Notkamine erforderlich.

### Qualitäten

#### Infobox Qualitäten

Heizlast  $9,1 \text{ W/m}^2$

Heizwärmebedarf  $14,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$

Gesamtprimärenergiebedarf  $118 \text{ kWh/m}^2$

Unbeheizte Nachbarwohnungen: Unerheblich für die betroffene Wohnung

Schallschutz: Unhörbarkeit der Lüftungsanlage grundsätzlich möglich

Hygiene: Entspricht der VDI 6022-3

MieterInneninfo: NutzerInnenhandbuch, persönliche Grundschulung, Nachbetreuung

### Energie

Aufgrund der hohen thermischen Qualität der Gebäudehülle beträgt die Heizlast  $9,1 \text{ W/m}^2$  und der mittlere Heizwärmebedarf  $14,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  bei einer Raumtemperatur von  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ . Der Gesamtprimärenergiebedarf für Heizung, Lüftung, Warmwasser und Haushaltsstrom unterschreitet  $118 \text{ kWh/m}^2$  bei der Verwendung energieeffizienter Anlagenkomponenten und energiesparender Haushaltsgeräten.

Nachbargebäude	12	13	
	09	10	11
	06	07	08
	03	04	05
	01	02	
Stiege 02			

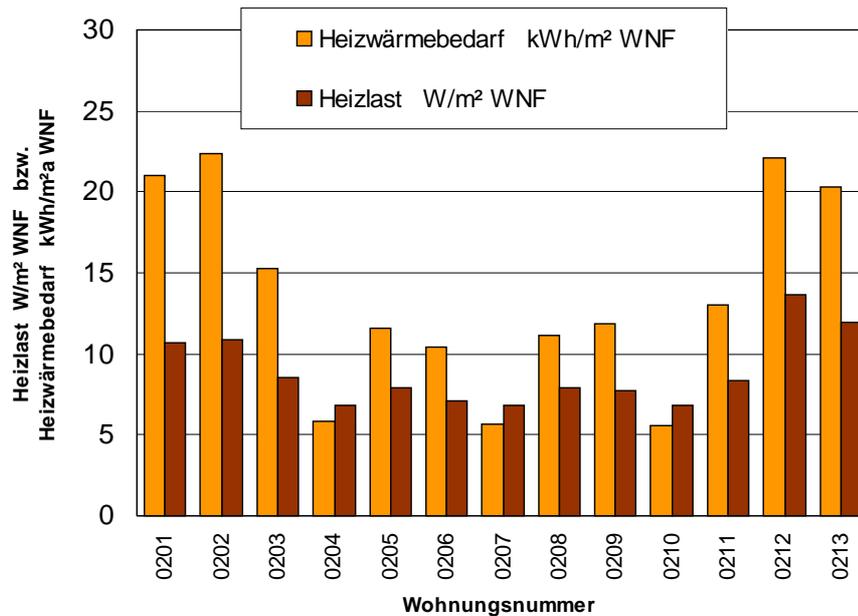


Abbildung 6: Verteilung der Heizlast und des Heizwärmebedarfs der Wohnungen der Stiege 2 der Utendorfstraße

### Schallschutz

In schalltechnischer Hinsicht sind insbesondere die Ventilatoren, die Schalldämpfer und die Weitwurfdüse relevant. Mit einem Schalldämpfer für das Ventilatorengeräusch kann das maximal zulässige Restgeräusch im Wohnraum von 25 dB(A) gemäß ÖNORM B 8115-2 eingehalten werden. Die Einhaltung der Norm führt nicht zu einer unhörbaren Anlage. Durch den Vergleich mit der Hörschwelle kann die maximale Schalleistung der Luftauslässe abgeleitet werden. Eine solche Auslegung der Anlage führt zu Schalldruckpegeln im Wohnraum von unter 20 dB(A).

### Hygiene

Die Ergebnisse der integralen Simulation des Gebäudes mit der Lüftungsanlage zeigen, dass die thermisch hygri-schen Zustände in den Anlagenkomponenten den Anforderungen der VDI 6022-3 entsprechen, wenn zusätzlich zum Filter vor dem Wärmetauscher ein weiterer Filter hinter dem Wärmetauscher angeordnet wird.

### Thermische Beeinflussung durch Nachbarwohnungen

Das Risiko, dass sich aufgrund nicht oder niedriger beheizten Nachbarwohnungen unzulässige Raumklimabedingungen ergeben, kann bei Ausführung der Trennwände gemäß Bauordnung als unerheblich bezeichnet werden.

### MieterInneninformation

Das Passivhauskonzept erfordert zum Teil ein anderes NutzerInnenverhalten als „normale“ Häuser. Das entsprechende Wissen kann den NutzerInnen am besten durch ein verfügbares NutzerInnenhandbuch, eine persönliche Grundschulung und eine Nachbetreuung vermittelt werden.

# 1 Ausgangspunkte

## 1.1 Was ist Passivtechnologie

Die Entwicklung der Idee "Häuser ohne Heizung" zu bauen, basiert auf Forschungsarbeiten zur Weiterentwicklung der skandinavischen und amerikanischen Niedrigenergiebauweise aus den 80er Jahren<sup>1</sup>. Umfangreiche Simulationsstudien und die Erfahrung mit der Verwendung von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung haben dazu geführt, dass 1991 unter der wissenschaftlichen Leitung von Dr. Wolfgang Feist der Versuch gewagt wurde das erste Haus ohne konventionelle Heizanlage in Darmstadt Kranichstein, Deutschland, zu bauen. Feist prägte dabei auch den Begriff des „Passivhauses“. Durch das von ihm gegründete Passivhaus Institut konnten wesentliche Forschungsarbeiten zur Planung und zum realen Verhalten solcher Gebäude verfasst werden. Dies spiegelt sich auch in den zahlreichen Verweisen auf Publikationen des Passivhaus Institutes wieder.

Passivtechnologie bezeichnet Methoden das Raumklima „passiv“, also ohne den aktiven Betrieb von haustechnischen Anlagen in den optimalen Bereich zu bekommen. Zur Erzielung thermischer Behaglichkeit müssen Wärmeverluste minimiert und Wärmegewinne bzw. die Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes maximiert werden.

Die Minimierung der Wärmeverluste kann durch Verringerung der U-Werte der Außenbauteile, Verringerung der Wärmeverluste durch Wärmebrücken, luftdichte Bauweise und den Einsatz von Wärmetauschern in der Lüftungsanlage bewerkstelligt werden. Eine Maximierung der Wärmegewinne kann durch eine günstige Wahl der Fenster, Verschattung und Gebäudeorientierung durchgeführt werden. Je nach Standort können die Maßnahmen unterschiedlich kombiniert werden, um ein optimales Gebäudeverhalten zu erzielen.

Der wesentliche wirtschaftliche Anreiz zur Optimierung des Gebäudes entsteht dadurch, dass ab einem gewissen Niveau die Wärmeleistung zur Aufrechterhaltung der Raumtemperaturen (Heizlast) so klein ist, dass auf konventionelle Heizkörper verzichtet werden kann. Zusätzlich ergibt sich durch die thermische Optimierung ein geringer Heizwärmebedarf und damit ein geringer finanzieller Aufwand zur Beheizung des Gebäudes.

Dr. Wolfgang Feist definierte das Passivhaus mit den folgenden Kriterien:

- Heizwärmebedarf  $\leq 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$
- Heizlast  $\leq 10 \text{ W/m}^2$
- Luftdichtheit  $n_{50} \leq 0,6/\text{h}$
- Primärenergiebedarf (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Licht, Kochen, elektrische Geräte)  $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$

Zurzeit wird in der Praxis vor allem der Heizwärmebedarf als wesentliches Kriterium betrachtet. In den kommenden Jahren wird das Kriterium der Heizlast gegenüber dem Heizwärmebedarf voraussichtlich mehr in den Vordergrund treten. Der Grund dafür liegt darin, dass die realitätsnahe Berechnung der Heizlast aus der Gebäudedynamik nicht mehr nur auf Forschungsprojekte beschränkt ist und die Einhaltung des Heizlastkriteriums für die Funktionalität des Passivhauskonzeptes eine wesentliche Voraussetzung ist.

---

<sup>1</sup> z.B. Korsgaard 1977, Adamson 1979, Shurcliff 1982

## **1.2 Aufgabenstellung und zusammenfassende Planungsziele**

### **1.2.1 Aufgabenstellung**

#### **Problemstellung**

- Der breite Marktdurchbruch der Passivtechnologie steht insbesondere im sozialen Wohnbau aufgrund der höheren Errichtungskosten noch immer aus.
- Der soziale Wohnbau stellt spezifische Anforderungen (NutzerInnen, Baukosten, etc.).

Das Forschungsprojekt versucht auf die beiden, im Grunde miteinander verknüpften, Probleme einzugehen. Lösungsansätze im sozialen Wohnbau haben große Bedeutung für die Verbreitung des Passivhausstandards in allen Kategorien von Wohnbauten.

Den sozialen Wohnbau definieren wir als kostengünstigen Wohnbau für Mietwohnungen im mehrgeschossigen städtischen Wohnbau im Regelfall mit Aufzug und Tiefgarage.

Bauträger werden die zukunftsweisende umweltschonende Passivhaustechnologie erst dann für den sozialen Wohnbau anwenden, wenn es Konzepte gibt, die kostenmäßig mit dem konventionellen Massivbau mithalten können.

#### **Ziel des Forschungsprojekts**

Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung eines Baukonzepts für den Einsatz der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau.

Die Ergebnisse des Forschungsprojekts sollen zeigen, wie der Einsatz der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau unter besonderer Berücksichtigung des Kostendrucks möglich ist.

#### **Umsetzung**

Die Anwendung und Überprüfung wird am ersten Wiener sozialen Passivwohnbau gemäß Passivhauskriterien in 1140 Wien, Utendorfgasse 7, erfolgen.

## 1.2.2 Zusammenfassende Planungsziele

### 1. Baukosten

Baukosten gemäß ÖNORM B 1801 -1<sup>2</sup> ≤ 1.055,- Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche

### 2. Passivhausstandard<sup>3</sup>

Heizwärmebedarf ≤ 15 kWh/m<sup>2</sup>a  
 Luftdichtheit n<sub>50</sub> ≤ 0,6 1/h  
 Heizlast ≤ 10 W/m<sup>2</sup>  
 Gesamtprimärenergiebedarf<sup>4</sup> ≤ 120 kWh/(m<sup>2</sup>a)

### 3. Behaglichkeit, Gesundheit, Nutzungstoleranz

Hygiene	Sicherstellung der hygienischen Qualität der Zuluft durch Vermeidung von hygromischen Zuständen in der Anlage, die ein Wachstum von Mikroorganismen fördern
Staubverschmelung	Maximale Erwärmung der Zuluft auf 60 °C zur Vermeidung von Gerüchen
Akustik der Lüftungsanlage	Schlafbereich ≤ 20 dB(A) Aufenthaltsräume ≤ 23 dB(A) Bad, WC ≤ 25 dB(A)
Temperatur	Empfundene Temperatur ≥ 22 °C in allen Räumen einer Wohneinheit bei Gleichzeitigkeit im gesamten Gebäude und ungünstigen klimatischen Bedingungen <sup>5</sup> Geringere Temperaturen in Schlafzimmern
Nutzungstoleranz	Bei Leerstand der Nachbarwohneinheiten Beheizbarkeit der Wohneinheiten ≥ 20 °C
Luftfeuchtigkeit	Vermeidung zu geringer Luftfeuchten durch Luftwechsel zur Beheizung der Wohneinheiten < 0,4 1/h

<sup>2</sup> Anmerkung: Baukosten laut ÖNORM B 1801-1 enthalten keine Honorare und Nebenkosten und sind exkl. USt.

<sup>3</sup> Entsprechend den Definitionen des CEPHEUS-Projekts [SCH01]

<sup>4</sup> Primärenergiebedarf für Heizung, Warmwasser, Hilfs- und Haushaltsstrom

<sup>5</sup> Unterschreitung maximal einen Tag innerhalb von 10 Jahren.

## 1.3 Arbeitsweise und Projektteam

### Auswahl Arbeitsmodell

Traditionelle Planungsprozesse werden komplexen Anforderungen innovativer Projekte oft nicht gerecht. Kooperative, vernetzte Teamorganisationsformen, die eine frühzeitige und offene Zusammenarbeit aller Beteiligten ermöglichen, erlauben ein gemeinsames Entwickeln von optimierten, kosteneffizienten und innovativen Lösungen. Um diesem Anspruch gerecht zu werden wurde das Modell der vernetzten Planung angewandt.

### 3-Schalenmodell

Um auf die unterschiedlichen Anforderungen der Forschungsaufgabe reagieren zu können, wird die Organisationsstruktur des 3 Schalenmodells benützt.

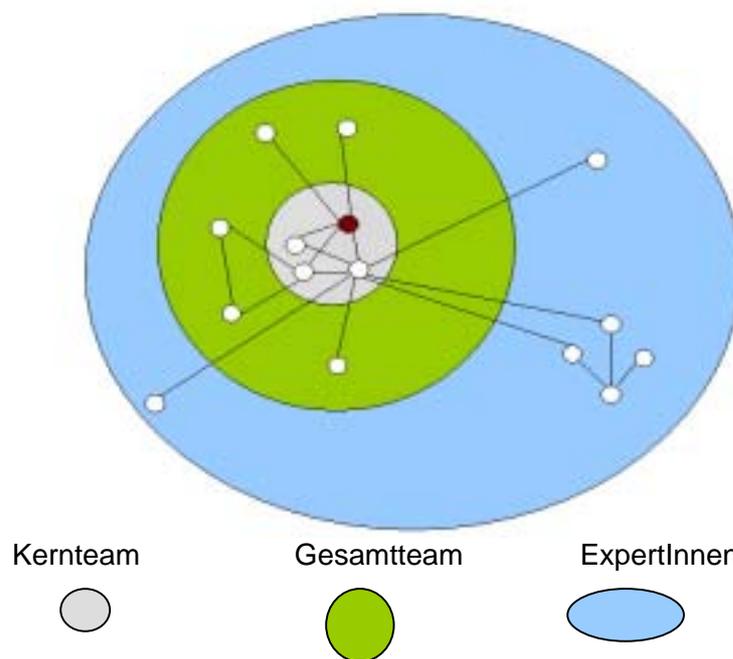


Abb. 1. 3-Schalen-Modell [BRU02]

Kernteam, Gesamteam (Kernteam + TeammitgliederInnen) und ein Pool von ExpertInnen sind je nach Arbeitsphase unterschiedlich aktiv. Inhaltliche Entscheidungen werden durch das Kernteam getroffen.

### Kernteam

Im Kernteam werden die wichtigen Schlüsselfragen bearbeitet und richtungsweisende Entscheidungen getroffen, während im erweiterten Projektteam überwiegend Detailfragen bearbeitet werden. Die Mitglieder des Kernteams sind der Bauphysiker als Vertreter für das Passivhaus wichtiger Themen der Haustechnik & Bauphysik und der Kostenplaner als Vertreter der Disziplinen Bau & Architektur.

### TeammitgliederInnen

TeammitgliederInnen sind die Vertreter der klassischen Fachplaner. Bei vernetzter Planung geht es nicht um die Perfektionierung des eigenen „Handwerks“, sondern um die gemeinsame Entwicklung von optimierten Lösungen. Die TeammitgliederInnen sind aus den Bereichen Haustechnik, Architektur und Statik.

**ExpertInnen**

ExpertInnen bringen bei innovativen Projekten das oft zusätzlich zu den ständigen Teammitgliedern benötigte Fachwissen ein. Für Detailaufgaben können ebenfalls Spezialisten beauftragt werden. Beim Demonstrationsobjekt werden als Experten das erfahrene Bauphysik- und Haustechnikbüro ebök aus Deutschland zur internen Reflexion und Prof. Winter zur Beratung und Entwicklung der Holzbaukonstruktionen beigezogen.

**ProjektleiterIn**

Der Projektleiter der Planung ist für die Umsetzung der Projektziele verantwortlich. Ein Mitarbeiter aus dem Büro der Kostenplanung und Projektkoordination wurde als Projektleiter eingesetzt.

**Projektteam****Kernteam**

Kostenanalyse DI Helmut Schöberl, Schöberl & Pöll OEG

Bauphysik Univ. Ass. DI Dr. Thomas Bednar, TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik

**Team**

Architektur Univ.Lektor Arch. DI Franz Kuzmich  
Arch. DI Markus Münch

Bauphysik DI Christian Jachan, TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik  
DI Christoph Deseyve, TU Wien, Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik

Haus-/Elektrotechnik DI Christian Steininger Technisches Büro DI Steininger für Maschinenbau, Technische Gebäudeausrüstung und Energieplanung  
DI Günther Sammer Technisches Büro DI Steininger für Maschinenbau, Technische Gebäudeausrüstung und Energieplanung

Tragwerksplanung DI Peter Bauer, Werkraum ZT OEG

**Projektleitung**

Projektkoordination Bmst. DI Stefan Hutter, Schöberl & Pöll OEG

**Experten (Konsulenten)**

Interne Reflexion Dipl.-Phys. Johannes Werner, ebök - Ingenieurbüro für Energieberatung, Haustechnik und ökologische Konzepte GbR, Tübingen

Holzbau O. Univ. Prof. DDI Wolfgang Winter, TU Wien, Institut für Tragwerkslehre und Ingenieurholzbau,

## **Internationale Vernetzung und Informationsverbreiterung**

### International Energy Agency (IEA) Solar Heating & Cooling Task 28

Die IEA ist eine Organisation innerhalb der OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development). Der Task 28 „Sustainable Solar Housing“ der International Energy Agency unter Leitung von Robert Hastings (Schweiz/USA) hat Anfang 2000 begonnen und läuft über fünf Jahre. Ziel des Forschungs- und Demonstrationsprojekts, an dem Vertreter von 15 Ländern, darunter auch Australien, USA, Japan, teilnehmen, ist es die Marktverbreiterung des „Nachhaltigen solaren Wohnens“ zu unterstützen. Dazu wird ein Buch mit realisierten Projekten, Planungsrichtlinien, Untersuchungen bereits errichteter Gebäude und Weitergabe an interessierte Unternehmen, eine Web-Site und internationale Öffentlichkeitsarbeit entwickelt. Es werden zwei Treffen pro Jahr mit einer Dauer von drei Tagen abgehalten. Unsere Einbindung erfolgt über die Dauer des Forschungsprojekts und der Planung des Demonstrationsbauvorhabens. Die Forschungsergebnisse wurden bei den Meetings präsentiert und mit den TeilnehmerInnen des IEA Tasks ausgetauscht. Weiters wurden Beiträge wie die Projektdarstellung Utendorfgasse, die Kurzfassung und Ergebnisse des Forschungsprojekts eingebracht, welche einerseits im Handbook über James & James Science Publishers nach Abschluss des Projekts in Buchform und andererseits auf den noch folgenden Website veröffentlicht werden sollen. Die Einbindung im Rahmen dieses Projekts ist abgeschlossen. Weiterführende Informationen finden sich unter [www.iea-shc.org/task28](http://www.iea-shc.org/task28) oder [www.energytech.at/iea](http://www.energytech.at/iea).

### 7. Internationale Passivhaustagung 2003 Hamburg

Die Detailergebnisse der im Forschungsprojekt eingeschlossenen Marktübersicht Fensterausschreibung wurden im Rahmen der vom Passivhaus Institut in Hamburg im März 2003 durchgeführten Tagung vorgestellt. [HUT03]

### Workshop TU Wien

Als Abschluss der Forschungsarbeit wurde am 28. April 2003 ein halbtägiger Workshop an der TU Wien veranstaltet. Die Thematik des Passivhauses im sozialen Wohnbau wurde für ein Fachpublikum aufbereitet und fand großes Interesse. Insgesamt haben an der Veranstaltung über 300 Personen teilgenommen. Diese Veranstaltung war kostenlos und sollte die Verbreiterung der Passivtechnologie fördern. Zur Veranschaulichung der technischen Lösungen wurde eine Begleitausstellung mit Fachfirmen durchgeführt.

## 2 Analyse und Planungsziele

### 2.1 Analyse bestehender energiesparender Wohnbauten

#### 2.1.1 Einführung

Da ein großer Teil des Energieaufwandes unserer Gesellschaft für die Erzeugung behaglicher Zustände in Gebäuden aufgewendet wird, wurden in der Vergangenheit immer wieder Versuchsbauten errichtet und Gebäude analysiert, um diesen Aufwand zu reduzieren. Im Folgenden sind für die gegenständliche Optimierung des Gebäudes wesentliche Ergebnisse zusammengestellt. Insbesondere Lücken in den Planungsverfahren als auch das reale Verhalten und Rückmeldungen von BewohnerInnen werden dabei herausgearbeitet.

#### 2.1.2 Zusammenfassung bestehender Untersuchungen

##### **Berechnung Heizlast und Heizwärmebedarf**

Die Wirtschaftlichkeit (Investitions- und Betriebskosten) der Passivhäuser hängt im Wesentlichen vom Wegfall der Heizanlage ab. Eine realitätsnahe Berechnung der Heizlast hat damit eine hohe Bedeutung. Die derzeit genormten Verfahren zur Ermittlung der Heizlast berücksichtigen ausschließlich die Verluste durch Transmission und Lüftung unter einer stationären Klimasituation mit sehr geringen Außenlufttemperaturen. Weder die Energiespeicherfähigkeit des Gebäudes noch der zeitliche Ablauf der Sonnenenergiegewinne und auch der inneren Wärmequellen haben einen Einfluss auf das Berechnungsergebnis.

Im Zuge der Entwicklung der Passivhäuser wurden daher nicht genormte Verfahren benützt, sondern thermische Gebäudesimulation, um die gesamte Dynamik eines Gebäudes unter realem Klima nachbilden zu können.

Als Klimadatenätze zur Gebäudesimulation stehen in Deutschland Testreferenzjahre des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung. Diese Datensätze bestehen aus repräsentativen Werten auf Stundenbasis und sind für energetische Berechnungen von Gebäuden oder Anlagen entwickelt worden. Auf Basis der Simulationsergebnisse wurde durch eine Parameteridentifikation auf Auslegungsklimadaten geschlossen [BIS99], um mit Hilfe einer einfachen Tabelle, den Tagesmittelwert der Heizlast für ein Passivhaus ausreichend genau vorherzusagen. Die so berechnete Heizlast soll für ein Passivhaus kleiner als  $10 \text{ W/m}^2$  Energiebezugsfläche sein, um auf eine konventionelle Heizanlage verzichten zu können und ausschließlich über die Nachheizung der Zuluft arbeiten zu können.

Im Zuge der Passivhausentwicklung wurde zur realitätsnahen Berechnung des Heizwärmebedarfs (HWB) ebenfalls mit thermischer Gebäudesimulation begonnen. [FEI92] Später wurde, basierend auf der europäischen Norm EN 832, ein System von Tabellen (PHPP = Passivhaus Projektierungspaket [FEI02]) entwickelt, das PlanerInnen bei der Berechnung unterstützen kann. Der Nachweis der Tauglichkeit der zugrunde liegenden Annahmen (Innere Lasten, energetisch relevanter Luftwechsel, Nutzungsgrad der Wärmegevinne, ...) und der Art der Bilanzierung (Monatsbilanz) wurde sowohl rechnerisch durch den Vergleich mit Simulationsergebnissen des Programms Dynbil [FEI98a] als auch experimentell [FEI97] erbracht.

## Realer Heizenergieverbrauch bei verschiedenen Gebäudekonzepten

Hochgedämmte Konstruktionen und kontrollierte Belüftung mit Wärmerückgewinnung wurden in zahlreichen Bauvorhaben eingesetzt und vermessen. Ziel der Untersuchungen waren neben der Akzeptanz durch die BewohnerInnen auch das reale Verhalten der Komponenten. Um die Annahmen zur Reduktion der Lüftungswärmeverluste bei Verwendung einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage zu verifizieren, wurden Messungen von 80 langjährig messtechnisch betreuten Wohngebäuden mit über 1.000 Wohneinheiten analysiert [ERH98] und die Raumtemperaturen bzw. Fensteröffnungszeiten ermittelt. Bei Gebäuden mit und ohne Lüftungsanlage ergab sich eine mittlere tägliche Fensteröffnungszeit in der Heizperiode von 2 Stunden pro Tag. Die Raumtemperatur in der Hauptheizzeit lag in den Einfamilienhäusern bei 19 °C und bei den Mehrfamilienhäusern bei 21 °C. Detaillierte Ergebnisse aus diesem Datenpool zu der Siedlung in Heidenheim<sup>6</sup> wurden in [EIC99] publiziert. Die Messungen ergaben mittlere Raumlufttemperaturen in der Heizperiode von 18,7 °C bis 20,7 °C (Mittelwert 19,5 °C). Die gemessenen Fensteröffnungszeiten in der Hauptheizzeit betragen wenige Minuten pro Tag, unabhängig vom Vorhandensein einer Lüftungsanlage. Der Heizwärmeverbrauch lag bei 50 kWh/m<sup>2</sup> a, wobei bei den Gebäuden mit monolithischen Wänden aus Porenbeton in der ersten Heizperiode 90 kWh/m<sup>2</sup>a gemessen wurden. Diese Erhöhung wurde auf den Einfluss der Baufeuchte-trocknung zurückgeführt.

Detaillierte Untersuchungen an drei Häusern, einem Niedrigenergie-, einem Ultra-Niedrigenergie- und einem Null-Heizenergiehaus, zeigten, dass der tatsächliche Heizwärmeverbrauch stark vom NutzerInnenverhalten und von der korrekten Einstellung der Regelung der Heizung abhängt. [KLU98, BOE98] Zum Unterschied von Passivhäusern wurde die Heizwärme nicht über die Zuluft, sondern über Radiatoren und beim Null-Heizenergiehaus auch über den Fußboden zugeführt. Sowohl das Niedrigenergiehaus mit Fensterlüftung als auch das Null-Heizenergiehaus mit Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und Saisonal-speicher erreichten einen Heizwärmeverbrauch unter 30 kWh/m<sup>2</sup>a. Im Ultra-Niedrigenergiehaus lag der gemessene Heizwärmeverbrauch, aufgrund der höheren Fensteröffnungszeiten von 3 bis 4 h täglich, bei 50 kWh/m<sup>2</sup>a.

Im Zuge des CEPHEUS-Projektes [SCH01] wurden in den bewohnten Häusern/Wohnungen mittlere Raumtemperaturen im Winter von 18 °C bis 25 °C gemessen. Aus einer Studie zur Zufriedenheit der Mieter mit den Raumtemperaturen [HÜB02] des Gebäudes Kassel-Marbachshöhe/D<sup>7</sup> geht hervor, dass auf einer sechsteiligen Skala die Raumtemperaturen von 3 (etwas zufrieden) bis 6 (vollkommen zufrieden) beurteilt werden. Der Mittelwert lag bei 4,3 im Schlafzimmer, 4,8 im Wohnzimmer und 5,1 im Bad. Die Wunschtemperaturen lagen dabei zwischen 19,4 °C und 24 °C. Die Fenster wurden in der ersten Heizperiode (2000/2001) bei mehr als der Hälfte der Mieter nicht gekippt, aber bis zu einer Stunde geöffnet. In den Wohnungen, in denen die Fenster gekippt wurden, lagen die Kippzeiten bei bis zu 10 h pro Tag, wobei bei den vier Wohnungen mit den höchsten Öffnungszeiten drei Raucherwohnungen waren.

Bemerkenswert ist auch der Umgang mit der Temperaturregelung. Die meisten Mieter haben die feine Abstufung der Sollwerteneinstellung nicht benützt, sondern entweder ganz ein- oder ausgeschaltet. [PFL01]

Neben soziologischen Untersuchungen zur Zufriedenheit wurden im Rahmen des CEPHEUS-Projektes umfangreiche Messungen zum Verhalten der Gebäude und der installierten Anlagen durchgeführt. In der folgenden Tabelle sind einige Daten für das Projekt Kassel und für die österreichischen Bauprojekte zusammengestellt. [SCH01, KRA01]

<sup>6</sup> 6 verschiedene Niedrigenergiehäuser und ein Referenzhaus

<sup>7</sup> Kassel-Marbachshöhe/D: Massivbau, Dezentrale Zuluftnacherwärmung über Heizregister, Badheizkörper, Wärmeversorgung mit Fernwärme, Semizentrale Lüftung mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft (Zentraler Wärmeübertrager, dezentrale Ventilatoren)

Projekt	02-Kassel	04-Egg	05-Hörbranz	06-Wolfurt	07-Dornbirn	08-Gnigl	09-Kuchl	11-Horn	12-Steyr
Gebäudetyp <sup>1)</sup>	G	G	R	G	E	G	G	E	R
Zuluftnachheizung	J	N	J	J	J	J	J	J	J
Heizkörper	Bad		Bad, EH <sup>3)</sup>	Bad	Bad, EH		M <sup>3)</sup>		Bad, EH <sup>3)</sup>
Bauteilheizung		FB <sup>3)</sup>				W <sup>3)</sup>		W <sup>3)</sup>	
mit PHPP berechnete Heizlast W/m <sup>2</sup>	7,5	10,6	11	10,9	14,9	11,8	9,4	12,3	8,2
Tagesmittelwert <sup>2)</sup> Heizlast W/m <sup>2</sup>	6	15	7	7	12	20	9	10	7
Maximum <sup>2)</sup> Heizlast W/m <sup>2</sup>	7	25	10	12	22	30	10	30	15
HWB kWh/m <sup>2</sup> a	15,1	24,5	7,5 <sup>4)</sup>	15,7	33,2	25,7	14,3	29	18,1
Thermische Zonierung	Bad, Rest	M <sup>3)</sup>	Bad, Rest	Bad, Rest	Bad, Rest	M <sup>3)</sup>	M <sup>3)</sup>	M <sup>3)</sup>	Bad, Rest
<sup>1)</sup> Gebäudetyp: G... Geschosswohnungsbau, R... Reihenhaushaus, E... Einfamilienhaus <sup>2)</sup> Tagesmittelwert und Maximalwert der gemessenen Heizlast in der bewölkten Winterwoche <sup>3)</sup> EH... Elektroheizung, M... Mehrere, FB... Fußboden, W... Wand <sup>4)</sup> Da der berechnete Bedarf bei 13,8 kWh/m <sup>2</sup> a liegt, ist zu vermuten, dass nur ein Teil der Wärmezufuhr erfasst wurde.									

Tab. 1. Zusammenstellung von Daten zu einem Teil der im CEPHEUS-Projekt untersuchten Gebäude

Bei allen Projekten mit Zuluftheizung ist zusätzlich zumindest im Bad eine Wärmequelle montiert. Das Projekt 04-Egg verwendet eine Fußbodenheizung, um dem Gebäude Wärme zuzuführen. Aus den gemessenen zeitabhängigen Heizleistungen in einer sonnigen kalten Winterwoche bzw. einer bewölkten Winterwoche [KRA01] kann die mittlere tägliche und die maximal auftretende Heizlast ermittelt werden. Es fällt auf, dass bei den Projekten 04, 07, 08 und 11 die mittleren Heizlasten deutlich über 10 W/m<sup>2</sup> liegen. Die maximalen Lasten liegen in der bewölkten Winterwoche zwischen 20 und 30 W/m<sup>2</sup>.

In der folgenden Abbildung ist die spezifische Heizleistung während dieser beiden Perioden zusammen mit dem berechneten Heizwärmebedarf und dem gemessenen Heizwärmeverbrauch dargestellt. Die spezifische Heizleistung ergibt sich aus der mittleren Heizleistung dividiert durch die mittlere Temperaturdifferenz.

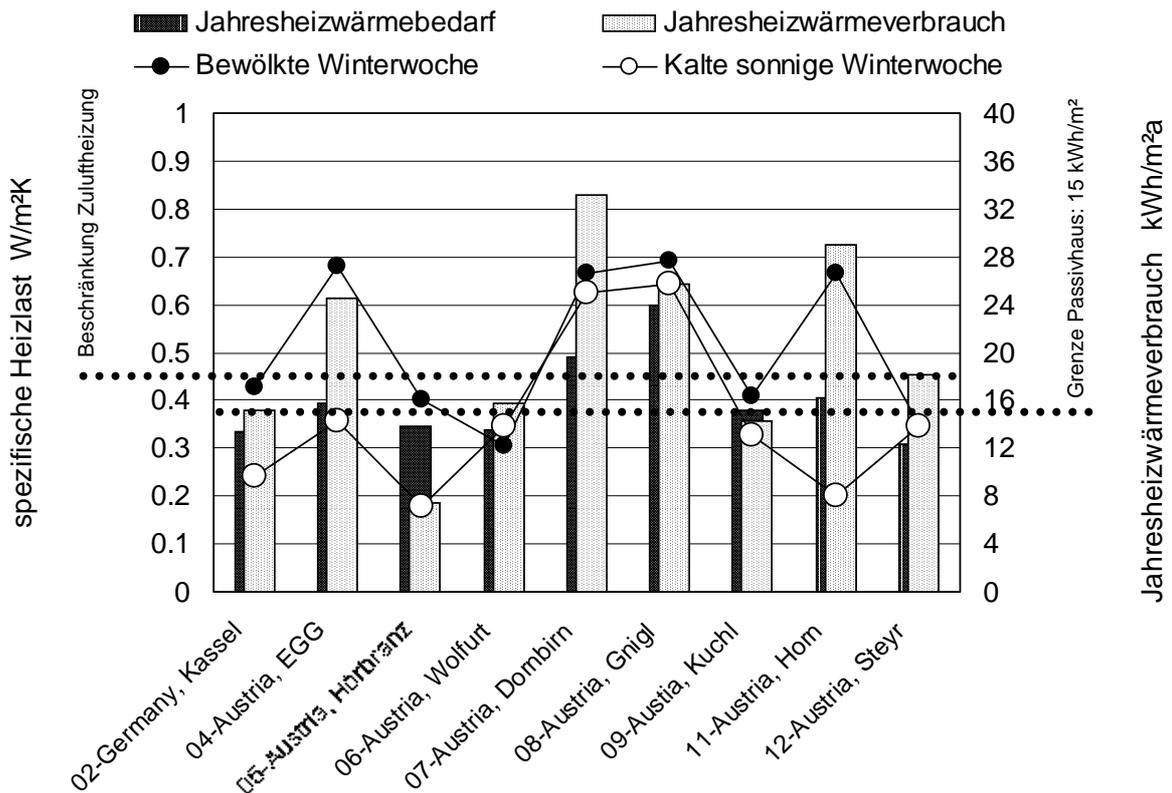


Abb. 2. Zusammenstellung der gemessenen Heizlasten während einer bewölkten und einer kalten sonnigen Winterwoche zusammen mit dem Jahresheizwärmebedarf bzw. -verbrauch [SCH01, KRA01]

Aus den Kriterien für ein Passivhaus ergibt sich eine Beschränkung des Heizwärmebedarfs auf unter  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  und eine Beschränkung der spezifischen Heizlast auf kleiner als  $0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dieser Wert ergibt sich aus der geforderten maximalen Heizlast von  $10 \text{ W/m}^2$  und der mittleren Temperaturdifferenz von  $23 \text{ K}$ , die in den Winterwochen gemessen wurde. Deutlich erkennbar ist, dass die Projekte 04, 07, 08 und 11 in der bewölkten Woche eine höhere spezifische Heizlast aufweisen. Die Projekte 04 und 11 haben aufgrund der einfallenden Sonnenenergie in der sonnigen kalten Winterwoche eine spezifische Heizlast kleiner als  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Aus dieser Zusammenstellung ist erkennbar, dass die Einhaltung der Heizlastbeschränkung für das Erreichen des Planungsziels  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  wesentlich ist. Moderate Fensteröffnungszeiten, selbst in der Hauptheizzeit, sind kein Problem. Nicht so wesentlich ist, ob die Heizleistung vollständig durch die Zuluft abgedeckt wird oder ob zusätzlich Radiatoren vorhanden sind. Eine Verwendung von Bauteilheizungen, besonders wenn mehr als  $10 \text{ W/m}^2$  dem Wohnobjekt zugeführt werden können, haben in den vermessenen Objekten zu einer Erhöhung des Verbrauchs geführt.

### Lüftungsanlagen

Die Akzeptanz von Lüftungsanlagen in österreichischen Niedrigenergiebauten wurde im Rahmen eines Projektes des Programms "Haus der Zukunft" untersucht. [ROH01] Wesentliche Erkenntnisse aus dieser Arbeit sind, dass die Zufriedenheit mit der Lüftungsanlage in Einfamilienhäusern höher als in Mehrfamilienhäusern ist und neuere Anlagen besser als ältere bewertet werden. In den Mehrfamilienhäusern sind dabei zwischen 20 % und 56 % der BewohnerInnen mit ihrer Anlage nicht zufrieden. Das Raumklima und der Wohnkomfort werden generell als positiv erlebt. Negativ werden von 30 % bis 50 % der BewohnerInnen vor allem die Geräuschbelästigung, trockene Luft in Verbindung mit

Luftheizungen, Telefonieeffekte und zu warme Schlafzimmer angemerkt. Fast die Hälfte aller befragten Personen beklagt sich über zu wenige Regelungsmöglichkeiten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass eines der untersuchten Gebäude keine Regelung der Anlage durch die Bewohner zulässt.

### Temperaturniveau

In den meisten Untersuchungen werden mittlere Temperaturen der Wohneinheiten angegeben. Aus der österreichischen Studie geht aber deutlich hervor, dass das Temperaturniveau in einzelnen Räumen einer Wohnung von der Raumnutzung abhängt.

In der folgenden Abbildung sind Ergebnisse für Temperaturniveaus in Wohnungen dargestellt, die aus belgischen, deutschen, italienischen und niederländischen Untersuchungen stammen. Diese Messergebnisse wurden in der Heizperiode aus mehrtägigen Temperaturerfassungen in Wohnungen ermittelt und dienen zur Festlegung von Bemessungswerten für die Berechnung von Heizlasten, Heizwärmebedarf oder dem Risiko für Tauwasser und Schimmelpilzbildung.

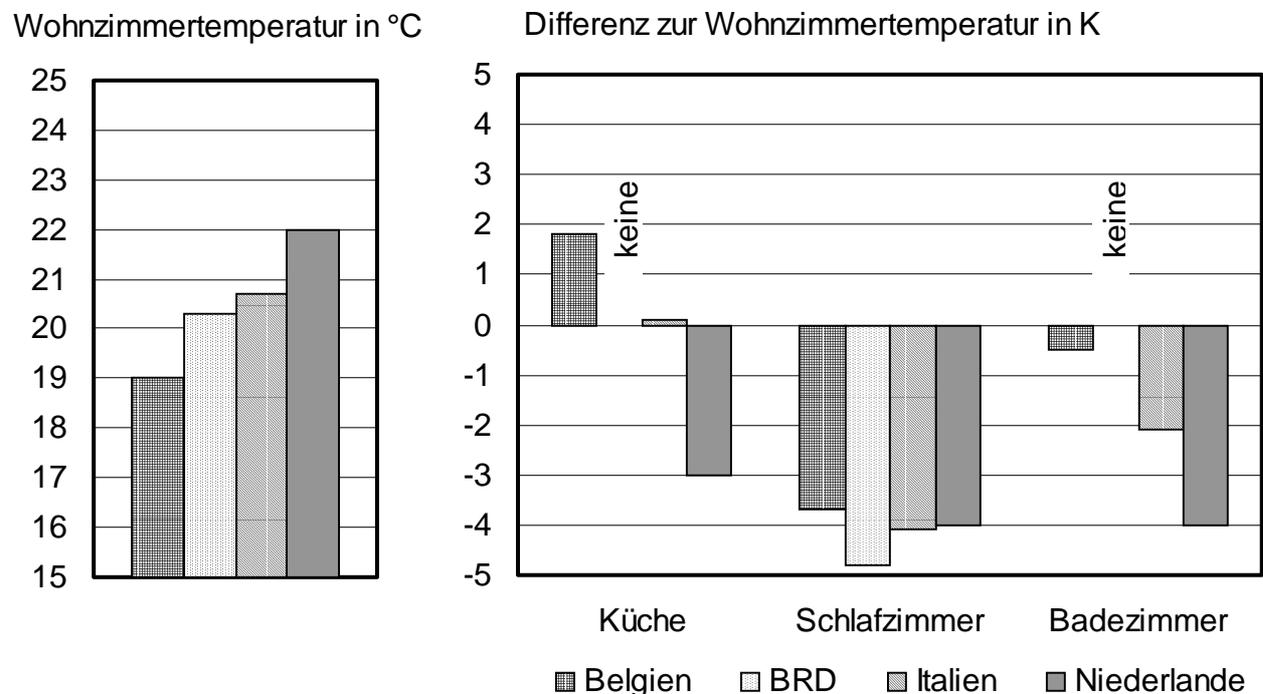


Abb. 3. Zusammenstellung von gemessenen Innenraumtemperaturen [SAN96]

Deutlich erkennbar ist, dass Schlafzimmer im Mittel um 4 K kälter eingestellt werden. Auch das Badezimmer ist im Mittel kälter als das Wohnzimmer. In der österreichischen Norm zur Ermittlung der Heizlasten (ÖNORM M 7500) werden Wohnräume mit 20 °C und Bäder mit 24 °C bei der Berechnung angesetzt. Bei den CEPHEUS-Projekten wurden in den meisten Fällen in den Bädern zusätzliche Heizkörper montiert, um während der Benutzung des Bades ein höheres Temperaturniveau zur Verfügung zu stellen.

### Hygiene der Lüftungsanlagen

Durch die Verwendung von Zuluftanlagen in Passivhäusern wird immer wieder die Frage nach der hygienischen Situation der Zuluft gestellt. Lüftungsanlagen stellen ein hygienisches Risiko dar, da durch geeignete Temperatur, Feuchtezustände und das Vorhandensein von Staub als Nährboden, in der Lüftungsanlage und den Filtern Wachstumsbedingungen für Pilze und Bakterien gegeben sein können. In zahlreichen Bauprojekten werden zur Vorerwärmung im Winter bzw. Vorkühlung der Zuluft im Sommer Erdschichtkollektoren verwendet. Aufgrund der Kühlung der Luft und dem sich ergebenden Tauwasserausfall im

Sommer wurden bereits mehrere Untersuchungen zur Hygiene der Zuluft durchgeführt. In [FLÜ99] werden Ergebnisse von Messungen vorgestellt, die an 12 Anlagen teilweise zu vier verschiedenen Jahreszeiten durchgeführt wurden. Die Ergebnisse zeigen, dass durch das Erdregister die Schimmelpilz- und Bakterienkonzentrationen gegenüber der Außenluft meistens verringert werden. Geringfügige Erhöhungen ergaben sich bei Anlagen mit geringem Luftdurchsatz. Die Luft nach den Filtern (als Grobstaubfilter bzw. Feinstaubfilter bezeichnet) enthält deutlich verringerte Konzentrationen. Im Jahresverlauf war die relative Reduktion der Keimkonzentrationen konstant. Der Jahresgang der Außenluft (höchste Schimmelpilzkeimkonzentration im Sommer, höchste Bakterienkonzentration im Herbst) bildete sich damit in der Luft vor den Filtern ab. Aufgrund der hohen Filterwirkung war nach den Filtern kein Jahresgang mehr erkennbar. Proben von den Oberflächen der Erdregister (Staub und Wasser) ergaben, dass Bakterienkeime und Pilzsporen zahlreich vorhanden waren. Die Konzentrationen wurden, aufgrund von Vergleichswerten, als nicht alarmierend eingestuft.

Etwas differenziertere Ergebnisse zur Wirkung von Filtern auf die in der Luft vorhandenen Keime sind in [MÖR01] publiziert. Untersuchungen an den Filtern, die als Erste mit der Zuluft in Kontakt kommen, ergaben, dass ein Großteil der Schimmelpilzkeime und Bakterien zurückgehalten werden. Die in der Studie untersuchten Filter hatten die Qualität F6 bzw. F7. Der Rückhaltegrad für besonders kleine Bakterien hingegen war -244 % (d.h. die Konzentration nach dem Filter war das ca. 2,4-fache der Konzentration vor dem Filter). In der Untersuchung wurden auch gleichzeitig die Luftzustände (Temperatur und relative Luftfeuchte der Außenluft) erfasst und bei der Auswertung berücksichtigt. Es zeigte sich, dass das Anwachsen der Bakterienkeimkonzentration bei hohen relativen Luftfeuchten (>80 %) und tiefen Temperaturen (<12 °C) auftritt, wobei die Korrelation mit der Luftfeuchte etwas höher als mit der Temperatur war.

### Baukosten

Eine Auswertung der Baukosten aller österreichischen CEPHEUS-Projekte zeigt die folgende Abbildung.

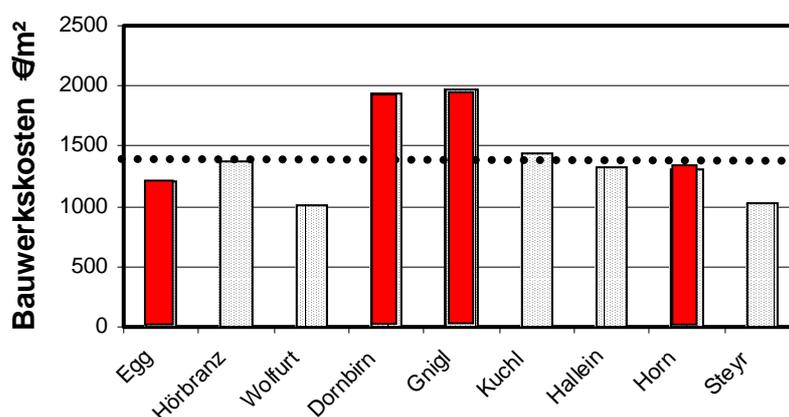


Abb. 4. Bauwerkskosten Euro je Quadratmeter Energiebezugsfläche aller österreichischen CEPHEUS-Projekte gemäß ÖNORM B 1801-1 (Kostenbereiche 2 bis 4) [KRA01]

Niedrige Baukosten und die Einhaltung des Passivhausstandards widersprechen sich nicht. Die Projekte 04-Egg, 07-Dornbirn, 08-Gnigl und 11-Horn jeweils rot in der Abbildung 4, welche eine höhere spezifische Heizlast aufweisen, sind gleichmäßig im oberen als auch im unteren Baukostensegment vertreten. In [FEI02a] werden Mehrkosten in Relation zur Heizlast für wichtige Bauteile dargestellt. Auch hierin finden sich Hinweise, dass eine Verschlechterung der Heizlast nicht automatisch eine Kostenersparnis darstellt.

Die durchschnittlichen Bauwerkskosten aller CEPHEUS-Projekte liegen bei 1.350 Euro je Quadratmeter Energiebezugsfläche. Der Durchschnitt aller österreichischen CEPHEUS-Projekte liegt bei 1.400 Euro je Quadratmeter Energiebezugsfläche.

Vier von fünf Bauvorhaben des untersten Preissegments werden durch 110 bis 160 m<sup>2</sup> große Wohnungen in der Umrechnung auf den Quadratmeter Fläche begünstigt. Ein Bezug der Baukosten auf die Kosten pro Wohneinheit ist in Abbildung 5 dargestellt.

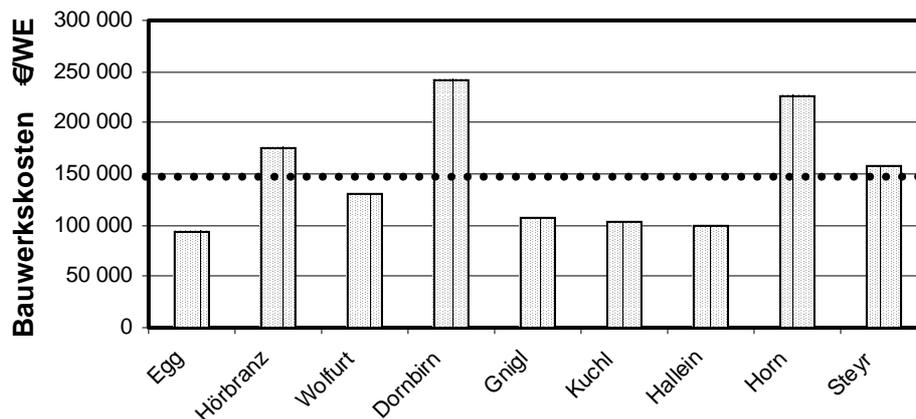


Abb. 5. Bauwerkskosten je Wohneinheit aller österreichischen CEPHEUS-Projekte gemäß ÖNORM B 1801-1 (Kostenbereiche 2 bis 4) [KRA01]

Der Durchschnitt aller CEPHEUS-Projekte liegt bei ca. 145.000 Euro je Wohneinheit. Der aller österreichischen Projekte bei ca. 150.000 Euro je Wohneinheit.

### 2.1.3 Schlussfolgerungen

#### Berechnungsmethoden

Die CEPHEUS-Projekte haben gezeigt, dass die Bedeutung der Heizlast von den PlanerInnen bzw. von den ausführenden Firmen nicht richtig eingeschätzt wird. Die genormten Berechnungsverfahren sind für Niedrigenergie- und besonders für Passivhäuser nicht geeignet. Ein entsprechendes Verfahren und die notwendigen Klimarandbedingungen sind zu entwickeln.

Bei der Berechnung der thermischen Eigenschaften kann bei Einfamilienhäusern von einer mittleren Raumtemperatur von 20 °C und bei Mehrfamilienhäusern von 22 °C angesetzt werden. Bei der Berechnung der Lüftungswärmeverluste ist das Fensterlüften zu berücksichtigen.

#### Lüftungsanlage

Bei einem kontinuierlichen hohen Luftwechsel wird die Luft im Winter als zu trocken empfunden. Mechanische Luftwechsel über einen 0,4-fachen Luftwechsel hinaus sollten daher vermieden werden. Die Luftfeuchtigkeit kann durch entsprechende Emittenten wie Pflanzen, Aquarium, Luftbefeuchter etc. auf ein behagliches Niveau angehoben werden. Hier ist eine entsprechende Information der BewohnerInnen über Vorteile, Wirkung und hygienische Risiken notwendig.

Die Lüftungsanlage sollte unhörbar sein. Dies kann durch Maskierung der Geräusche oder durch entsprechend niedrige Schallemission bewerkstelligt werden.

### **Bedienbarkeit der Anlage und Rückmeldung**

Die Bedienbarkeit der Lüftungsanlage sollte möglichst einfach gestaltet sein. Um den BewohnerInnen eine vollständige Kontrolle über ihre Umgebung zu ermöglichen, könnte angedacht werden, die Anlage zeitweise auszuschalten.

Besonders RaucherInnen oder BewohnerInnen, die ein "Altbau"-Lüftungsverhalten haben, sollten eine direkte Rückmeldung über den Energieverbrauch bekommen. Eine durchsichtige Abrechnung muss den Verbrauch widerspiegeln, wobei der Fixkostenanteil so gering wie möglich gehalten werden soll. Der Einfluss durch Verhalten des Bewohners muss erkennbar sein.

### **Ergebnis Hygiene Lüftungsanlage**

Der Nachweis der hygienischen Unbedenklichkeit kann durch zufällige, stichprobenartige Messung von Keimzahlen nicht erfolgen. Es sind Berechnungsverfahren zu entwickeln, mit denen die Wachstumsbedingungen von Mikroorganismen in der Lüftungsanlage (und im Gebäude) vorhergesagt und bewertet werden können.

### **Ergebnis Kosten**

Niedrige Baukosten und die Einhaltung des Passivhausstandards widersprechen sich nicht. Eine Untersuchung der CEPHEUS-Projekte zeigt, dass jene, welche eine höhere spezifische Heizlast aufweisen, gleichmäßig im oberen als auch im unteren Baukostensegment vertreten sind. Um im Bereich des sozialen Wohnbaus Passivhäuser etablieren zu können ist es notwendig die Baukosten weiter zu senken. Das Planungsziel von ca. 1.000 Euro Bauwerkskosten<sup>8</sup> pro m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche bzw. ca. 75.000 Euro je Wohneinheit im sozialen Wohnbau zu erreichen bedingt eine Kostensenkung von 25 % der Kosten pro Quadratmeter und 50 % der Kosten pro Wohneinheit gegenüber den Durchschnittswerten der CEPHEUS-Projekte.

## **2.2 Detaillierte Planungsziele**

Die zusammenfassenden Planungsziele wurden im Kapitel 1.2 dargestellt, die als Grundlage bzw. Ausgangspunkte für die Planung Verwendung finden. In den folgenden Abschnitten werden diese Ziele etwas detaillierter beschrieben.

### **2.2.1 Kosten**

#### **2.2.1.1 Baukosten**

Der Großteil der Bauträger wird womöglich die Passivhaustechnologie erst dann im sozialen Wohnbau einsetzen, wenn die reinen Baukosten aus derzeitiger Marktsituation bei 1.055 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche liegen.

Die Baukosten gemäß ÖNORM B 1801-1 [ONO95] sollen unter 1.055 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche<sup>9</sup> gehalten werden. Preisbasis ist 2003.

Im Zuge dessen soll überprüft werden, inwieweit die in [KOR02] geschätzten Mehrkosten von 75 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche exkl. USt. real sind.

#### **2.2.1.2 Energiekosten**

Das Ziel für die Energiekosten ist, die Aufwendungen für die Beheizung, die Stromkosten für die Lüftungsanlage und die Kosten für die Warmwasserbereitung zu minimieren. Weiters sollen auch die Haushaltsstromkosten durch diverse Maßnahmen soweit als möglich

---

<sup>8</sup> Ziel Baukosten 1.055 Euro je Quadratmeter Wohnnutzfläche. Das sind laut Tabelle Tab. 62 des Kapitels 8.8 „Internationaler Vergleich“ Bauwerkskosten von ca. 1.000 Euro je Quadratmeter Energiebezugsfläche.

<sup>9</sup> Anm: Baukosten laut B1801-1 enthalten keine Honorare und Nebenkosten und sind exkl. USt.

reduziert werden. Nicht betrachtet werden Kosten für Stadtwasser und Kanal, da sich diese nicht von Wohnungen im normalen Wohnbau unterscheiden.

Als Planungsziel werden für die Energiekosten pro Jahr für Warmwasserbereitung und Heizung, sowie Hilfs- und Haushaltstrom 7 Euro/m<sup>2</sup> Wohnfläche inkl. USt. angestrebt.<sup>10</sup> Im Bereich des Haushaltsstromverbrauchs ist anzuführen, dass das Nutzerverhalten bzw. die tatsächlich angeschafften Haushaltsgeräte einen wesentlichen und schwer beeinflussbaren Bereich ausmachen. Aus diesem Grund ist besonders auf den Einsatz energieeffizienter Geräte zu achten (siehe auch Kapitel 6.4).

### 2.2.1.3 Wartungskosten

Die wesentlichen Bereiche, in denen Wartungskosten anfallen, sind die Lüftungsanlagen und die Wärmebereitstellung (Gasbrennwerttherme). Die zu erwartenden Wartungskosten liegen im Bereich der normalen Wartungskosten für Lüftungsanlagen und Gasbrennwertthermen und können mit etwa 1,5 % der Investitionskosten pro Jahr in den ersten fünf Jahren abgeschätzt werden. Nach fünf Jahren Betriebszeit steigen die Wartungskosten auf etwa 2 % pro Jahr an.

## 2.2.2 Passivhausstandard

Die Wettbewerbsfähigkeit der Passivhäuser, auch im Bereich des sozialen Wohnbaus, im Kontext der kapitalisierten Gesamtkosten (Errichtungskosten, Betriebs- und Erhaltungskosten), stützt sich im Wesentlichen auf zwei Grundphilosophien:

1. Grundphilosophie [SCH01]: Optimierung des ohnehin Erforderlichen  
Die Effizienz der Gebäudehülle, der Fenster und der aus hygienischen Gründen ohnehin erforderliche kontrollierten Lüftung wird derart verbessert, dass auf ein zusätzliches Wärmeabgabesystem verzichtet werden kann. Daraus resultieren Einsparungen, welche den Mehraufwand für die Effizienzsteigerung mitfinanzieren.
2. Grundphilosophie [SCH01]: Verlustminimierung vor Gewinnmaximierung  
Die vorhandene Wärme wird konsequent am Entweichen gehindert. Unter mitteleuropäischen Klimabedingungen ist dies effizienter als vorrangig passive und aktive Solarenergienutzung einzusetzen.

### 2.2.2.1 Wesentliche Grundsätze für Passivhausstandard

Guter Wärmeschutz und Kompaktheit der Außenhülle	$U < 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ wärmebrückenfrei
Südorientierung und Verschattungsfreiheit	Passive Solarenergienutzung
Superverglasung und Superfensterrahmen	$U_w < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , g-Wert um 50%
Luftdichtheit	$n_{50} < 0,6$ pro Stunde
Wärmerückgewinnung aus der Abluft	Wärmebereitstellungsgrad $< 75\%$
Energiespargeräte	Hocheffiziente Stromspargeräte für den Haushalt

### 2.2.2.2 Energetische Kriterien für ein Passivhaus

- Maximal 10 W/m<sup>2</sup> Heizlast
- Maximal 15 kWh/(m<sup>2</sup>a) spezifischer Heizwärmebedarf
- Maximal 120 kWh/(m<sup>2</sup>a) spezifischer gesamter Primärenergiekennwert<sup>11</sup>

<sup>10</sup> Basis zur Berechnung: Tarifangaben der Wienstrom GmbH und der Wiengas (Stand Oktober 2002)

<sup>11</sup> Energiemix der Cepheus-Projekte zur Vergleichbarkeit.

Unter Primärenergiekennwert ist der Primärenergieverbrauch aller Energiedienstleistungen im Haushalt (Heizung, Warmwasser, Lüftung, Ventilatoren, Pumpen, Licht, Kochen und Haushaltsgeräte) zu verstehen.

### 2.2.2.3 Herleitung der Heizlastbeschränkung laut Feist

Hygienebedingung Zuluft:	$V > 30 \text{ m}^3/(\text{h und Person})$
Unter der Annahme von $30 \text{ m}^2$ Wohnfläche je Person:	$> 1 \text{ m}^3/(\text{h und m}^2)$
Temperaturbegrenzung (Staubverschwellung):	$< 50 \text{ °C im Nachheizregister (30K)}$
Wärmekapazität der Luft:	$0,33 \text{ Wh}/(\text{K und m}^3)$
Max. Heizleistung $P_{\text{Hz}} = 1 \text{ m}^3/(\text{hm}^2) \times 0,33 \text{ Wh}/(\text{Km}^3) \times 30 \text{ K} = 10 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ Wohnfläche})$	

### 2.2.2.4 Luftdichtheit, Winddichtheit

Ein Durchströmen von Außen- oder Innenluft durch die Konstruktion muss vermieden werden. Dies erfordert eine Luft- und Windsperre. Für eine Luftsperrung wird eine luftdichte Lage an der Bauteilinnenseite angebracht. An der Außenseite wird die Windsperre ausgeführt. Dabei muss vor allem in den Anschlussbereichen mit besonderer Sorgfalt gearbeitet werden. Eine annähernd luftdichte Gebäudehülle  $n_{50} < 0,6 \text{ 1/h}$  [SCH01] ist also herzustellen.

Für vom Passivhaus Institut zertifizierte Fenster wurden keine besonderen Werte bezüglich Fugendurchlässigkeit definiert, da Fenster generell über mehrere Fixierungspunkte verfügen.

Für Türen wurden die Anforderung definiert, da es normal nur eine SchlieÙe gibt. Zulässige Fugendurchlasswerte für Türen:

1. nach DIN EN 1121: Prüfklima C (nur Holz), D und E:  $2,25 \text{ m}^3\text{-Luft}/(\text{hm})$  bei  $100 \text{ Pa}$
2. nach DIN EN 12207: geforderte Luftdichtheitsklasse 3

Aufgrund des thermischen Auftriebs entstehen bei 5 Geschossen Druckdifferenzen in der Größenordnung von  $20 \text{ Pascal}$ . Der Infiltrationsluftwechsel aufgrund dieser Druckdifferenz kann durch folgende Formel abgeschätzt werden.

$$\dot{V} = \frac{\Delta P^{2/3}}{\left( \left[ \frac{1}{R_{\text{Wohnung}}} \right]^{2/3} + \left[ \frac{1}{l \cdot a_{\text{Tür}}} \right]^{2/3} + \left[ \frac{1}{R_{\text{Stiegenhaus}}} \right]^{2/3} \right)^{3/2}}$$

$R_{\text{Wohnung}}$  effektiver Widerstand der Wohneinheit gegen Durchströmung ergibt sich aus dem  $n_{50}$ -Wert von  $0,6/\text{h}$ .

$R_{\text{Stiegenhaus}}$  effektiver Widerstand des Stiegenhauses. Ergibt sich aus der Annahme, dass die Ausführung ähnlich dicht wie die Wohneinheiten ist.

$a_{\text{Tür}}$  Fugendurchlasskoeffizient der Wohnungseingangstür

$\Delta P$   $20 \text{ Pa}$  laut obigen Ausführungen

Für den Infiltrationsluftwechsel unter winterlichen Bedingungen ergibt sich bei einer Anforderung an die Wohnungseingangstüre von  $Q_{100} < 1,3 \text{ m}^3/(\text{hm})$ , d.h.  $0,06 \text{ m}^3/(\text{hmPa}^{2/3})$  ein Infiltrationsluftwechsel von  $0,01 \text{ 1/h}$ . Dabei stellt die Wohnungseingangstür den Hauptwiderstand dar.

## 2.2.3 Behaglichkeit, Gesundheit, Nutzungstoleranz

### Hygiene

Vermeidung von mikrobiellem Wachstum in den Anlagenkomponenten. Die Luftfeuchtigkeit darf maximal 3 Tage über 80 % liegen, aber nie über 90 % liegen. Weitere Informationen in VDI 6022 Blatt 3. Der Nachweis wird durch Simulation erbracht. Die Auswirkung möglicher Leckagen der Anlage wird dabei berücksichtigt.

### Staubverschmelzung

Der Beginn der Staubverschmelzung (Staubpyrolyse) wird in [WIT93] bei etwa 60 °C angegeben. Aus diesem Grund ist die Zulufttemperatur auf maximal 60 °C begrenzt, da ansonsten an den Lüftungskanaloberflächen Staubverschmelzungen stattfinden können. Die Wechselwirkung zwischen Zulufttemperatur, Heizlast und Luftwechsel wird im Kapitel 2.2.3.1 dargestellt.

### Akustik der Lüftungsanlage

Schlafbereiche unhörbar, sozusagen unter der Hörschwelle.

Schlafbereich  $\leq 20$  dB(A)

Aufenthaltsräume  $\leq 23$  dB(A)

Bad, WC  $\leq 25$  dB(A)

Für geringe Volumenströme, wie sie in Passivhäusern vorliegen, gibt es fast keine Kenndaten für Luftauslässe. Als Ausweg könnte die zulässige Schalleistung berechnet und diese als Kriterium in die Ausschreibung aufgenommen werden.

### Vermeidung zu geringer Luftfeuchten im Winter und zu hoher CO<sub>2</sub>-Konzentrationen der Innenluft

Lüften ist notwendig, um Schadstoffe wie CO<sub>2</sub> und andere Luftschadstoffe, die von Möbeln, Pflanzen, Menschen und Tieren emittieren, abzuführen. Zuviel Lüften kann im Winter zu geringen Luftfeuchten führen. Zu hohe Luftwechsel führen zu geringen Luftfeuchten, Zugerscheinungen und Strömungsgeräuschen. Der Anlagenluftwechsel wird daher auf  $< 0,4$  1/h begrenzt. Hohe Luftfeuchten sollten ebenfalls vermieden werden.

### Empfundene Temperatur in der Nähe der Verglasung

Bei Abweichungen vom Passivhauskriterium  $U_w \leq 0.8$  W/m<sup>2</sup>K ist ein Nachweis nach DIN 1946 notwendig.

### Empfundene Temperatur in den Wohneinheiten und Nutzungstoleranz

Die Auslegung erfolgt in den Normen mit 20 °C Lufttemperatur. Beim vorliegenden Projekt erfolgt die Auslegung mit 22 °C empfundener Temperatur (Lufttemperatur + Oberflächentemperatur). Die 22 °C sind unter der Voraussetzung, dass alle Wohnungen des Passivhauses beheizt werden, zu verstehen. Ansonsten beispielsweise bei Leerstand aller Nachbarwohnungen müssen mindestens 20 °C erreicht werden. Geringere Temperaturen in den Schlafzimmern sollten angedacht werden.

### 3 Berechnungsverfahren

In diesem Kapitel sind Methoden für die Berechnung der bauphysikalischen Gebäudeperformance beschrieben. Neben Berechnungsverfahren wurden in der Vergangenheit auch dynamische Simulationen eingesetzt [PFL00]. Eine Weiterentwicklung der dynamischen Simulation zum Nachweis der hygienischen Tauglichkeit der haustechnischen Anlage wird dargestellt.

#### 3.1 Kriterien und Nachweisverfahren

##### 3.1.1 Heizwärmebedarf

Die Ermittlung des erforderlichen Heizwärmebedarfes erfolgt nach ÖNORM EN 832. [ONO98]

##### 3.1.2 Heizlast

Die gültige Norm zur Ermittlung der Heizlast ist ÖNORM M 7500. [ONO83]

Mit der statischen Berechnung nach dieser Norm wird die Heizlast für Passivhäuser überschätzt, da interne und solare Gewinne keine Berücksichtigung finden.

Die Raumtemperatur der Wohnungen wird aufgrund von Erfahrung mit ausgeführten Bauten (siehe Kapitel 2.1) bei den folgenden Berechnungen mit 22 °C angesetzt. Fremdbeheizte Wohnungen werden im Gegensatz zur Normvorgabe von 15 °C in der Heizlastberechnung ebenfalls mit 22 °C angesetzt. Eine Risikoanalyse, die diese Abweichung zur Norm rechtfertigt, ist in Kapitel 9 enthalten.

In ÖNORM M 7500 wird die Norm-Außentemperatur festgelegt als der niedrigste Zweitagesmittelwert der Lufttemperatur eines Ortes, der 10mal in 20 Jahren erreicht oder unterschritten wurde. In Wien beträgt die Norm-Außentemperatur -12 °C. Um das einfache Normverfahren für Passivhäuser zu adaptieren, wurde die Außentemperatur modifiziert. Die Abschätzung der Heizlast erfolgte in Anlehnung an ÖNORM M 7500 [ONO83] mit einer modifizierten Außentemperatur. Diese wurde aus dem Vergleich der Heizlastermittlung nach ÖNORM M 7500 und der des dynamischen Simulationsmodells von Kapitel 6.1.2 mit jeweils den gleichen Eingabewerten ermittelt.

In der folgenden Tabelle sind die Heizlasten der vier Zonen, berechnet mit dem Simulationsprogramm ESP-r [ESR02] und im Vergleich dazu nach ÖNORM M 7500, aufgelistet.

Geschoss	Heizlasten in W berechnet mit			
	ESP-r mit Wien 1997	ESP-r mit $t_{ne} = -12\text{ °C}$	ÖNORM M 7500 mit $t_{ne} = -12\text{ °C}$	ÖNORM M 7500 mit $t_{e,mod} = -6\text{ °C}$
<b>EG</b>	563	644	976	784
<b>1.OG</b>	393	449	597	471
<b>2.OG</b>	393	449	597	471
<b>3.OG</b>	553	632	886	710

Tab. 2. Heizlasten berechnet mit ESP-r und nach ÖNORM M 7500

Bei allen Berechnungen wurden interne Gewinne von 1,6 W/m<sup>2</sup> berücksichtigt. [FEI00] In der Spalte „ESP-r mit Wien 1997“ sind die Ergebnisse der Heizlast des Simulationsmodells von Kapitel 6.1.2 der Variante mit durchschnittlichem Fensteranteil und mit zentraler Lüftungsanlage für das Klima Wien 1997 dargestellt. Der niedrigste Zweitagesmittelwert der Lufttemperatur von Wien 1997 ist -7,76 °C. Die Zweitagesmitteltemperatur von Wien 1997

wurde auf die Auslegungstemperatur von  $-12\text{ °C}$  skaliert, wodurch sich die Heizlasten in der Spalte „ESP-r mit  $t_e = -12\text{ °C}$ “ ergeben.

In der nächsten Spalte sind diese Heizlasten nach dem Normrechenverfahren der ÖNORM M 7500 dargestellt, wobei fremdbeheizte Wohnungen mit  $22\text{ °C}$  in die Berechnung eingehen. In der letzten Spalte befinden sich die Heizlasten, die mit einer modifizierten Außentemperatur  $t_{e,mod}$  von  $-6\text{ °C}$  berechnet wurden. Die Heizlasten für alle Geschosse liegen über den Werten der dynamischen Simulation skaliert auf die Norm-Außentemperatur und damit auf der sicheren Seite.

### 3.1.3 Sommerlicher Wärmeschutz

Nach ÖNORM B 8110-3 [ONO99] ist die Grenztemperatur zur sommerlichen Überwärmung  $27\text{ °C}$  am Tage und  $25\text{ °C}$  in der Nacht.

Im Hinblick auf die Einhaltung der Behaglichkeitskriterien ist eine sommerliche Überwärmung der Wohnräume durch bauliche Maßnahmen zu vermeiden. Mit dem im folgenden vorgestellten Berechnungsverfahren können Gebäude nach ihrer sommerlichen Tauglichkeit klassifiziert werden.

#### 3.1.3.1 Berechnungsverfahren

Das in [ROV00] vorgestellte Berechnungsverfahren für das sommerliche Verhalten von Gebäuden ist eine Weiterentwicklung der ÖNORM EN 832. [ONO98] Im Monatsverfahren dieser Norm können solare und interne Gewinne im Maße des Ausnutzungsgrades  $\eta$  den Heizwärmebedarf mindern. Durch den nicht nutzbaren Gewinnanteil  $(1 - \eta)$  steigt die Raumtemperatur.

Als Kenngröße für die Überwärmung werden die normierten, nicht nutzbaren Wärmegewinne verwendet, die als Übertemperaturgradstunden interpretiert werden können. Diese errechnen sich aus der Summe der Monatswerte der nicht nutzbaren Wärmegewinne bezogen auf den mittleren Wärmeverlustkoeffizienten:

$$Q_{NN} = \sum_{i=1}^{12} Q_{NN,i} = \sum_{i=1}^{12} \frac{(1 - \eta_i) \cdot Q_{G,i}}{H_i} \quad (1.)$$

Dabei bedeuten:

$Q_{NN}$	normierte, nicht nutzbare Gewinne in Kh
$Q_{NN,i}$	normierte, nicht nutzbare Gewinne des Monats $i$ in Kh
$\eta_i$	Ausnutzungsgrad des Monats $i$
$Q_{G,i}$	Wärmegewinne des Monats $i$ in Wh
$H_i$	mittlerer Wärmeverlustkoeffizient des Monats $i$ in W/K

Der mittlere Wärmeverlustkoeffizient eines Monats errechnet sich aus dem Transmissionsleitwert  $H_T$  und dem Lüftungsleitwert  $H_{L,i}$ . Letzterer hängt von der an die Sommerverhältnisse angepassten Luftwechselzahl ab. Zur Berechnung der wirksamen Speicherkapazität, die den monatlichen Ausnutzungsgrad  $\eta$  bestimmt, muss aus Genauigkeitsgründen ÖNORM EN ISO 13786 [ONO00] verwendet werden.

Nach [KOL96] besteht eine Korrelation zwischen den normierten, nicht nutzbaren Gewinnen und der Häufigkeit des Überschreitens der Grenztemperatur zur sommerlichen Überwärmung.

### 3.1.3.2 Überwärmung bei Wiener Klimabedingungen

Unter den Wiener Klimabedingungen von 1997 wurden Simulationen für leichte, gemischte und schwere Bauweisen vorgenommen, um die Überschreitung der Grenztemperatur zu bestimmen. Für die untersuchten Varianten wurden die jeweils zugehörigen normierten nicht nutzbaren Gewinne nach dem vorgestellten Verfahren ermittelt.

Nr.	Bauweise <sup>1)</sup>	Speicherkapazität in kJ/m <sup>2</sup> K	Außenbauteil <sup>2)</sup>	Fenstergröße		Luftwechsel		Sonstiges	QNN in Kh	H>26°C in %
				Süd	Nord	7-19 Uhr	19-7 Uhr			
1	schwer	63998	B,S,O,N	9,5	4,2	1	1		22892	28,90
2	schwer	64311	S,O,N	9,5	4,2	1	1		27206	36,52
3	schwer	65571	S,O,N	9,5	4,2	1	1		27200	35,88
4	schwer	63998	B,W,N,O	9,5	4,2	1	1	nach Osten gedreht	23980	33,79
5	schwer	64311	W,N,O	9,5	4,2	1	1	nach Osten gedreht	28386	37,99
6	schwer	65571	W,N,O	9,5	4,2	1	1	nach Osten gedreht	28382	37,66
7	schwer	63998	B,S,O,N	9,5	4,2	2	2		8111	8,16
8	schwer	64311	S,O,N	9,5	4,2	1,5	1,5		15180	18,98
9	schwer	64311	S,O,N	9,5	4,2	2	2		9190	10,75
10	schwer	65571	S,O,N	9,5	4,2	3	3		3819	5,90
11	schwer	63998	B,S,O,N	9,5	4,2	2	2	Qi=0	5168	4,92
12	schwer	66320	S,O,N	3,8	4,2	2	2	Qi=0	3028	2,66
13	schwer	68284	S,O,N	1,9	4,2	3	3	Qi=0	419	0,95
14	gemischt	36751	B,S,O,N	9,5	4,2	1	1	Holzdecke, Betonwände	23307	30,67
15	leicht	22910	S,O,N,W	9,5	4,2	1,5	1,5		12279	20,07
16	leicht	23074	S,O,N,W	5,7	4,2	2	2		4674	7,90
17	gemischt	65128	S,O,N	9,5	4,2	1,5	1,5	Holzdecke, Betonwände	12849	19,67
18	gemischt	36751	B,S,O,N	9,5	4,2	1	2	Holzdecke, Betonwände	13638	15,66
19	leicht	22910	S,O,N	9,5	4,2	2	1		12279	22,32
20	gemischt	65128	S,O,N	9,5	4,2	1,75	1,75	Holzdecke, Betonwände	10019	14,87
21	schwer	63998	B,S,O,N	9,5	4,2	2	0,5	Qi=0	11619	17,93
22	schwer	64311	S,O,N	9,5	4,2	2	1		15153	22,53
23	schwer	66320	S,O,N	3,8	4,2	3	1		3028	4,10
24	schwer	68284	S,O,N	1,9	4,2	1	0,5		8429	12,68
25	schwer	63998	B,S,O,N	9,5	4,2	0,5	2	Qi=0	11619	10,82
26	schwer	64311	S,O,N	9,5	4,2	1	2		15153	18,06
27	schwer	66320	S,O,N	3,8	4,2	1	3		3028	2,45
28	schwer	68284	S,O,N	1,9	4,2	0,5	1		8429	7,65
29	schwer	63998	B,S,O,N	9,5	4,2	1,25	1,25	Qi=0	11619	12,21
30	schwer	64311	S,O,N	9,5	4,2	1,5	1,5		15153	18,98
31	schwer	68284	S,O,N	1,9	4,2	0,75	0,75		8429	9,81
32	schwer	64677	B,S,O,N	7,5	4,2	1	1		18087	21,26
33	schwer	65756	S,O,N	9,5	0,0	1	1		21282	26,99
34	schwer	65615	S,O,N	5,7	4,2	1	1		16981	21,51
35	schwer	65571	S,O,N	9,5	4,2	1	1	Qi=0	19623	23,63
36	gemischt	38759	B,S,O,N	3,8	4,2	1	1	Holzdecke, Betonwände	9773	9,66
37	leicht	22910	S,O,N,W	9,5	4,2	1,5	3	Qi=0	4888	8,28
38	leicht	23074	S,O,N,W	5,7	4,2	2	2	Qi=0	2521	5,08
39	leicht	23239	S,O,N,W	1,9	4,2	1,5	1,5		2532	5,23

<sup>1)</sup> schwere Bauweise: Wände und Decken aus Beton; leichte Bauweise: Wände und Decken aus Holz

<sup>2)</sup> die angeführten Bauteile Süd-, Ost-, Nordwand und Boden grenzen an Außenklima

Tab. 3. Zusammenstellung der Varianten

Als Grundlage für die Simulationsvarianten wurde das Modell von Kapitel 6.1.2 „Performancevergleich zentrale und dezentrale Wärmerückgewinnung“ benutzt. In der obigen

Tabelle sind die davon abweichenden Spezifikationen der untersuchten Varianten, die Werte für die normierten nicht nutzbaren Gewinne und die Überschreitungshäufigkeiten, aufgelistet.

Der Zusammenhang aus den normierten nicht nutzbaren Gewinne  $Q_{NN}$  und der Überschreitungshäufigkeit der Raumlufttemperatur von 26 °C, abgekürzt mit H26, ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

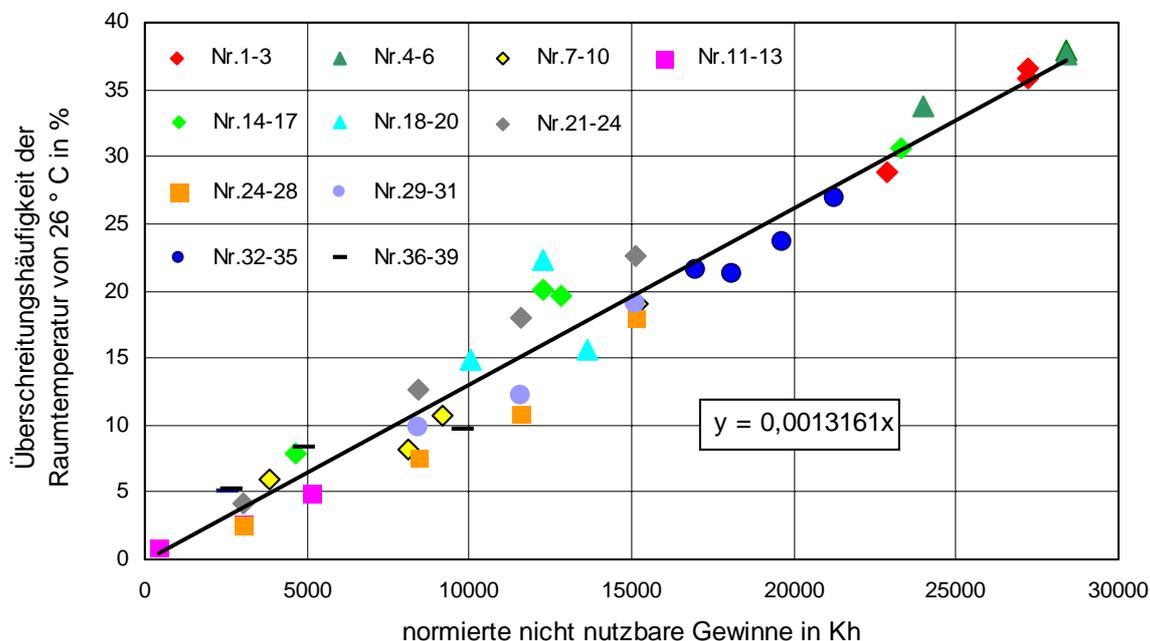


Abb. 6. H26 in Abhängigkeit von  $Q_{NN}$  für Wiener Klima

Eine Vergleichsberechnung mit der ÖNORM B 8110-3 zeigt, dass eine Überschreitungshäufigkeit H26 von 0.25% zulässig ist, damit auch die Anforderungen der ÖNORM hinsichtlich der Vermeidung von sommerlicher Überwärmung erfüllt sind.

### **Ergebnis Überwärmung bei Wiener Klimabedingungen**

Der Zusammenhang zwischen normierten, nicht nutzbaren Gewinnen und der Überschreitungshäufigkeit von 26 °C bei den herrschenden Klimabedingungen in Wien wird mit der linearen Regressionsgeraden  $H26 = 0,001361 * Q_{NN}$  charakterisiert. Um ein behagliches Innenklima für die Bewohner sicherzustellen, soll die Grenztemperatur im Raum von 26 °C nicht überschritten werden.

## **3.2 Gebäudemodell mit Buildopt**

### **3.2.1 Programmbeschreibung**

Das Programm Buildopt [BED02] ermöglicht das Erstellen eines Multizonenmodells eines Gebäudes. Folgende Kenngrößen eines Gebäudes können ermittelt werden:

#### **Verschattung**

Aus den geometrischen Eingaben für das Gebäude und der Umgebung wird monatsweise 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 Verschattungsberechnung wird für jeden Monat an einem Tag in Monatsmitte durchgeführt.

### 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. [ONO98] In den Berechnungen wird das Wiener Klima des Jahres 1997 verwendet.

### Heizlast

Die Abschätzung der Heizlast wird nach dem im Kapitel 3.1.2 vorgestellten Verfahren berechnet.

### Sommerverhalten

Die Übertemperaturgradstunden werden nach dem im Kapitel 3.1.3 vorgestellten Verfahren berechnet.

### Variationen

Das Programm ermöglicht die Variation der Eingabeparameter für die Dämmstärken der Konstruktionen, die Fenstergrößen, die Fenstertypen und die Größe der Verschattungselemente. Daraus werden die Zusammenhänge zwischen den Eingabeänderungen und den bauphysikalischen Kenngrößen und den Kosten ermittelt. Damit kann die Optimierung des Gebäudes unterstützt werden.

## 3.2.2 Eingabedaten Geometrie

Die geometrischen Eingaben basieren auf den architektonischen Vorgaben. In der folgenden Abbildung ist ein Drahtgittermodell der Geometrie von Haus 2 Projekt Utendorfgasse exemplarisch dargestellt. Fenster werden rot, Verschattungsflächen inklusive einem Teil der Tiefgarage blau dargestellt.

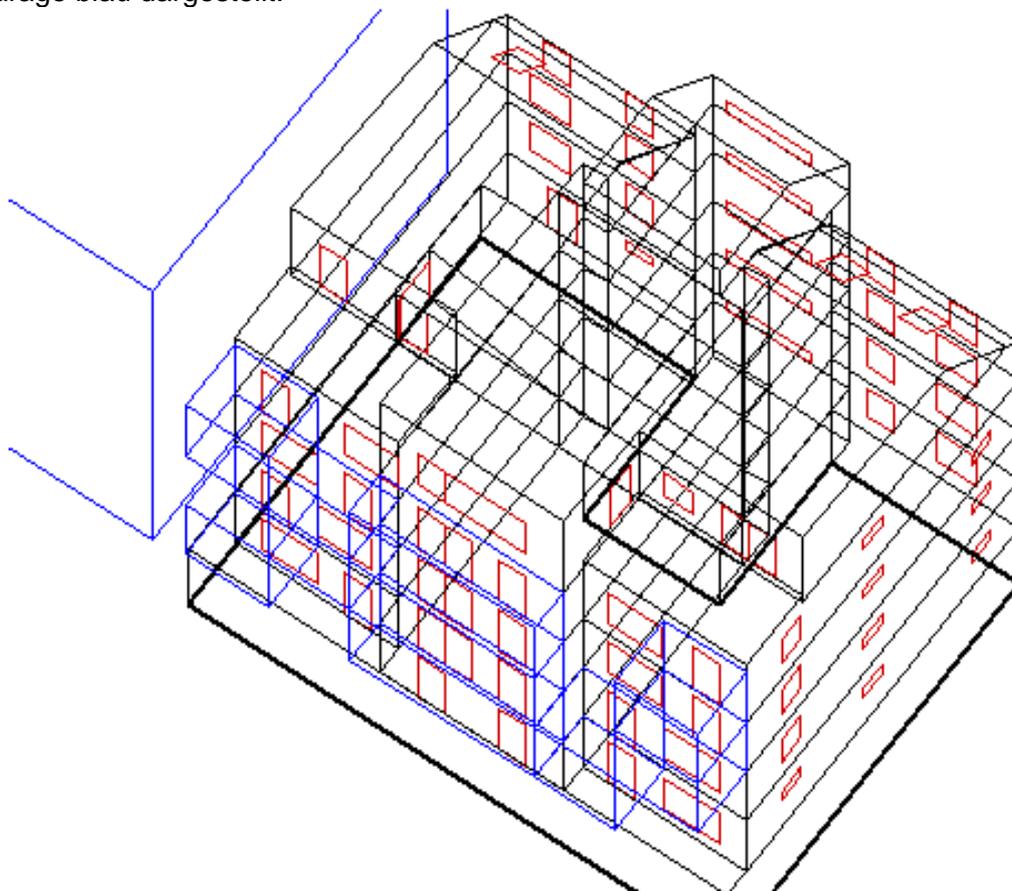


Abb. 7. Drahtgittermodell von Haus 2 der Utendorfgasse [BED02]. Die Darstellung der Fenster erfolgt in rot und der Verschattungsflächen in blau.

### 3.3 Anlagenmodell mit Simulink

Das Anlagenmodell wurde im Rahmen der Dissertation „Hygienischer Tauglichkeitsnachweis und Optimierung der bauphysikalischen Performance von Gebäuden in Passivbauweise“ von Christian Jachan am Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik der TU Wien erstellt. [JAC03]

Zur Berechnung der Verhältnisse im Innenraum und in der Lüftungsanlage wird ein dynamisches Simulationsmodell verwendet. Die Kriterien zur Beurteilung im Hinblick auf die Behaglichkeit und auf die hygienische Zuverlässigkeit sind die Oberflächentemperaturen, Lufttemperaturen und die Luftfeuchte.

Das Programm Matlab mit dem Programmaufsatz Simulink [MAT01] fand bei der Modellierung und der dynamischen Simulation der Haustechnikanlage Verwendung. Diese Programmumgebung wurde speziell für die Simulation von dynamischen Systemen entwickelt. Funktionsblöcke aus Bibliotheken werden in einem grafischen Fenster zu einem Modell des Systems verknüpft. Funktionsblöcke können erweitert bzw. neu definiert werden.

Zur Modellierung des Gebäudes wurde die Erdgeschoßwohnung 2.2 im Haus 2 verwendet. Alle Eingaben des Modells wie Abmessungen, Konstruktionsaufbauten, Nutzung, Außenklima etc. entsprechen den Eingabewerten in Buildopt. Die Solareinträge auf die Fenster, die sich aus der Verschattungsberechnung in Buildopt ergeben, wurden übernommen.

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

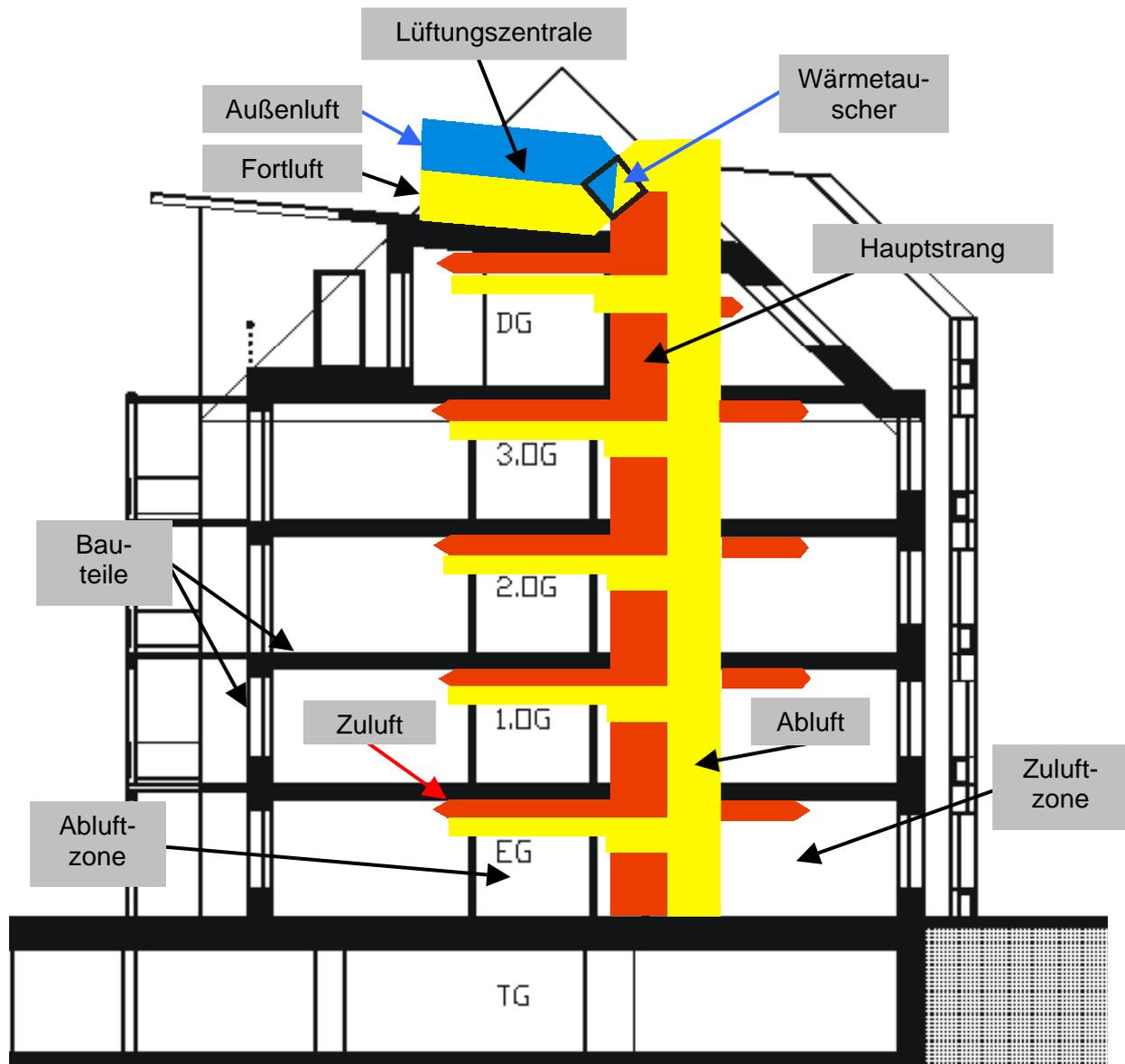


Abb. 8. Schematische Darstellung der Bestandteile des Modells

### 3.3.1 Zonen

Die Wohnung wurde in vier Zonen unterteilt. Die beiden nordseitigen Zimmer wurden zu einer Zuluftzone mit  $25,41 \text{ m}^2$  zusammengefasst. Der Gang mit  $10,38 \text{ m}^2$  entspricht der Überströmzone und das Bad, das WC und der Abstellraum wurden als Abluftzone mit einer Fläche von  $8,44 \text{ m}^2$  modelliert. Der südorientierte Wohnraum mit einer Wohnnutzfläche von  $29,73 \text{ m}^2$  ist Zu- und Abluftzone. Die Raumhöhe in den Wohnräumen ist  $2,5 \text{ m}$  und im Gang sowie im Sanitärbereich  $2,2 \text{ m}$ .

Die im Folgenden ausgeführten Bilanzgleichungen für Wärme, Feuchte und Luft berücksichtigen die wesentlichen Zu- und Abflüsse in bzw. aus den Zonen.

### 3.3.1.1 Bilanzgleichung Wärme

Die Lufttemperatur in einer Zone wurde anhand der folgenden Bilanzgleichung berechnet.

$$\dot{T}_a * C_a = \sum_{i=1}^n \alpha_{\text{conv}} \cdot A_i \cdot (T_{o,i} - T_a) + \sum_{j=1}^o c_a \cdot \rho_a \cdot g_{\text{zu},j} \cdot T_{\text{zu},j} - \sum_{k=1}^p c_a \cdot \rho_a \cdot g_{\text{ab},k} \cdot T_{\text{ab},k} + \dot{Q} \quad (2.)$$

Dabei bedeuten:

- $\dot{T}_a$  Änderung der Lufttemperatur der Zone in K/s
- $C_a$  Kapazität der Luft in J/K, berechnet aus  $C_a = c_a \cdot \rho_a \cdot V$
- $c_a$  spezifische Wärmekapazität der Luft in J/kgK
- $\rho_a$  Dichte der Luft in kg/m<sup>3</sup>
- $V$  Volumen der Zone in m<sup>3</sup>
- $\alpha_{\text{conv}}$  konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in W/m<sup>2</sup>K
- $A_i$  Fläche i in m<sup>2</sup>
- $T_{o,i}$  Temperatur der Oberflächen i in K
- $g_{\text{zu},j}$  Luftmassenstrom j in die Zone in kg/s
- $T_{\text{zu},j}$  Temperatur des Zuluftmassenstroms j in K
- $g_{\text{ab},k}$  Luftmassenstrom k aus der Zone in kg/s
- $T_{\text{ab},k}$  Temperatur des Abluftmassenstroms k in K
- $\dot{Q}$  konvektive interne Wärmegewinne in W

Die folgende Gleichung wird zur Berechnung der mittleren Strahlungstemperatur verwendet.

$$T_{\text{rad}} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i} \left( \sum_{i=1}^n A_i \cdot T_i + \frac{Q_{\text{rad}}}{\alpha_{\text{rad}}} \right) \quad (3.)$$

(4.)

Dabei bedeuten:

- $T_{\text{rad}}$  Änderung der Lufttemperatur der Zone in K
- $\alpha_{\text{rad}}$  Strahlungsübergangskoeffizient in W/m<sup>2</sup>K
- $Q_{\text{rad}}$  interne Strahlungswärmegewinne in W

### 3.3.1.2 Bilanzgleichung Luft

Der Luftdruck in einer Zone wurde nach der folgenden Bilanzgleichung errechnet.

$$\dot{p} * C = \sum_{j=1}^o g_{\text{zu},j} - \sum_{k=1}^p g_{\text{ab},k} \quad (5.)$$

Dabei bedeuten:

- $\dot{p}$  Änderung des Luftdruckes in der Zone in Pa/s

$$C \quad \text{Kapazität der Luft in kg/Pa, berechnet aus } C = \frac{V}{R_{\text{air}} \cdot T_a}$$

$$R_{\text{air}} \quad \text{Gaskonstante für Luft in J/kgK}$$

### 3.3.1.3 Bilanzgleichung Feuchte

Zur Berechnung des Wasserdampfpartialdruckes einer Zone wurde folgende Bilanzgleichung verwendet:

$$\dot{p}_v \cdot C_v = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot A_i \cdot (p_{v,s,i} - p_v) + \sum_{j=1}^o \frac{g_{zu,j} \cdot u_{zu,j}}{\rho_{zu,j}} - \sum_{k=1}^p \frac{g_{ab,k} \cdot u_{ab,k}}{\rho_{ab,k}} + \dot{M} \quad (6.)$$

Dabei bedeuten:

$\dot{p}_v$  Änderung des Wasserdampfpartialdruckes der Zone in Pa/s

$C_v$  Kapazität der Luft in kg/Pa, berechnet aus  $C_v = \frac{V}{R_{\text{H}_2\text{O}} \cdot T_a}$

$R_{\text{H}_2\text{O}}$  Gaskonstante für Wasser = 462 J/kgK

$\beta_i$  technischer Feuchteübergangswiderstand der Fläche  $i$  in  $\text{kg/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}$

$p_{v,s,i}$  Wasserdampfpartialdruck an der Oberflächen  $i$  in Pa

$p_v$  Wasserdampfpartialdruck der Zone in Pa

$u_{zu,j}$  Wasserdampfkonzentration des Zuluftmassenstroms  $j$  in  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{zu,j}$  Luftdichte des Luftmassenstroms  $j$  aus der Zone in  $\text{kg/m}^3$

$u_{ab,k}$  Wasserdampfkonzentration des Abluftmassenstroms  $k$  in  $\text{kg/m}^3$

$\rho_{ab,k}$  Luftdichte des Luftmassenstroms  $j$  aus der Zone in  $\text{kg/m}^3$

$\dot{M}$  interne Feuchteproduktion in  $\text{kg/s}$

Die Feuchtelast wurde gleichmäßig verteilt mit 10 kg/Tag für die 75 m<sup>2</sup> große Wohnung angenommen.

## 3.3.2 Bauteile

Die Bilanzgleichungen werden numerisch mit der Finiten Volumen Methode gelöst. Die Bauteile werden zur Berechnung in Schichten unterteilt, in denen lokal stationäre Verhältnisse angenommen werden. Aus Genauigkeitsgründen ist für die Berechnung die Obergrenze der Schichtdicke des Temperatursystems mit ca. 10 cm beschränkt. Da der Feuchtetransport mit größerer Trägheit stattfindet als der Wärmetransport, wird die Berechnung des Feuchtegehaltes in dünneren Schichten durchgeführt. Jeder Temperaturschicht werden fünf Feuchteschichten zugeordnet. Diese Maßnahme gewährleistet die korrekte Berechnung der beiden direkt zusammenhängenden Kenngrößen.

### 3.3.2.1 Wärmetransport und -speicherung

Als Eingangsgrößen für eine Schicht zur Berechnung der Temperaturen werden Daten aus dem vorhergegangenen und dem nachfolgenden System benötigt [HAG01]. Die Materialschicht an der Oberfläche erhält Information über Temperatur und Wärmeübergangskoeffizient von der angrenzenden Zone und von der folgenden Materialschicht. Die folgenden Materialschichten sind analog angeschlossen.

Die gekoppelte Berechnung des Wärme- und Feuchtehaushaltes der die Zonen umschließenden Bauteile findet in Subsystemen statt. In der folgenden Abbildung ist das System eines Bauteils schematisch dargestellt.

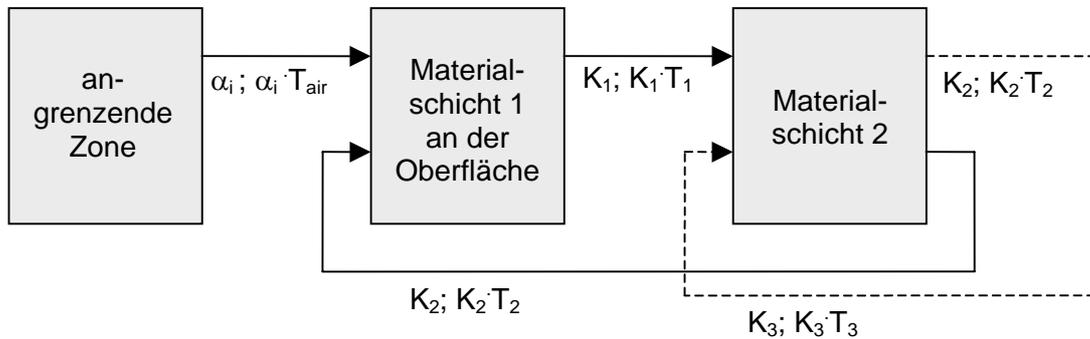


Abb. 9. Systematische Darstellung des Berechnungsablaufes für eine Temperaturschicht

Zur Berechnung der Temperaturen wird jeder Schicht im numerischen Bauteilmodell ein massebehafteter Knoten zugeordnet. In der folgenden Abbildung ist das numerische Modell von mehreren Materialschichten und von der Ankopplung an die angrenzende Zone dargestellt.

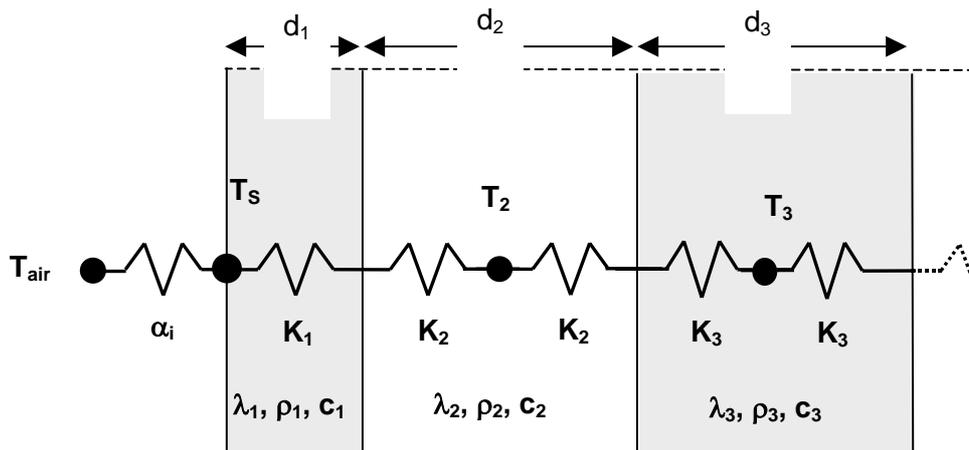


Abb. 10. Numerisches Modell der Materialschichten einer Wand

Unter Annahme von lokal stationären Bedingungen ergibt sich die folgende Bilanzgleichung für die Temperatur eines Materialknotens.

$$C_i \cdot \dot{T}_i = K_i \cdot (T_{s,i-1,i} - T_i) - K_i \cdot (T_i - T_{s,i,i+1}) \quad (7.)$$

Dabei bedeuten:

- $C_i$  Wärmekapazität der Materialschicht  $i$  in  $\text{J/Km}^2$
- $T_i$  Knotentemperatur der Materialschicht  $i$  in  $\text{K}$
- $K_i$  Wärmeleitfähigkeit einer Materialschicht in  $\text{W/Km}^2$
- $T_{s,i-1,i}$  Temperatur an der Schichtengrenze von Schicht  $i-1$  und Schicht  $i$  in  $\text{K}$

Die Kapazität  $C$  einer Schicht wird wie folgt berechnet.

$$C_i = c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \quad (8.)$$

Dabei bedeuten:

- $c_i$  spezifische Wärmekapazität des Baustoffes  $i$  in J/kgK
- $\rho_i$  Dichte des Baustoffes  $i$  in kg/m<sup>3</sup>
- $d_i$  Dicke der Schicht  $i$  in m

Die Wärmeleitfähigkeit für einen Knoten im Bauteil errechnet sich aus der nächsten Gleichung und für einen Knoten an der Bauteiloberfläche aus der darauf folgenden.

$$K_i = \frac{\lambda_i}{d_i/2} \quad (\text{Knoten im Inneren des Bauteils}) \quad (9.)$$

$$K_j = \frac{\lambda_j}{d_j} \quad (\text{Knoten an Bauteiloberfläche}) \quad (10.)$$

Dabei bedeuten:

- $\lambda_i$  Wärmeleitfähigkeit der Materialschicht  $i$  in W/mK

Die Grenzschichttemperatur ergibt sich nach der folgenden Formel.

$$T_{s,i-1,1} = \frac{K_{i-1} \cdot T_{i-1} + K_i \cdot T_i}{K_{i-1} + K_i} \quad (11.)$$

Die Knotentemperatur für einen Knoten im Bauteil ergibt sich aus der Bilanzgleichung nach einsetzen der Grenzschichttemperaturen.

$$C_i \cdot \dot{T}_i = \frac{K_{i-1} \cdot K_i}{K_{i-1} + K_i} (T_{i-1} - T_i) - \frac{K_i \cdot K_{i+1}}{K_i + K_{i+1}} (T_i - T_{i+1}) \quad (12.)$$

Für einen Oberflächenknoten ergibt sich folgende Formel.

$$C_i \cdot \dot{T}_i = \alpha_{\text{conv}} \cdot (T_a - T_i) + \alpha_{\text{rad}} \cdot (T_{\text{rad}} - T_i) - \frac{K_i \cdot K_{i+1}}{K_i + K_{i+1}} (T_i - T_{i+1}) \quad (13.)$$

### 3.3.2.2 Feuchtetransport und -speicherung

Einer Schicht zur Temperaturberechnung sind fünf Schichten im Feuchtemodell zugeordnet. Das verwendete Modell berücksichtigt Dampfdiffusion. Der Flüssigwasser- und der konvektive Feuchtetransport sind vernachlässigt. Die Berechnung des Feuchtehaushaltes wird analog zum Temperatursystem durchgeführt. Die Temperaturen entsprechen den Wasserdampfpartialdrücken und die Wärmeübergangs- bzw. Wärmedurchgangskoeffizienten entsprechen den Wasserdampfübergangs- bzw. Wasserdampfdurchgangskoeffizienten. Daraus ergibt sich die Bilanzgleichung für die Berechnung des Feuchtegehalts. Der Feuchtegehalt ist über die Sorptionsisotherme mit dem Wasserdampfpartialdruck verknüpft.

$$\frac{d_i}{5} \cdot \dot{u}_i = M_i \cdot (p_{v,s,i-1,i} - p_{v,i}) - M_i \cdot (p_{v,i} - p_{v,s,i,i+1}) \quad (14.)$$

$$u_i = u(p_{v,i}) \quad (15.)$$

Dabei bedeuten:

- $d_i$  Dicke der Materialschicht  $i$  in m
- $u_i$  Feuchtegehalt der Materialschicht  $i$  in kg/m<sup>3</sup>
- $p_{v,i}$  Wasserdampfpartialdruck der Materialschicht  $i$  in Pa

- $M_i$  Feuchteleitfähigkeit der Materialschicht  $i$  in  $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}$   
 $p_{\text{vs},i-1,i}$  Wasserdampfpartialdruck an der Schichtengrenze von Schicht  $i-1$  und Schicht  $i$  in Pa  
 $u(p_{\text{v},i})$  Sorptionsisotherme des Materials  $i$

Die Feuchteleitfähigkeit für Knoten im Bauteilinneren errechnet sich aus Gleichung 16 und für einen Knoten an der Bauteiloberfläche aus Gleichung 17 .

$$M_i = \frac{\Delta_i}{\mu_i \cdot d_i / 10} \quad (\text{im Inneren des Bauteils}) \quad (16.)$$

$$M_i = \frac{\Delta_i}{\mu_i \cdot d_i / 5} \quad (\text{an der Bauteiloberfläche}) \quad (17.)$$

Dabei bedeuten:

- $\Delta_i$  Dampfleitwert in  $\text{kg/m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}$  errechnet sich aus  $\Delta_i = \frac{D_0}{R_{\text{H}_2\text{O}} \cdot T_i}$   
 $D_0$  Diffusionskonstante von Wasserdampf in Luft in  $\text{m}^2/\text{s}$   
 $T_i$  Schichttemperatur in K  
 $\mu_i$  Diffusionswiderstandszahl der Schicht  $i$

Der Wasserdampfpartialdruck an der Grenzschicht ergibt sich nach der folgenden Formel.

$$p_{\text{vs},i-1,i} = \frac{M_{i-1} \cdot p_{\text{v},i-1} + M_i \cdot p_{\text{v},i}}{M_{i-1} + M_i} \quad (18.)$$

Der Feuchtegehalt für Knoten im Bauteilinneren ergibt sich aus den Bilanzgleichungen nach Einsetzen der Grenzschichtpartialdrücke.

$$\frac{d_i}{5} \cdot \dot{u}_i = \frac{M_{i-1} \cdot M_i}{M_{i-1} + M_i} (p_{\text{v},i-1} - p_{\text{v},i}) - \frac{M_i \cdot M_{i+1}}{M_i + M_{i+1}} (p_{\text{v},i} - p_{\text{v},i+1}) \quad (19.)$$

Für einen Oberflächenknoten ergibt sich folgende Formel.

$$\frac{d_i}{5} \cdot \dot{u}_i = \beta_t \cdot (p_{\text{v},i-1} - p_{\text{v},i}) - \frac{M_i \cdot M_{i+1}}{M_i + M_{i+1}} (p_{\text{v},i} - p_{\text{v},i+1}) \quad (20.)$$

Dabei bedeuten:

- $\beta_t$  technischer Feuchteübergangskoeffizient in  $\text{kg/m}^2\cdot\text{s}\cdot\text{Pa}$

### 3.3.3 Verbindungen zwischen Zonen

Thermisch und hygri sch sind die Zonen über Trennwände und Türen verbunden. Zwischen Zuluft- und Überströmzone bzw. zwischen Überström- und Abluftzone sind Überströmöffnungen mit einem Druckverlust von kleiner als 1 Pa vorgesehen.

### 3.3.4 Lüftungsanlage

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

### 3.3.4.1 Wohnungsstrang

Der Wohnungsstrang ist mit 5 cm Rohrdämmung umfasst und tauscht Energie mit der Raumluft aus. Die Bestandteile sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

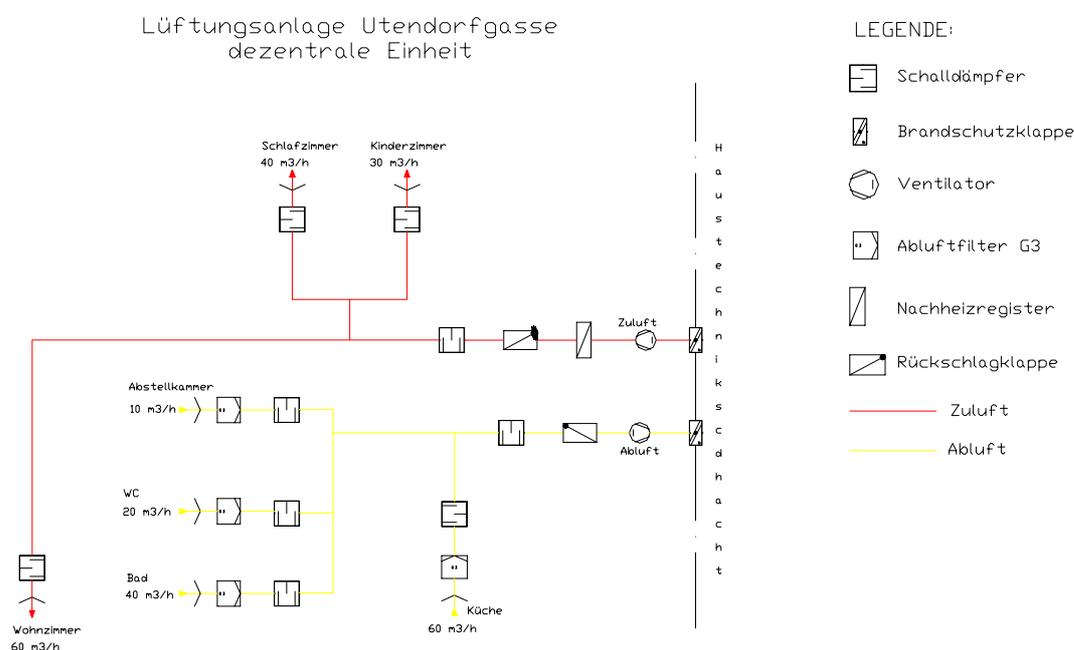


Abb. 11. Bauteile des Wohnungsstranges

#### Nachheizregister

Die Regelung des Nachheizregisters zielt auf 22 °C empfundene Temperatur in der Zuluftzone ab. Die maximale Heizlast ist mit 10 W/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche begrenzt.

#### Ventilatoren

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

### 3.3.4.2 Hauptstrang

Die Zu- und Ablufthauptstränge der Lüftungsanlage aus Blech mit einer Nennweite von 400 mm sind im Haustechnikschacht angeordnet und ungedämmt. Der Hauptschacht hat einen lichten Querschnitt von 80/200 cm und grenzt mit einer Breitseite an das Stiegenhaus, das mit einer konstanten Lufttemperatur von 16 °C angesetzt ist. Eine Schmalseite grenzt an die Überströmzone und die beiden anderen Seiten haben die Wohnung 2.1 mit konstant 22 °C Lufttemperatur als Nachbar. Die Wände des Hauptschachtes sind aus 18 cm Stahlbeton und 5 cm Wärmedämmung aufgebaut.

Zur Berechnung des Hauptzuluftstranges wurde der 13-fache Massenstrom von Wohnung 2.2 angesetzt. Dieser Faktor ergibt sich in etwa aus dem Flächenverhältnis der gesamten Wohnnutzfläche zum Anteil von Wohnung 2.2. Beim Abluftstrang wurde analog vorgegangen.

### 3.3.4.3 Lüftungszentrale

Die am Dach untergebrachte Lüftungszentrale hat eine Grundfläche von 3 m mal 5 m und ist 1,5 m hoch. Die Einhausung der Lüftungszentrale weist an den Außenflächen 30 cm Wärme-

dämmung auf. Die Bodenfläche tauscht über die Dachkonstruktion mit 40 cm Dämmung mit der Dachwohnung 2.12, die eine konstante Lufttemperatur von 22 °C hat, Energie aus. Der Wärmetauscher hat eine Länge von 4 m, eine Breite von 0,8 m, eine Höhe von je 1,2 m und ist allseitig mit 20 cm Dämmstoff versehen. Um den Wärmeverlust zur Lüftungszentrale zu berechnen, ist der Wärmetauscher mit einer mittleren Temperatur aus dem Außenluft-, dem Zuluft, dem Abluft und dem Fortluftstrom angesetzt. Die Bestandteile sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

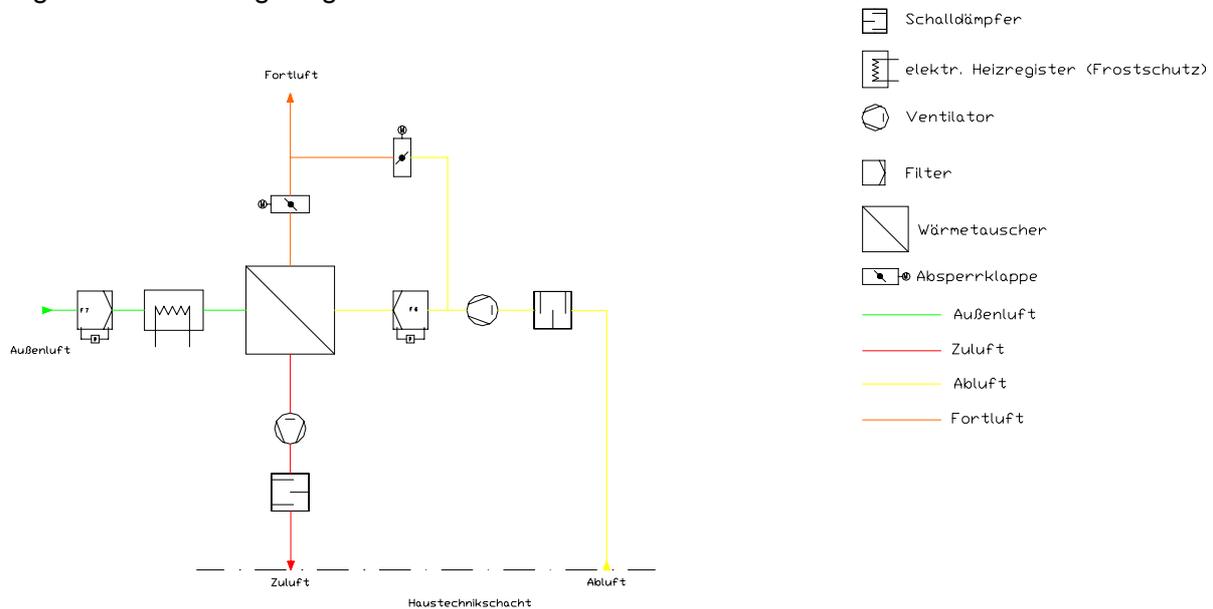


Abb. 12. Bestandteile der Lüftungszentrale

**Frostschutzregister**

Zum Schutz vor Vereisung des Wärmetauschers ist ein elektrisch betriebenes Frostschutzregister angeordnet, dass bei Unterschreitung der Außentemperatur von -2,5 °C in Betrieb geht.

**Wärmerückgewinnungsanlage**

In der folgenden Tabelle sind die Wirkungsgrade in % des Wärmetauschers in Abhängigkeit des Volumenstromes V in m³/h aufgelistet.

V in m³/h	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500
%	80	80.8	81.4	81.7	82	82.4	83	83.5	84

Tab. 4. Wirkungsgrad des Wärmetauschers

**3.3.5 Fensterlüftung**

Die Fensterlüftung wird nach den Ansätzen von [MAS95] für den Volumenstrom berechnet.

$$\dot{V}_{ZU} = \frac{A_l}{2} \cdot \Theta \sqrt{c_1 \cdot u_{met}^2 + c_2 \cdot H_l \cdot \Delta\vartheta + c_3} \tag{21.}$$

Dabei bedeuten:

- A<sub>l</sub> lichte Öffnungsfläche in m² errechnet aus H x B
- H lichte Höhe der Öffnungsfläche in m
- B lichte Breite der Öffnungsfläche in m

Θ Durchflussverhältnis am betrachteten Fenster, berechnet aus  $\Theta = \frac{A_{eq(\alpha)}}{A_l}$

$A_{eq(\alpha)}$  äquivalente Öffnungsfläche in  $m^2$  beim Öffnungswinkel  $\alpha$ ,  
berechnet aus  $A_{eq(\alpha)} = \left( \frac{1}{A_1^2} + \frac{1}{A_s^2} \right)^{-0,5}$

$A_s$  tatsächliche Öffnungsfläche beim Öffnungswinkel  $\alpha$

$c_1$  Konstante mit 0,0056

$c_2$  Konstante mit 0,0037  $m/s^2K$

$c_3$  Konstante mit 0,012  $m^2/s^2$

$u_{met}$  Windgeschwindigkeit am Standort  $m/s$

$\Delta\vartheta$  Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenluft in K

Bei der Variante mit Fensterlüftung wurde im Schlafräum das Fenster mit der Architekturlichte von 100/160 cm und einer lichten Öffnungsfläche von 78/138 cm viermal am Tag für 15 Minuten geöffnet. Das Durchflussverhältnis  $\Theta$  ergibt sich aufgrund der Geometrie des Fensters mit 0,15.

## 4 Gebäudekonzept

Das folgend vorgestellte Gebäudekonzept der Utendorfgasse ist repräsentativ für den sozialen Wohnbau.

### 4.1 Übersicht

	<p><b>Passivwohnbau 1140 Wien, Utendorfgasse 7</b>        38 Wohneinheiten mit Tiefgarage, 3 Lifte, Mietergärten und alle Wohneinheiten mit Loggien oder Balkon, 2.778 m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche</p> <p><b>Bauträger:</b>        Heimat Österreich</p> <p><b>Generalplanung:</b>        Schöberl &amp; Pöll OEG</p> <p><b>Architektur:</b>        Arch. DI Franz Kuzmich</p> <p><b>Bauphysik:</b>        Schöberl &amp; Pöll OEG in Kooperation mit TU Wien - Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik</p> <p><b>Haus- und Elektrotechnik:</b>        TB DI Christian Steininger</p> <p><b>Tragwerksplanung:</b>        Werkraum ZT OEG</p>
<p><b>U-Werte:</b>        Außenwand 0,13 W/(m<sup>2</sup>K)        Oberste Geschoßdecke 0,10 W/(m<sup>2</sup>K)        Unterste Geschoßdecke 0,12 W/(m<sup>2</sup>K)        Fenster gesamt 0,8 W/(m<sup>2</sup>K)</p> <p><b>Energiekennzahlen:</b>        Heizwärmebedarf 14,49 kWh/m<sup>2</sup>a        Heizlast 9,13 W/m<sup>2</sup>        Empfundene Temperatur 22 °C        Primärenergiebedarf 118,70 kWh/m<sup>2</sup>a</p> <p><b>Nachweis der Energiekennzahlen:</b>        Dynamische Gebäude- und Anlagensimulation, Haustechnikanlage mittels Matlab/Simulink, Multizonenmodell mittels Buildopt</p>	<p><b>Konstruktion:</b>        Scheiben/Decken-Massivbauweise</p> <p><b>Heizung, Lüftung, Warmwasser:</b>        Semizentrale Lüftungsanlage:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• zentrale Wärmerückgewinnung, Luftfilterung, Stützventilatoren und elektrisches Vorheizregister als Frostschutz</li> <li>• dezentrale (pro Wohneinheit) Nachheizregister und drehzahlgeregelte Ventilatoren (4-stufige Volumenstromregelung durch die BewohnerInnen)</li> </ul> <p>Wärmerzeugung für Heizung und Warmwasserbereitung im gemeinsamen Gasbrennwertkessel mit Brauchwarmwasserspeicher. Versorgung des Nachheizregisters über Pumpenwarmwasser.</p> <p>Brauchwarmwasserverteilung mit Zirkulationsleitung und Zirkulationspumpe über Zeitschaltuhr gesteuert.</p> <p style="text-align: right;">Stand Ende 2002</p>

## 4.2 Architektonisches Konzept

### 4.2.1 Grundsätzliche städtebauliche Problemstellung

Die baustrukturelle Prämisse von Passivhäusern, nämlich optimale Kompaktheit (optimales Verhältnis Volumen/Oberfläche) bedeutet zunächst ein möglichst ausgewogenes Verhältnis von Gebäudelänge, Gebäudetiefe und Gebäudehöhe.

In innerstädtischen Gebieten ist jedoch die Bebauungsstruktur meist schon durch den Flächenwidmungs- und Bebauungsplan festgelegt. Vorgegeben ist darin die zulässige Höhe, die (maximale) Trakttiefe und meist durch die Blockstruktur die Orientierung der Baukörper. Die Trakttiefe beträgt in Wien im Regelfall 12-15 m, kann aber bis 20 m reichen.

Trakttiefe und Orientierung haben großen Einfluss auf die Wohnungsgrundrisse, insbesondere bei den im sozialen Wohnungsbau üblichen kleinen Wohnungen (Durchschnittsgröße 3-Zimmer-Wohnung  $75 \text{ m}^2$ ). Je tiefer die Wohnungen, desto schmaler müssen sie bei gleich bleibender Größe sein, wobei die minimale Breite einer Wohnung auch durch die erforderliche Anzahl der außenliegenden (zu belichtenden) Zimmer bestimmt wird. Sie kann bei zweiseitig orientierten 3-Zimmer-Wohnungen kaum unter 5 m betragen (was wiederum bei  $75 \text{ m}^2$  Nutzfläche eine maximale Trakttiefe von 15 m bedeutet).

### 4.2.2 Projekt Utendorfsgasse

Das gegenständliche Grundstück Utendorfsgasse 7 in Wien 14. hat eine Fläche von  $2.608 \text{ m}^2$ . Auf der Westseite schließt eine geschlossene Blockrandbebauung an.

Der Entwurf sieht drei Baukörper vor, von denen zwei an die bestehenden Feuermauern der benachbarten Häuser anschließen. Die Baukörper haben eine Länge von etwa 19 m und eine Tiefe von 15 m. Die bebaute Fläche beträgt ca.  $846 \text{ m}^2$ .

Alle Wohnungen haben südseitige Fenster und Loggien bzw. Balkone (im Dachgeschoss Terrassen).

Die Gebäude umfassen ein Erdgeschoss, 3 Obergeschosse und ein Dachgeschoss.

Die Erschließung der Baukörper erfolgt durch nordseitig gelegene Stiegenhäuser. Dadurch sind die meisten Wohnungen von zwei Seiten belichtet und können quergelüftet werden.

Die Erschließung durch Einzelstiegenhäuser hat auch Vorteile bei der Führung der für das Passivhauskonzept erforderlichen vertikalen Lüftungsleitungen (Zugänglichkeit vom Stiegenhaus, kurze Wege zu den angeschlossenen Wohnungen).

Das konstruktive Konzept sieht einen Scheibenbau (tragende Querwände) vor. Dadurch ist bei hoher Wirtschaftlichkeit eine große Nutzungsflexibilität gegeben.

Es sind folgende Wohnungstypen vorgesehen:

- 12 2-Zimmer-Wohnungen (2 Personen)
- 19 3-Zimmer-Wohnungen (3-4 Personen)
- 7 4-Zimmer-Wohnungen (4-5 Personen)

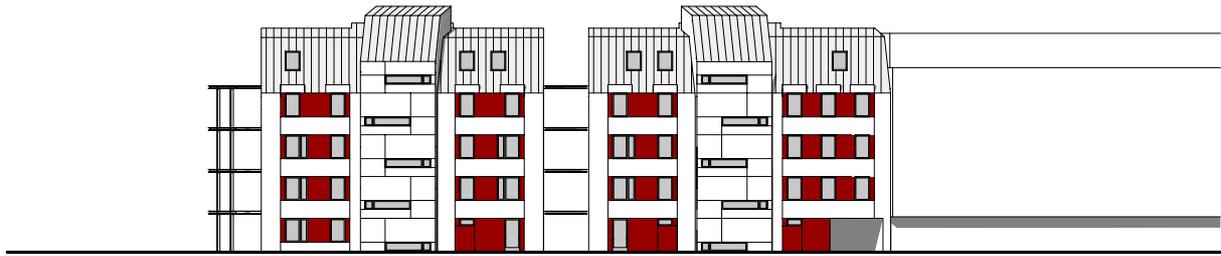
Insgesamt gibt es 38 Wohnungen mit einer Durchschnittsgröße von 73 m<sup>2</sup>. Die Gesamtwohnnutzfläche (inkl. Loggien) beträgt etwa 2.778 m<sup>2</sup>.

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

Die erforderlichen 38 Pflichtstellplätze werden unterirdisch in einer gemeinsamen Tiefgarage untergebracht. Die Einfahrt erfolgt in der Utendorfgasse.



Abb. 13. Utendorfgasse - Perspektive



ANSICHT NORD M 1 : 500

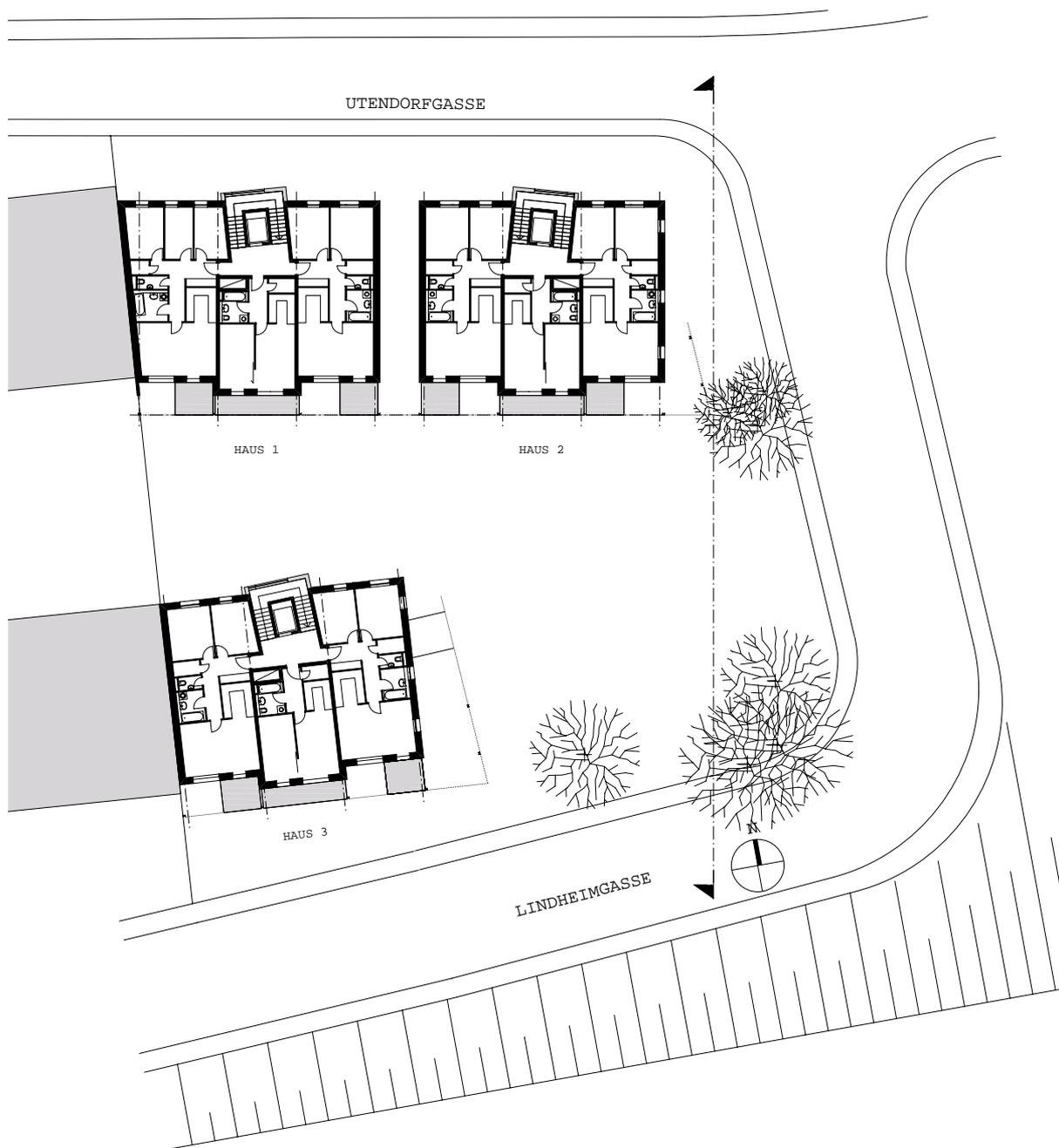


GRUNDRISS ERDGESCHOSS M 1 : 500

Abb. 14. Utendorfgasse - Erdgeschoß



ANSICHT OST M 1 : 500

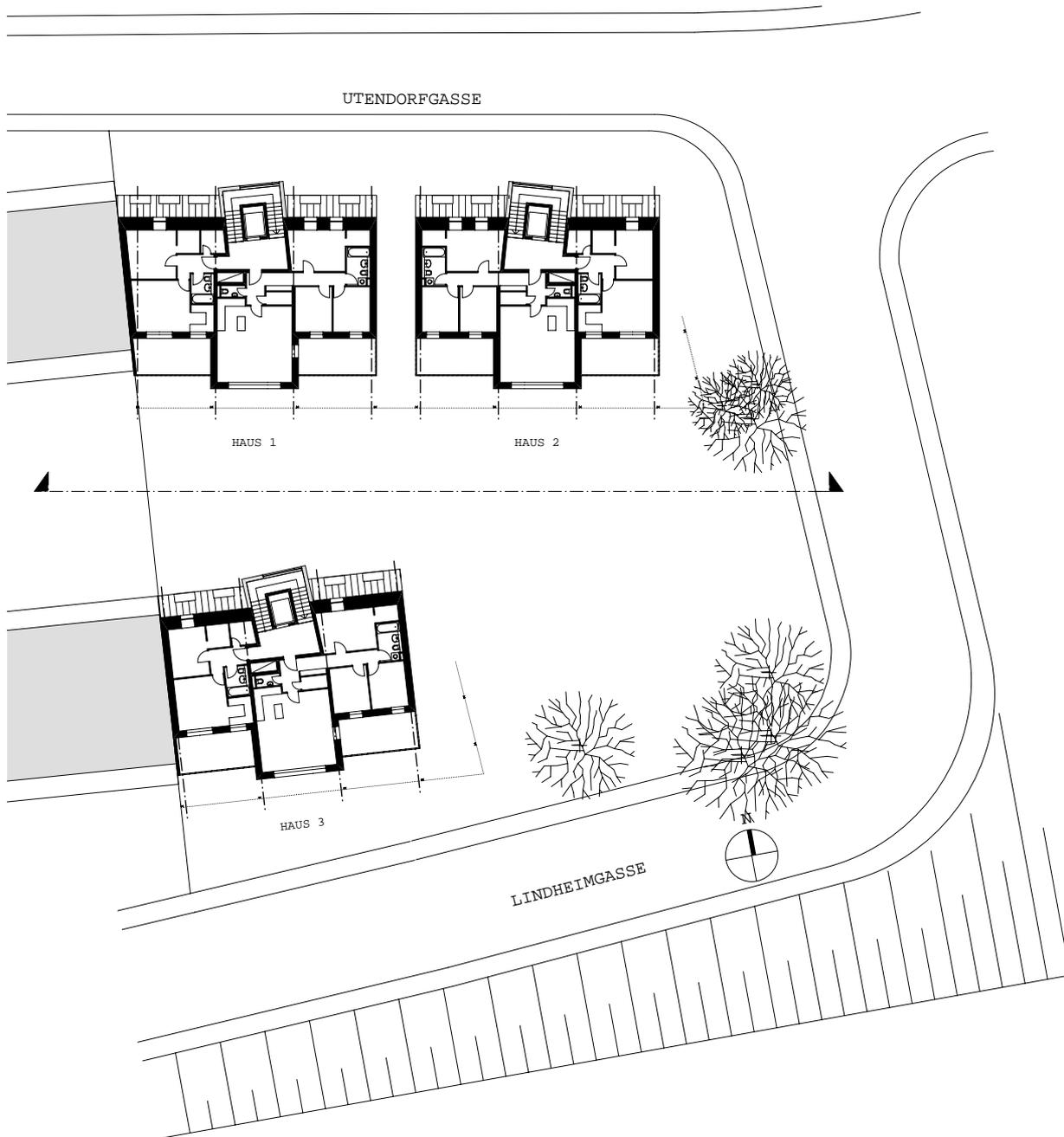


GRUNDRISS REGELGESCHOSS M 1 : 500

Abb. 15. Utendorfgasse - Regelgeschoss

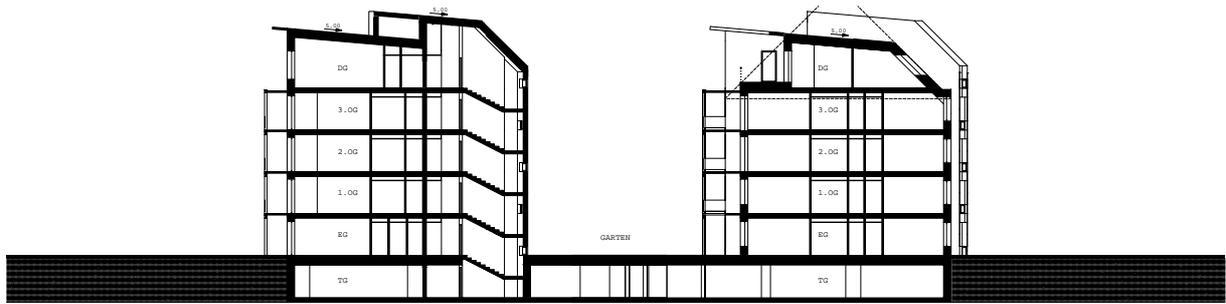


ANSICHT S D M 1 : 500

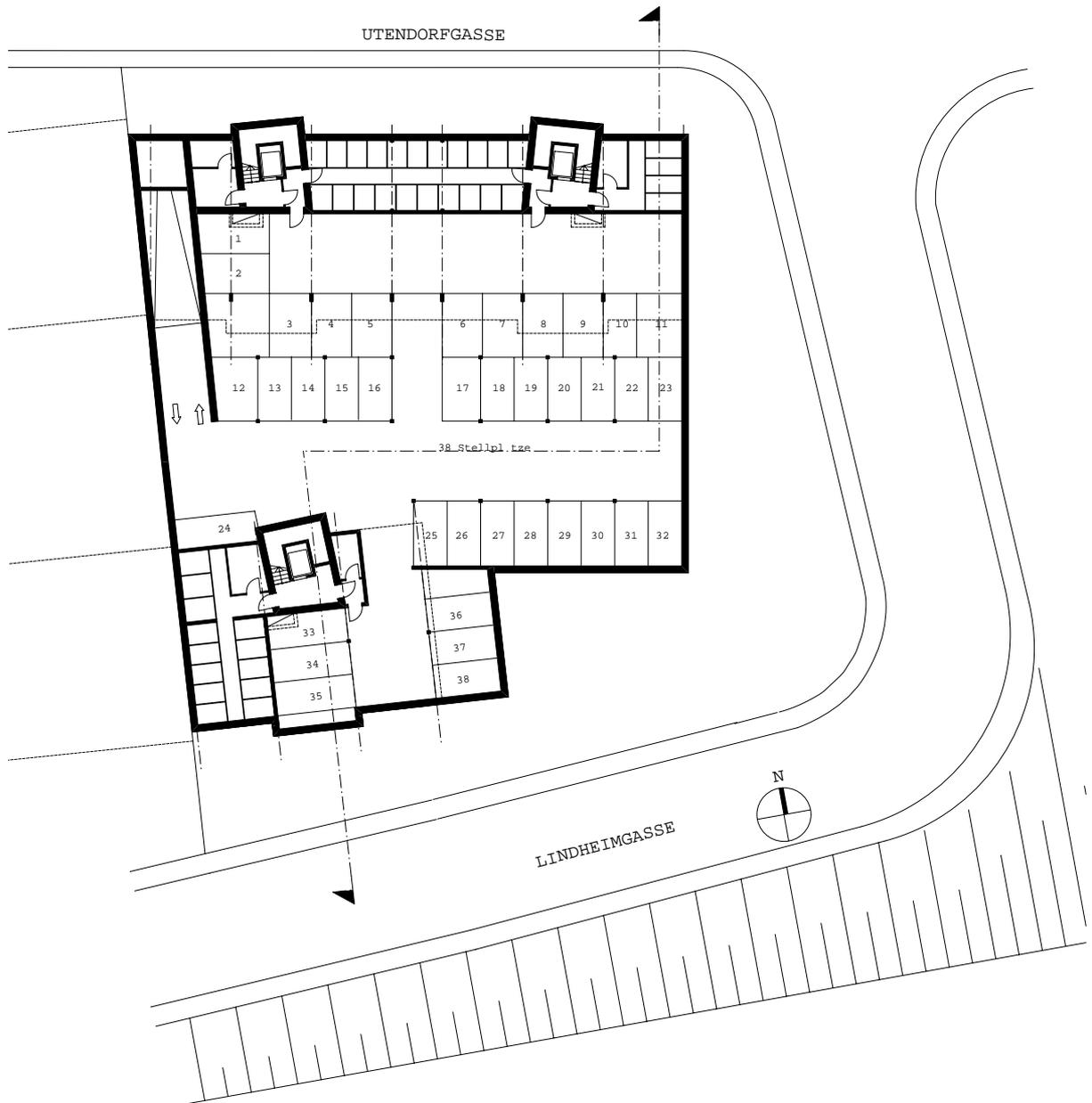


GRUNDRISS DACHGESCHOSS M 1 : 500

Abb. 16. Utendorfgasse - Dachgeschoß



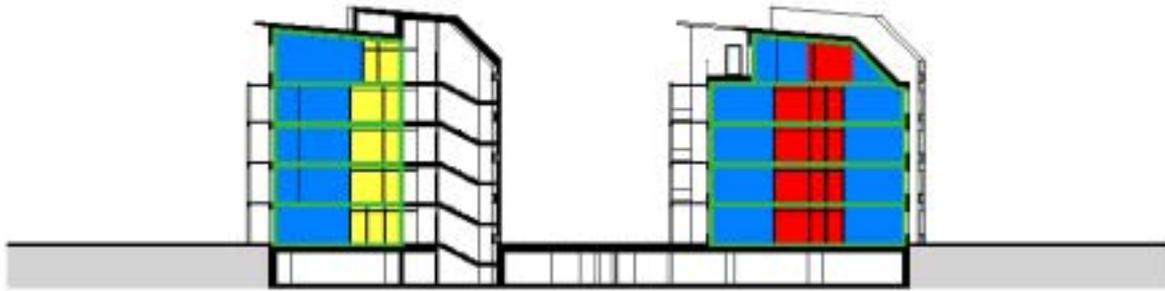
SNHNITT M 1 : 500



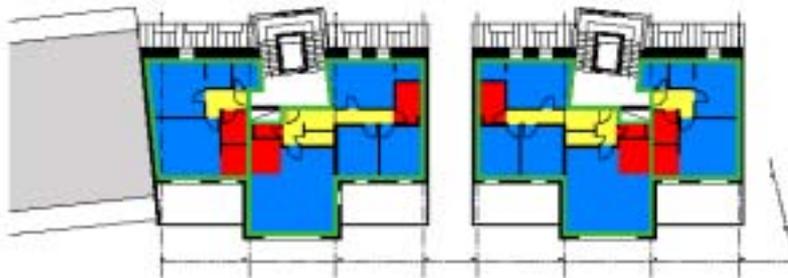
GRUNDRISS TIEFGARAGE M 1 : 500

Abb. 17. Utendorfgasse - Tiefgarage

LÜFTUNGSZONIERUNG



SCHNITT M 1 : 500



GRUNDRISS DACHGESCHOSS M 1 : 500



GRUNDRISS REGELGESCHOSS M 1 : 500

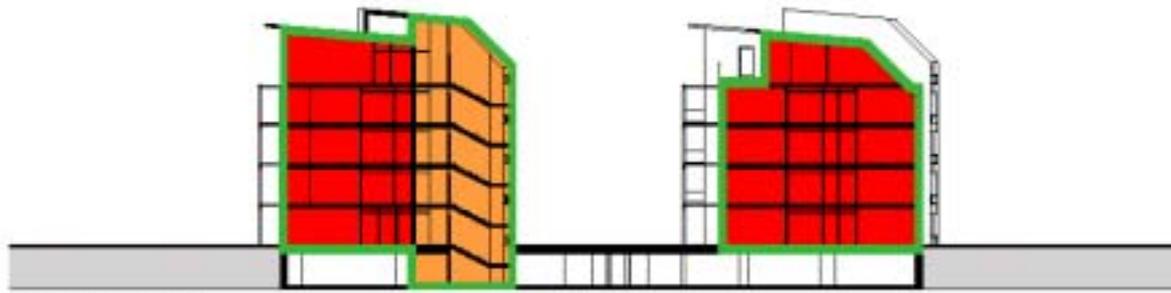


GRUNDRISS ERDGESCHOSS M 1 : 500

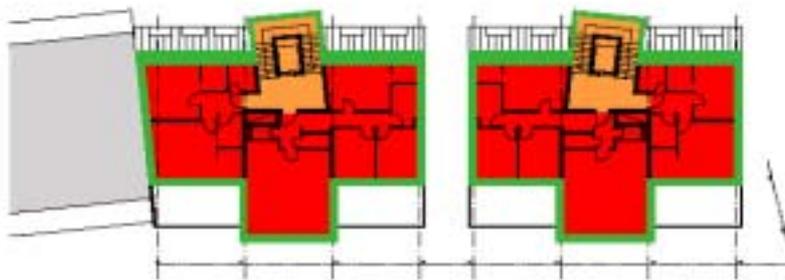
- ZULUFTZONE
- UBERSTROMZONE
- ABLUFTZONE
- LÜFTSICHTEHÜLLE

Abb. 18. Utendorfgasse - Lüftungszonierung

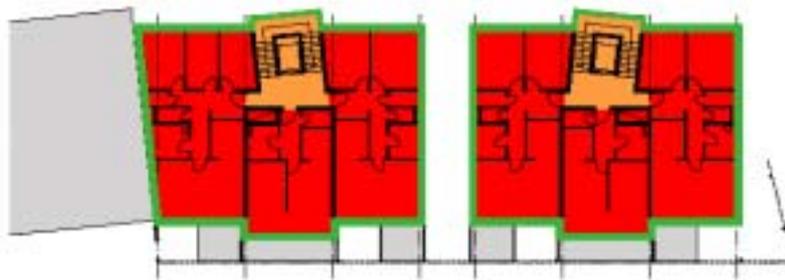
THERMISCHE ZONIERUNG



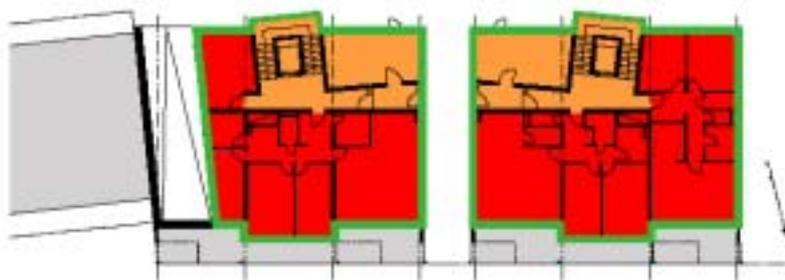
SCHNITT M 1 : 600



GRUNDRISS DACHGESCHOSS M 1 : 500



GRUNDRISS REGELGESCHOSS M 1 : 500



GRUNDRISS ERDGESCHOSS M 1 : 500

- UNBEHEIZTE ZONE
- BEHEIZTE ZONE
- HOCHDEKAM. GEBÄUDEHÜLLE

Abb. 19. Utendorfgasse - Thermische Zonierung

## 4.3 Bauphysikalisches Konzept

### 4.3.1 Konstruktionsaufbauten

#### Allgemein

Die Hüllkonstruktion eines Passivhauses muss dauerhaft luft- und winddicht, allseitig hochgedämmt und frei von Wärmebrücken sein.

#### Utendorf-gasse

Für das Projekt Utendorf-gasse wurde eine Wandkonstruktion mit 30 cm Dämmstoffstärke gewählt. Die Decke zur Tiefgarage weist eine 35 cm starke und das Dach eine 45 cm starke Dämmschicht auf. Die U-Werte der Aufbauten sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Konstruktion	U-Wert in W <sup>2</sup> /K
Außenwand	0,129
Oberste Geschossdecke	0,098
Decke unter Dachterrassen	0,129
Decke zur Tiefgarage	0,124

Tab. 5. Charakteristische U-Werte der Hüllkonstruktion

Eine wohnungsweise Luftdichtheit wird für die Utendorf-gasse projektiert. Das Stiegenhaus wird ebenfalls luftdicht ausgeführt, da es von der haustechnischen Anlage be- und entlüftet wird. Das Stiegenhaus wird zur Verlustminimierung, siehe Kapitel 5.3.7, in die hochgedämmte Hülle inkludiert.

### 4.3.2 Wärmebrücken

Die verwendeten Konstruktionen sind wärmebrückenfrei zu halten. Lineare Wärmebrücken gelten als wärmebrückenfrei, wenn deren Verlustkoeffizient  $\psi$  kleiner 0,01 W/mK sind. [FE199b]

### 4.3.3 Fenster und Türen

Passivhaustaugliche Fenster sollen einen effektiven Wärmeverlustkoeffizienten  $U_w$  von kleiner 0,8 W/m<sup>2</sup>K und einen Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  bei senkrechter Einstrahlung von größer 0,5 aufweisen. [FE100] Bei der Verwendung von Fenstern, die diese Anforderungen nicht erreichen, sind die Auswirkungen auf das Verhalten des Gebäudes zu untersuchen. Die für das Projekt Utendorf-gasse untersuchten Fenster sind in Kapitel 5.3.2 dargestellt.

### 4.3.4 Verschattung und Somerverhalten

#### Allgemein

Sommerliche Überwärmung ist am wirkungsvollsten durch eine ausreichende Verschattung zu verhindern. Dies kann z.B. durch fixe Bauteile wie Dachvorsprünge, Loggien etc. oder durch bewegliche Verschattungseinrichtungen vorgenommen werden.

#### Utendorf-gasse

Das Erdgeschoß, das 1., 2. und 3. Obergeschoß sind durch die Loggien ausreichend verschattet. Im Dachgeschoß fehlen diese und deshalb sind außenliegende Verschattungen als Schutz vor zu großen Solargewinnen vorgesehen.

### 4.3.5 Schallschutz Außenlärm

Aufgrund der Verwendung von 3-Scheibenverglasungen bei Passivhäusern ist aufgrund des Schalldämm-Maßes der derzeit marktüblichen Fenster von maximal 38 dB besonderes Augenmerk auf die standortbezogenen Anforderungen an das resultierende Schalldämm-Maß zu legen.

#### Utendorfgasse

Aufgrund der Vorteile für die sommerlichen Lüftungsmöglichkeiten wird im Zuge des Forschungsprojektes davon ausgegangen, dass die Lärmimmission durch den Schienenverkehr bzw. Straßenverkehr durch Schallschirme so reduziert wird, dass die Anforderungen der Wiener Bauordnung an den Schallschutz der Außenhülle auch gemäß ÖNORM B 8115-1 ausreichend sind.

## 4.4 Passivhausrelevante Punkte des Statischen Konzepts

### Tragstruktur

Die Tragstruktur des Gebäudes hat die Aufgabe, Vertikallasten (Eigengewichte und Nutzlasten) sowie Horizontallasten (Wind- und Erdbebenlasten) möglichst wirtschaftlich und der jeweiligen Funktion gemäß abzutragen. Da jede Durchdringung der hochdämmenden „warmen“ Gebäudehülle die gewünschten bauphysikalischen Eigenschaften reduziert, ist diesen besonderes Augenmerk zu schenken. Im Wohn- und Bürobau sind diese Durchdringungen die Auflagerung des Gebäudes auf die lastabtragenden Bauteile (Fundamente oder Tiefgarage) bzw. die Anbindung auskragender Bauteile wie Terrassen oder Balkone.

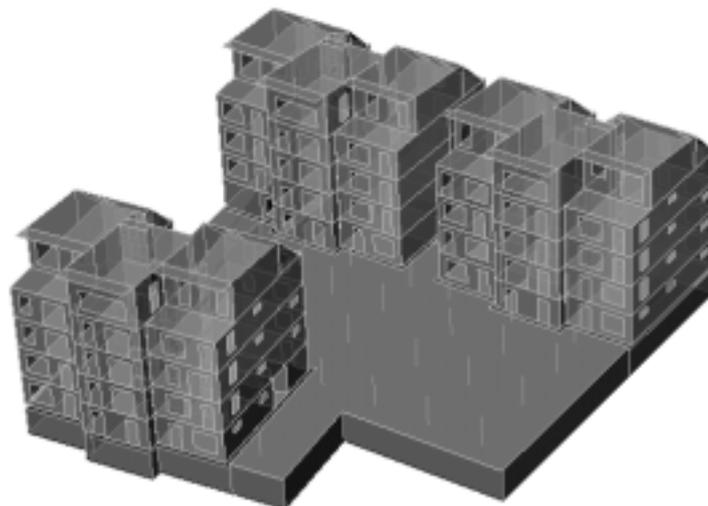


Abb. 20. 3D-Modell der tragenden Struktur

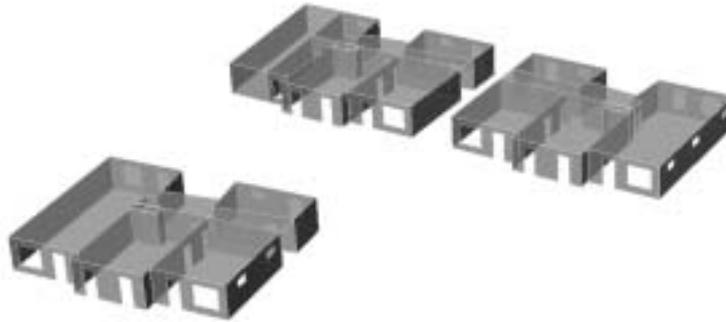


Abb. 21. Tragende Wände Regelgeschoss

### Wichtige Detailbereiche der Tragstruktur

Besonderes Augenmerk wird auf die Detailbereiche der thermischen Trennung Bereich Fußpunkte, der Balkonbefestigungen und der Wohnungstrennwände und -decken gelegt (Details siehe Kapitel 5.3).

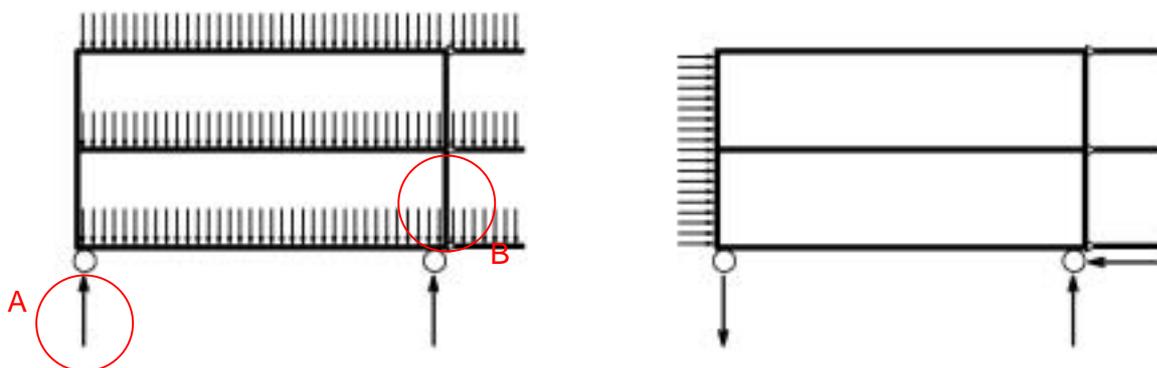


Abb. 22. Wichtige Detailbereiche und Grundaufgaben der Tragstruktur

### Grundaufgabe der Tragstruktur

Das Gebäude ist also möglichst „schwimmend“ bzw. auf hochdämmenden Werkstoffen zu lagern. Diese Forderung kann bei den im Wohnbau üblicherweise vorhandenen Raumtiefen leicht mittels Scheibenbauweise in Massivbauweise (tragende Wände) realisiert werden. Wenn Leichtfassaden zur Ausführung kommen sollen, kann in den meisten Fällen auf tragende Außenwände verzichtet werden und die vertikale und horizontale Lastabtragung auf die inneren Scheiben verlagert werden.

Beispielhaft wird im Folgenden die Tragstruktur des Wohnprojektes Utendorfgasse behandelt.

### Auflagerung des Gebäudes

Die Auflagerung des Gebäudes hängt von der Situation unterhalb des Erdgeschosses ab. Wenn die Möglichkeit einer Linienlagerung gegeben ist, kann die Lagerung auf wärmedämmenden Stoffen wie Porenbeton, Purenit oder Ähnlichem erfolgen. Ist aber z.B. eine Tiefgarage vorgesehen, kommt im Wesentlichen nur eine Punktlagerung (über den Stützen der Tiefgarage) in Frage. In der Praxis werden Mischformen anzutreffen sein.

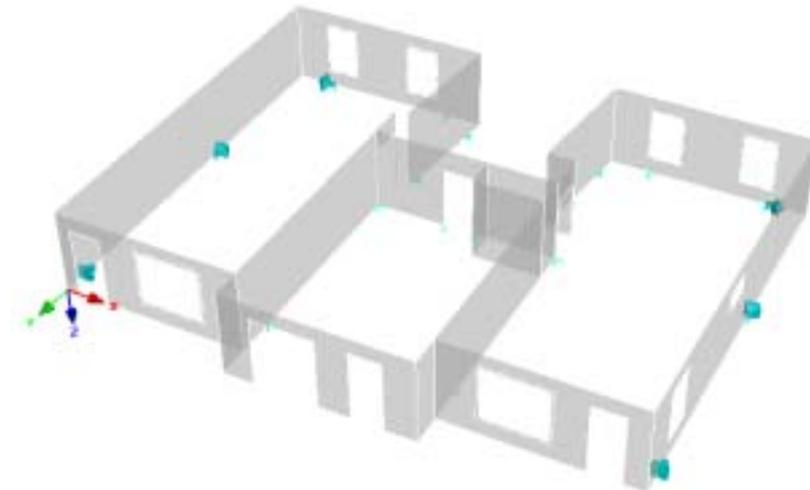


Abb. 23. Punktlagerung einer Einheit unter Berücksichtigung der Auflagersituation Tiefgarage

Legende:



Horizontales Auflager



Vertikales Auflager; Modelliert als Feder, die unter Zugbelastung ausfällt.

Die Punkt- und Linienlager werden als Federn modelliert, die unter Zugspannungen ausfallen. Dies ist vor allem bei Auflagern, welche keine oder nur schwache Zugkräfte übertragen können (Porenbeton, Purenit, Beton, ...), notwendig. Bei kleinen Kernabmessungen treten auch Zugkräfte auf, womit nur mehr Punktlager mit Möglichkeit zur Zugübertragung (Stahlaufleger, punktförmiges Stahlbetonaufleger) in Frage kommen.

Beim Demonstrationsvorhaben Utendorfgasse wurden mehrere Auflagervarianten untersucht. Es stellte sich heraus, dass reine Linienauflager aus Porenbeton oder Purenit nicht ausreichend sind, wenn die längsseitigen Außenwände als nichttragende Wände ausgebildet werden. Die Druckspannungen werden im Erdbebenfall in den verbleibenden Wänden so hoch, dass in einigen Bereichen Punktlager wie Stahlaufleger oder punktförmiges Stahlbetonaufleger, notwendig werden.

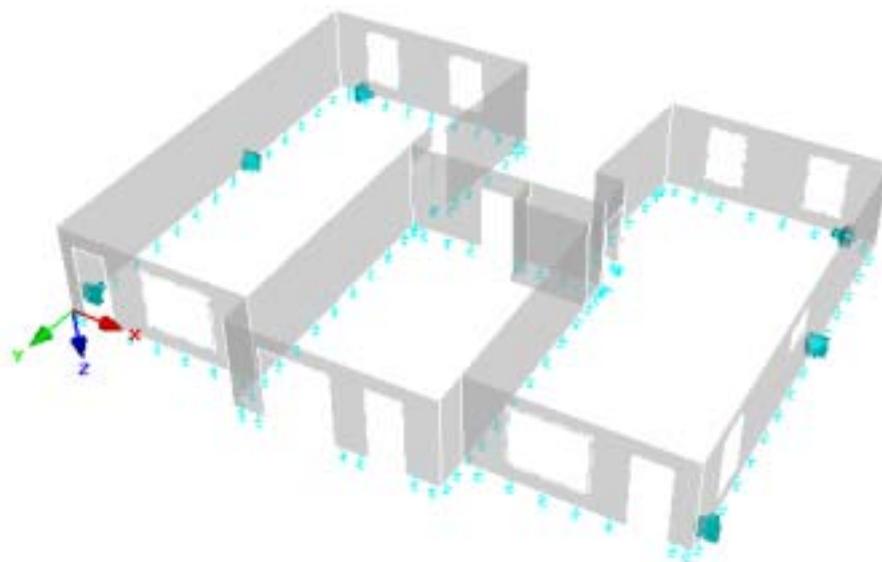


Abb. 24. Linienlagerung einer Einheit

Legende:



Horizontales Auflager



Vertikales Auflager; Modelliert als Feder, die unter Zugbelastung ausfällt.

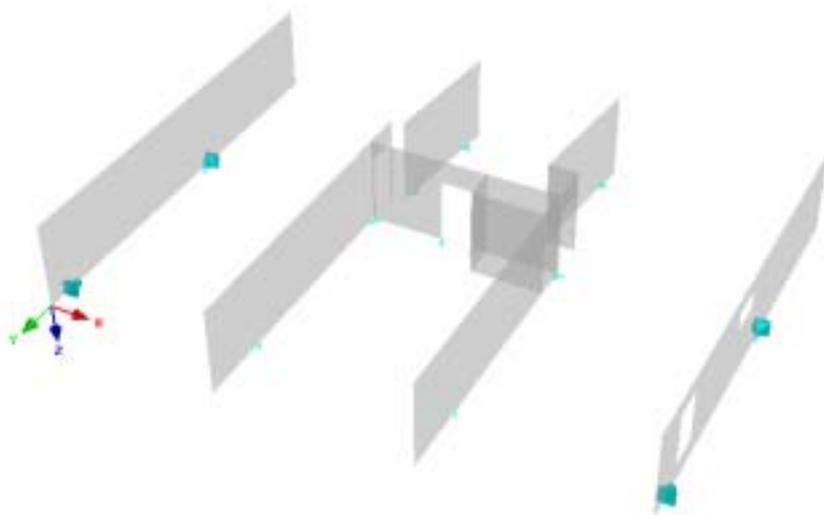


Abb. 25. Tragende Struktur bei Leichtbauaußenwänden

## 4.5 Haustechnisches Konzept

### 4.5.1 Lüftungsanlage

#### 4.5.1.1 Lüftungskonzepte für Passivhäuser

Eines der Kriterien, um Passivhausstandard zu erreichen, ist ein maximaler Heizwärmebedarf von  $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ . Ein weiteres wesentliches Kriterium stellt die maximale Heizlast von  $10 \text{ W/m}^2$  dar. Für die Auslegung der haustechnischen Anlagen zur Beheizung eines Passivhauses ist dabei die spezifische Heizlast von  $10 \text{ W/m}^2$  wesentlich, wobei zu beachten ist, dass diese Heizlast in jeder einzelnen Wohnung eingehalten werden muss. Dieser Wert ergibt sich aus der möglichen Leistung, die mit einer Luftheizung bei einem 0,4-fachen Luftwechsel und einer maximale Einblastemperatur von  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  erreicht werden kann. Um dies zu erreichen, muss, neben einer weitgehend luftdichten Gebäudehülle und einer Minimierung der Transmissionswärmeverluste und Wärmebrücken, zur Reduktion der Lüftungswärmeverluste eine Lüftungsanlage mit hocheffizienter Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Die Lüftungsanlage ist weiters notwendig, um in der Heizperiode für eine gesicherte hygienische Grundlüftung zu sorgen. Eine untere Grenze für den hygienischen Luftwechsel liegt bei einem etwa 0,3-fachen Luftwechsel.

Grundsätzlich stehen für Passivhäuser im Wohnungsbau drei verschiedene Lüftungskonzepte zur Verfügung:

#### 1.) Dezentrale Anlagen

Bei dezentralen Anlagen wird jede Wohnung über einen eigenen Wärmeüberträger versorgt. Das Lüftungszentralgerät besteht aus einem Wärmetauscher, Zu- und Abluftventilatoren, Filtern, Steuerung und eventuell Schalldämpfern und kann sowohl innerhalb als auch außerhalb der wärmedämmenden Hülle angeordnet sein. Unabhängig davon, ob das Lüftungsgerät innerhalb oder außerhalb angeordnet ist, muss darauf geachtet werden, dass es in der Nähe der Durchtrittsstelle durch die wärmedämmende Hülle situiert ist. Für das Zuluftkanalnetz sind Schalldämpfer sowohl für die Hauptleitung als auch für jeden Einzelstrang erforderlich. Dezentrale Anlagen werden hauptsächlich in Einfamilien- und Reihenhäusern eingesetzt, können aber unter bestimmten Umständen auch in Mehrfamilienhäusern bzw. im Geschosswohnungsbau eingesetzt werden. [SCH01]

#### 2.) Zentrale Anlagen

Bei zentralen Anlagen werden mehrere Wohneinheiten von einem einzelnen Wärmeüberträger versorgt. Weiters werden auch zentrale Zu- bzw. Abluftventilatoren zur Förderung der Luft verwendet. Diese zentralen Ventilatoren können im Vergleich zu den kleineren Einzelventilatoren der dezentralen Ausführung relativ hohe Wirkungsgrade erzielen. Die Regelung erfolgt meist über dezentrale Volumenstromregler, die normalerweise in den Wohnungen im Zu- und Abluftstrang untergebracht sind und durch die eine wohnungsweise Anpassung der Volumenströme, wie auch die Balance zwischen Zu- und Abluftmengen möglich wird. Weiters ist in der Zuluftleitung jeder Wohnung ein Nachheizregister untergebracht, das an die Wärmeversorgung angeschlossen ist.

#### 3.) Semizentrale Anlagen

Semizentrale Anlagen stellen ein Art Kombination der Konzepte der dezentralen und der zentralen Anlagen dar. Sie verwenden einerseits wie zentrale Anlagen einen gemeinsamen Wärmeüberträger für mehrere Wohneinheiten (inklusive den notwendigen Frostschutzeinrichtungen und Filtern) und andererseits dezentrale Einzelventilatoren für jede Wohneinheit, wodurch die Regelung der Wohneinheit erheblich erleichtert wird. Auch die Nachheizung der Zuluft erfolgt dezentral für jede Wohneinheit, wodurch die Raumtemperatur wohnungsweise

eingestellt werden kann. Zusätzlich zu den dezentralen Einzelventilatoren können zentrale Ventilatoren eingesetzt werden, die vor allem zur Überwindung der Druckverluste des Wärmetauschers und der vorgeschalteten Filter dienen.

### **Vor- und Nachteile der dezentralen Lösung**

Folgend werden die Vor- und Nachteile der dezentralen Lösung im Vergleich zur semi-zentralen bzw. zentralen Lösung dargestellt.

#### **Vorteile:**

- Größere Anzahl von Anbietern passivhaustauglicher Lüftungsanlagenkomponenten oder Kompaktaggregate für dezentrale Anlagen;
- Die Verrechnung und Aufteilung der benötigten Heizwärme ist einfacher als bei semi-zentralen Anlagen.
- Normalerweise sind geringere Rohrleitungslängen notwendig, da die Ansaugung direkt durch die Außenwand erfolgt und kein zusätzlicher zentraler Lüftungsschacht zur Versorgung der Wohneinheiten notwendig ist. Dadurch entstehen auch geringere Verluste durch die Verteilungen. Voraussetzung dafür ist, dass der Grundriss und die Aufteilung der Wohneinheiten die Ansaugung der Luft durch die Außenwand und eine einfache Verteilung der Luft innerhalb der Wohnung ermöglichen.

#### **Nachteile:**

- Es gibt eine Vielzahl von Wanddurchbrüchen durch die Außenwand und somit Wärmebrücken, da für jede Wohneinheit zwei Durchbrüche (einer für die Frischluft, einer für die Fortluft) notwendig sind. Die semizentrale bzw. zentrale Anlage kommt hingegen mit 2 Durchbrüchen pro zentraler Einheit (im konkreten Projekt pro 13 Wohneinheiten) aus.
- Die Investitionskosten für dezentrale Anlagen sind höher.
- Die Wartung der zentralen Anlagenteile (Filter, Wärmetauscher, etc.) ist bei semizentralen Anlagen einfacher, insbesondere, weil die einzelnen Wohneinheiten nicht betreten werden müssen.

Eine direkte Ansaugung durch die Außenwand ist im konkreten Projekt aufgrund der Aufteilung der Wohnungen nicht möglich ist. Der oben angeführte Vorteil der geringeren Rohrleitungslängen entfällt somit im konkreten Projekt. Das heißt, dass auch bei der dezentralen Anordnung ein zentraler Lüftungsschacht notwendig wäre. Im Gegensatz zur semizentralen bzw. zentralen Lösung, bei der der Lüftungsschacht von vorgewärmter Zuluft durchströmt wird, durchströmt den in der warmen Hülle liegenden Schacht bei der dezentralen Variante kalte Außenluft.

Eine andere Möglichkeit bestünde darin, den Schacht außerhalb der wärmedämmenden Hülle anzuordnen. Dazu müsste jedoch der gesamte Schacht entsprechend wärmedämmend werden, wodurch zusätzlich zu den Kosten für die Wärmedämmung auch die Nutzfläche verringert würde. Weiters müsste im konkreten Fall ein zusätzlicher Schacht für weitere Rohrleitungen wie Warmwasser oder Heizungsvor- und rücklauf vorgesehen werden, weil es nicht sinnvoll ist, diese Leitungen über große Entfernungen außerhalb der wärmedämmten Hülle zu führen.

### **Unterschiede zwischen zentraler und semizentraler Lösung**

Der wesentliche Unterschied zwischen der zentralen und der semizentralen Lösung liegt in der wohnungsweisen Regelung der Volumenströme. Bei der zentralen Lösung erfolgt diese über Volumenstromregler, während beim semizentralen Konzept drehzahlregelte Gleichstromventilatoren eingesetzt werden, die durch Abgleich der Luftvolumenströme gleiche Volumenströme in der Zu- und Abluft garantieren sollen.

Der Vorteil des semizentralen Konzeptes liegt darin, dass die Gleichstromventilatoren kostengünstiger sind als die Volumenstromregler. Im Gegensatz dazu ist beim zentralen Konzept mit Volumenstromreglern mit niedrigeren elektrischen Leistungsaufnahmen bzw. Verbräuchen zu rechnen. Im konkreten Projekt ist der Mehrverbrauch jedoch so gering, dass das semizentrale Konzept gewählt wurde.

**Ergebnis Lüftungskonzept:**

*Aufgrund der im Kapitel angeführten Vor- und Nachteile zwischen dezentralen Lüftungsanlagen und zentralen bzw. semizentralen Lüftungsanlagen wurde im konkreten Projekt die dezentrale Anlage ausgeschlossen.*

*Grundsätzlich kämen sowohl das zentrale als auch das semizentrale Lüftungskonzept in Frage. Im konkreten Projekt wurde das in der Errichtung kostengünstigere semizentrale System ausgewählt, da die Unterschiede der elektrischen Leistungsaufnahme im Betrieb nur gering sind.*

**4.5.1.2 Beschreibung semizentrale Lüftungsanlage**

Im nachfolgenden Abschnitt wird der Aufbau der semizentralen Lüftungsanlage genauer beschrieben.

Es wird pro Stiegenhaus eine semizentrale Lüftungsanlage vorgesehen. Somit ergibt sich für jeden „Block“ eine semizentrale Anlage mit jeweils einer Zentraleinheit.

Die Zentraleinheiten sind jeweils auf der Dachebene untergebracht, wobei der Haustechnikschacht, über den die Versorgung der einzelnen Wohneinheiten erfolgt, direkt unter der Lüftungszentrale am Dach vorgesehen ist, um die Leitungslängen außerhalb des Gebäudes möglichst gering zu halten.

Die Aufstellung der Zentraleinheiten kann außerhalb oder auch innerhalb der Gebäudehülle erfolgen. Die Einhausungen der Lüftungszentralen müssen auf jeden Fall sehr sorgfältig gedämmt werden, um die Wärmeverluste möglichst gering zu halten. Wenn die Zentraleinheiten auf der Dachebene in die thermische Hülle eingebunden werden, kann auf die Wärmedämmung der warmen Leitungen verzichtet werden. Die Heizzentrale, die sich im Untergeschoss (Tiefgarage) befindet, wird in die thermische Hülle eingebunden.

Pro Stiegenhaus ist ein Haustechnikschacht vorgesehen, in dem auch die weiteren haustechnischen Versorgungsleitungen wie Kaltwasser, Heizungsvor- und rücklauf, Warmwasserversorgung inkl. Zirkulationsleitung (2 Leitungen) und Abwasser untergebracht sind.

Ausgehend vom Haustechnikschacht werden die einzelnen Wohneinheiten versorgt. Die dezentralen Einheiten der einzelnen Wohneinheiten sind in den abgehängten Decken des Vorraums bzw. Eingangsbereichs oder den Badezimmern untergebracht. Auch die Luftrohrleitungen verlaufen zur Gänze in den abgehängten Zwischendecken. Pro Etage werden 2 bis 3 Wohneinheiten aus demselben Haustechnikschacht versorgt.

Der Aufbau der Zentraleinheit und der dezentralen Einheiten wird im Folgenden beschrieben. Das Schema der Lüftungsanlage kann den folgenden Seiten entnommen werden.

- Aufbau der Zentraleinheit (Außenluft/Zuluft)
  1. Filter der Klasse F7; Kompaktfilter mit großer Filterfläche
  2. Elektrisches Vorheizregister als Frostschutz
  3. Gegenstrom-Plattenwärmetauscher
  4. Stützventilator eventuell mit EC-Antrieb<sup>12</sup>
  5. Filter der Klasse F9
  6. Schalldämpfer

---

<sup>12</sup> EC – Antrieb = elektronisch kommutierter Gleichstrommotor

- Aufbau der Zentraleinheit (Abluft/Fortluft)
  1. Schalldämpfer
  2. Stützventilator eventuell mit EC-Antrieb<sup>12</sup>
  3. By-Pass der Wärmerückgewinnung für den Sommerbetrieb
  4. Filter der Klasse F6; Kompaktfilter mit großer Filterfläche
  5. Gegenstrom-Plattenwärmetauscher
  
- Aufbau der dezentralen Einheit (Zuluft für jede Wohneinheit)
  1. Brandschutzklappe beim Übergang in die Wohneinheit
  2. Zuluftventilator mit EC-Antrieb<sup>12</sup>
  3. Nachheizregister
  4. Rückschlagklappe
  5. Starrer oder flexibler Rohrschalldämpfer mit innerer Lochblechabdeckung der Schallabsorptionspackung
  6. Weitere separate Schalldämpfer für jeden Zuluftstrang
  7. Weitwurfdüsen bzw. andere geeignete Luftdurchlässe als Luftauslässe
  
- Aufbau der dezentralen Einheit (ABL je WE):
  1. Tellerventile mit Filter (G3) im Abluftstrang
  2. Separate Schalldämpfer in jedem Abluftstrang
  3. Zusätzlich Schalldämpfer vor Abluftventilator
  4. Rückschlagklappe
  5. Abluftventilator mit EC-Antrieb<sup>12</sup>
  6. Brandschutzklappe beim Übergang aus der Wohneinheit

Es sind sowohl bei den zentralen Stützventilatoren als auch bei den dezentralen Ventilatoren Schalldämpfer vorgesehen. Zusätzlich sind in den einzelnen Abluft- und Zuluftsträngen jeweils Schalldämpfer vorgesehen. Die schalltechnische Berechnung ergab, dass sowohl die Schalldämpfer nach den zentralen Ventilatoren als auch die Schalldämpfer in den einzelnen Abluft- und Zuluftsträngen nicht unbedingt erforderlich sind. Eine endgültige Festlegung erfolgt bei der konkreten Auslegung der Lüftungsanlage, wobei auch die Übertragung von Telefoneschall berücksichtigt werden muss. Jedenfalls scheint es möglich, auf den Einzelschalldämpfer im Abstellraum und im WC zu verzichten, wenn der zentrale Schalldämpfer gemeinsam mit der Einfügungsdämpfung des Abluftventils ausreichend gut ist und ein Übersprechen zwischen dem Abstellraum und dem WC als unkritisch betrachtet wird.

Eine Beschreibung der wesentlichen Komponenten der semizentralen und dezentralen Einheiten kann dem Kapitel 6.1 entnommen werden.

## 4.5.2 Heizung und Warmwasser

Zur Heizwärmeversorgung der einzelnen Wohneinheiten wird eine Frischluftheizung vorgesehen. Die wohnungsweise Nacherwärmung der Zuluft erfolgt über Heizungswassernachheizregister, die in den Zwischendecken der Vorräume oder Badezimmer untergebracht sind. Aufgrund der niedrigen Heizlast von Passivhäusern ( $< 10 \text{ W/m}^2$ ) ist eine Heizwärmeversorgung durch Nacherwärmung der Zuluft ausreichend. Auf ein konventionelles Heizsystem kann somit verzichtet werden. In [WIT93] wird der Beginn der Staubpyrolyse bei etwa  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  angegeben. Die Zulufttemperatur ist somit auf maximal  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  begrenzt, da sonst auf den Kanaloberflächen Staubverschmelzung stattfindet.

In jenen vier Wohneinheiten pro Haus, in denen die maximale Heizlast über  $10 \text{ W/m}^2$  liegt (2 Wohneinheiten im Erdgeschoss und 2 Dachgeschosswohnungen) werden zusätzlich zur Heizwärmeversorgung durch Zuluft in jeweils ein oder zwei Räumen Heizkörper vorgesehen, um die fehlende Heizlast einbringen zu können (siehe auch Kapitel 7.1.4).

Da im Badezimmer häufig höhere Temperaturen als in den übrigen Räumen gewünscht werden, wird optional der Anschluss für einen elektrischen Heizstrahler vorgesehen. Ein elektrischer Heizstrahler kann verglichen mit einer Fußbodenheizung oder einem Heizkörper bei Bedarf sehr schnell die gewünschten höheren Temperaturen erreichen.

Die zur Nachheizung notwendige Wärme wird gemeinsam mit dem benötigten Warmwasser durch eine Gasbrennwerttherme oder einen Gasbrennwertkessel mit entsprechend großem Warmwasserspeicher bereitgestellt. Wiederum wurde zunächst pro Stiegenhaus bzw. pro Haustechnikschacht eine Therme (insgesamt drei) vorgesehen, die im Keller aufgestellt werden. Dadurch sind in den Grundrissen der Tiefgaragen ursprünglich auch drei Heizräume vorgesehen. Im Zuge der Optimierung des Konzeptes stellte sich heraus, dass ein gemeinsamer Gasbrennwertkessel aus Kostengründen günstiger ist und somit auch nur mehr ein Heizraum benötigt wird. Den Minderkosten durch die Reduktion der benötigten Kessel stehen Mehrkosten durch größere Rohrleitungslängen für die Verteilung der Heizwärme und des Warmwassers gegenüber. In Summe ergeben sich für das konkrete Projekt Minderkosten von etwa 10.000,- Euro bei Verwendung von nur einem Gasbrennwertkessel. Den verringerten Investitionskosten stehen durch die größeren Rohrleitungslängen, die zum Teil außerhalb der warmen Hülle verlaufen, etwas erhöhte Wärmeverluste gegenüber.

Die Verwendung von Fernwärme zur Bereitstellung der benötigten Wärme für Warmwasser und Heizung kommt an diesem Standort nicht in Frage, da von Seiten der Fernwärme keine Anschlussmöglichkeit besteht. Fernwärme wäre aber grundsätzlich eine mögliche Alternative zu Gasbrennwertkesseln in Passivhäusern.

Im Gegensatz zum Heizwärmebedarf kann der Warmwasserbedarf im Passivhaus verglichen mit „Standardhäusern“ nicht nennenswert reduziert werden. Veränderungen des Verbrauchs (Energie und Wasser) können sowohl im Passivhaus als auch im Standardbau durch den Warmwasseranschluss der Wasch- und Spülmaschine (erhöhter Warmwasser-, aber verringerter Stromverbrauch) und durch die Verwendung von Wasserspararmaturen (Verringerung des Warm- und Kaltwasserverbrauchs) erreicht werden.

Zur Wärmeverteilung wurde ein getrenntes Rohrleitungsnetz für Warmwasser und Heizungswasser (4-Leitersystem) gewählt. Auch ein 2-Leitersystem, bei dem die Wärmeverteilung für Heizung und Warmwasser gemeinsam erfolgt, ist möglich. Die Gründe für die Verwendung eines 4-Leitersystems und eine genauere Beschreibung können den Kapiteln 6.3 und 8.5 entnommen werden.

***Ergebnis Warmwasser und Heizung:***

*Zur zentralen Wärmeerzeugung für Heizung und Brauchwarmwasserbereitung wird ein gemeinsamer Gasbrennwertkessel mit Brauchwarmwasserspeicher verwendet. Die Brauchwarmwasserverteilung auf die einzelnen Wohneinheiten erfolgt über die Zirkulationsleitung und Zirkulationspumpe (gesteuert über Zeitschaltuhr). Mit dem Heizungswarmwasser (Pumpenwarmwasser) erfolgt die Versorgung der dezentralen Nachheizregister.*

### 4.5.3 Schema Zentraleinheit der Lüftungsanlage Projekt Utendorfgerasse

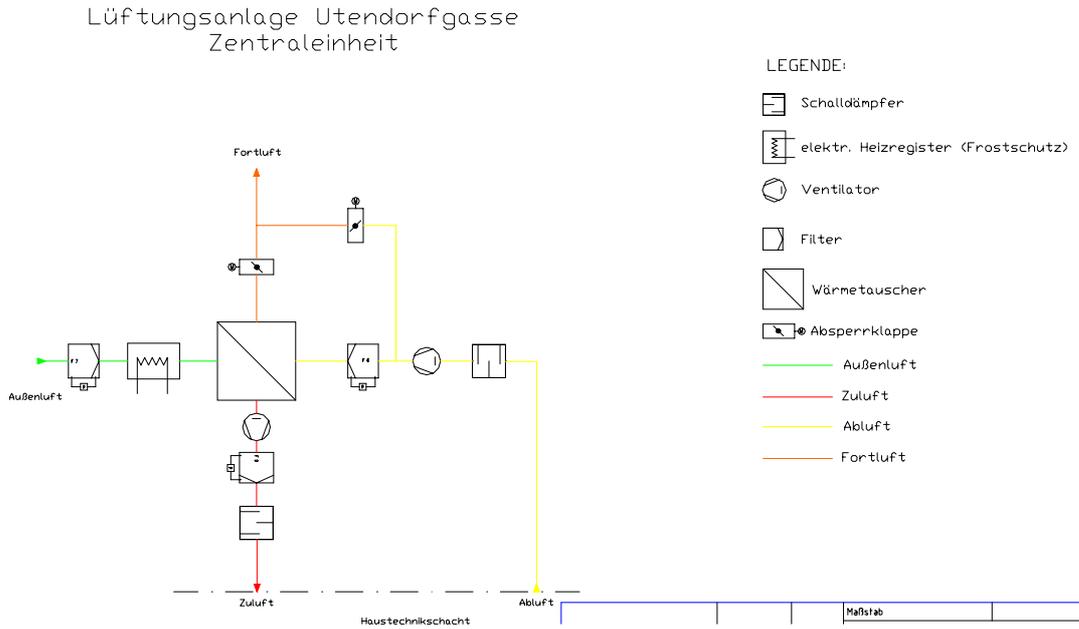


Abb. 26. Schema Zentraleinheit der Lüftungsanlage für das Projekt Utendorfgerasse

### 4.5.4 Schema dezentralen Einheiten der Lüftungsanlage Projekt Utendorfgerasse

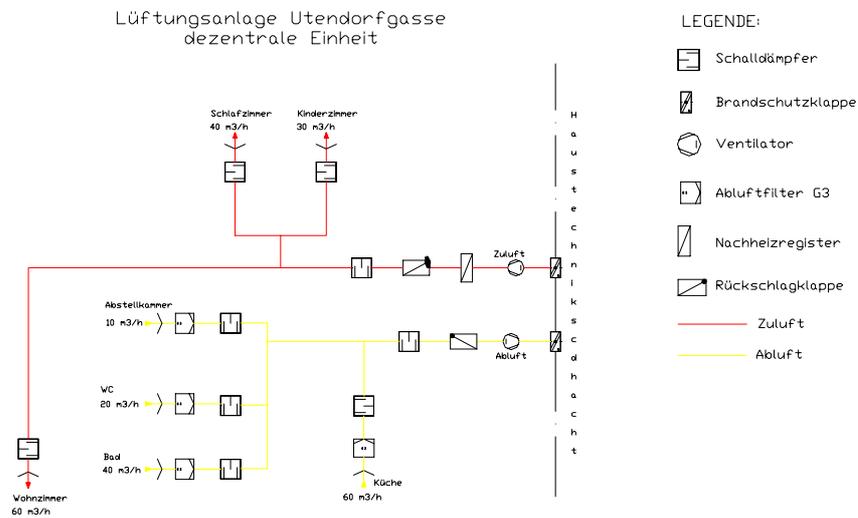


Abb. 27. Schema dezentralen Einheiten der Lüftungsanlage für das Projekt Utendorfgerasse

## 5 Bautechnik

### 5.1 Brandschutz bei hohen Dämmstoffdicken

#### 5.1.1 Aufbauten und Detailzeichnungen Brandversuche

Bei hohen Dämmstoffdicken, wie sie bei Passivhäusern und auch beim Demonstrationsprojekt 1140 Wien, Utendorfgasse 7 „Anwendung der Passivtechnologie im sozialen Wohnbau“ verwendet werden, können zur Erreichung der Schutzziele verschiedene Brandschutzmaßnahmen eingesetzt werden. Beim vorliegenden Demonstrationsprojekt wurde im Fenstersturzsbereich ein Brandriegel vorgesehen.



Abb. 28. Ansicht Fenster mit Brandriegel

Schutzziele:

- Vermeidung einer Brandweiterleitung
- Vermeidung eines Herabfallens wesentlicher Fassadenteile
- Vermeidung einer Gefährdung von Rettungsmannschaften

Für Passivhäuser mit Vollwärmeschutzfassade liegt eine Richtlinie des Magistrats der Stadt Wien, Magistratsabteilung 37 Baupolizei vor [MA03]. Relevante Brandversuche zu dieser Thematik wurden erstmals in Freiburg/Deutschland durchgeführt. Diese Erkenntnisse lassen sich allerdings aufgrund unterschiedlicher Putzdicken und Ausführungsarten der Vollwärmeschutzfassade in Deutschland und Österreich nicht auf Österreich übertragen.

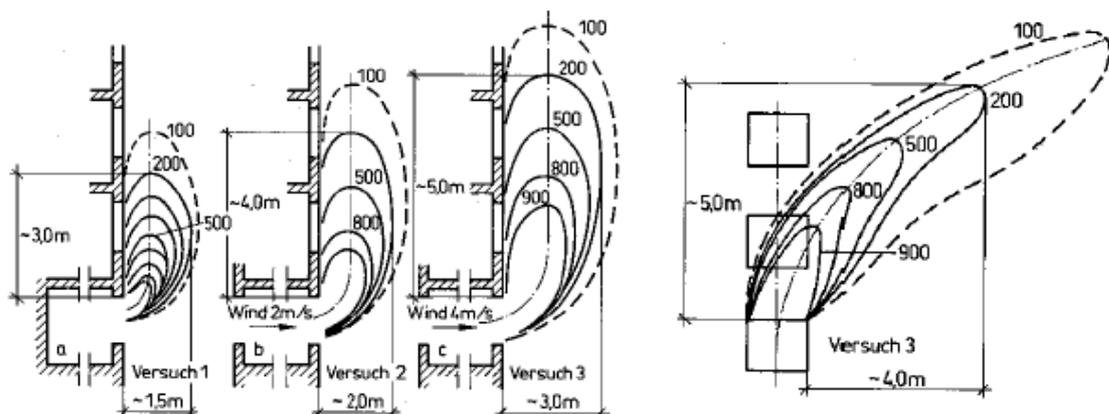


Abb. 29. Links: Fall Ausbrand (innenventiliert)

Rechts: Fall Seitenwind [KOR96]

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Deutschland wurden Detaillösungen für österreichische Verhältnisse entworfen. Für die Aufbauten werden Brandversuche an 1:1 Bauteilen durch die MA 39 im Auftrag der Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum (GPH) und der Qualitätsgruppe Vollwärmeschutz durchgeführt. Die Prüfung der Fassadenaufbauten erfolgt durch zwei Versuche einen Orientierungsversuch und einen Maßstabtest, die sich durch die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Testbedingungen unterscheiden.

**Orientierungsversuch**

25 kg Holzkrippe  
 3 m Prüfkörperhöhe  
 1 m Prüfkörperbreite  
 1,5 m Prüfkörperlänge  
 Ein am 0-Niveau liegendes Fenster

*Schutzziel*

Zweites Geschoß über  
 Primärbrandherd

**Maßstabtest**

25 kg Holzkrippe  
 6 m Prüfkörperhöhe  
 2 m Prüfkörperbreite  
 3 m Prüfkörperlänge  
 Ein am 0-Niveau liegendes Fenster

*Schutzziel*

Zweites Geschoß über  
 Primärbandherd

gemäß Entwurf Vornorm ÖNORM B 3800-5 gemäß Entwurf Vornorm ÖNORM B 3800-5  
 gemäß DIN 4102-20

Tab. 6. Zusammenstellung der Testbedingungen der Brandversuche

Folgend werden bekannte und weiterentwickelte Varianten von Brandschutzriegeln dargestellt:

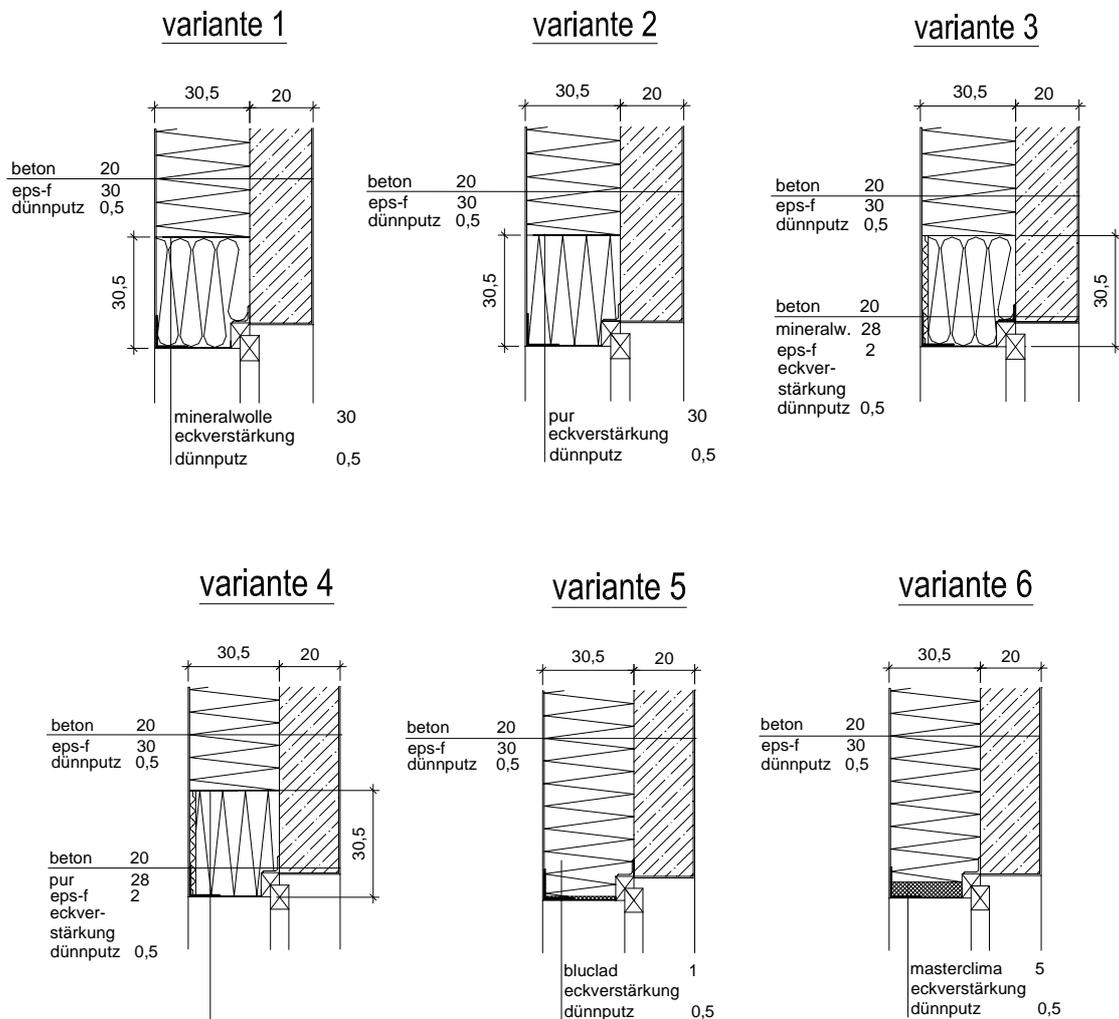


Abb. 30. Varianten Brandschutzriegel

- Variante 1: Mineralwolle-Brandriegel mit 30 cm seitlichem Überstand  
Durch Materialwechsel könnte die Gefahr einer Rissbildung bestehen.
- Variante 2: PUR (Polyurethan)-Brandriegel mit 30 cm seitlichem Überstand  
Aufgrund der ähnlichen mechanischen Eigenschaften soll die Gefahr einer Rissbildung vermieden werden.
- Variante 3: Mineralwolle-Brandriegel mit 30 cm seitlichem Überstand und EPS-F Auflage. Minimierung der Gefahr einer Rissbildung durch Verwendung von EPS unter der Deckschicht. Einfachere Aufbringung der Armierungsschicht durch gleiche Untergründe.
- Variante 4: PUR (Polyurethan)-Brandriegel mit 30 cm seitlichem Überstand und EPS-F Auflage.
- Variante 5: Sturzplatte aus Bluclad<sup>13</sup> (zellstoffverstärktes Kalziumsilikat)  
Vereinfachter Arbeitsablauf, da ohne seitlichen Überstand und Einbindung im Zuge der Herstellung der Deckschicht im Sturzbereich. Zur Vermeidung der Aufnahme von Feuchtigkeit werden die Platten hydrophobiert.
- Variante 6: Sturzplatte aus Masterclima<sup>14</sup> (zellstoffverstärktes leichtes Kalziumsilikat)  
Vereinfachter Arbeitsablauf, da ohne seitlichen Überstand und Einbindung im Zuge der Herstellung der Deckschicht im Sturzbereich. Zur Vermeidung der Aufnahme von Feuchtigkeit werden die Platten hydrophobiert.

Tab. 7. Beschreibung Varianten Brandschutzriegel

## 5.1.2 Ergebnisse Brandversuche

Es liegen uns folgende Informationen über die Ergebnisse der Brandversuche der Güteschutzgemeinschaft Polystyrol-Hartschaum (GPH) und der Qualitätsgruppe Vollwärmeschutz bei der MA 39 Versuchs- und Forschungsanstalt der Stadt Wien vor:

Ergebnisse der Orientierungsversuche:

Im Rahmen der Orientierungsversuche wurden die Varianten 1, 2, 3 und 4 mit einer Dämmdicke von 30 cm geprüft. Die Varianten 5 und 6 wurden mit geringer Dämmdicke geprüft. Alle haben diese Brandversuche bestanden.

Ergebnisse der Großbrandversuchen:

- Variante 1: Entspricht der Brandschutzrichtlinie [MA03] und wurde daher nicht geprüft.  
Variante 4: PUR-Brandriegel mit EPS-F Abdeckung, hat den Versuch bestanden.  
Variante 3: Mineralwolle-Brandriegel mit EPS-F Abdeckung, hat den Versuch bestanden.  
Variante 6: Sturzplatte aus Masterclima, hat den Versuch bestanden.

<sup>13</sup> Bezug über Fa. Frischeis und Fa. Promat

<sup>14</sup> Bezug über Fa. Promat

### 5.1.3 Fotodokumentation Brandversuche



Abb. 32. Prüfkörper 3 m



Abb. 31. Versuchsanordnung



Abb. 33. Versuchsdurchführung 3 m hohes Modell



Abb. 34. Prüfkörper nach Brandversuch [PÖH03]

## 5.2 Spezielle Aspekte der Vollwärmeschutzfassade

### 5.2.1 Befestigung

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

Die ÖNORM B 6410 empfiehlt auf Betonwänden zusätzlich zum Kleben auch das Dübeln von Außenwand-Wärmedämmverbundsystemen. Dies ist einerseits teurer als Kleben und verursacht andererseits zusätzliche Wärmebrücken. Ein Ausweg wird derzeit über eine vollständige Prüfung des Betonuntergrundes hinsichtlich der Haftzugfestigkeit gesehen. Mindestabzugfestigkeiten von  $100 \text{ kN/m}^2$  erlauben eine dübellose Verklebung.<sup>15</sup> In der Praxis wird diese von der Oberflächenqualität des Betons (Betonfläche, Verschmutzung Schalölreste, etc.) abhängen. Eine hohe Kleberqualität und eine ausreichende Festigkeit des Dämmstoffes werden dabei vorausgesetzt.

**Ergebnis Befestigung:**

*Zur Minimierung des Wärmeverlustes und aus Kostengründen wird, wenn möglich, eine Verklebung ohne Verdübelung empfohlen - detaillierte Untergrundprüfungen und ausreichende Kleberfestigkeiten vorausgesetzt.*

### 5.2.2 Fugen

Beim Anbringen der Wärmedämmplatten ist darauf zu achten, dass keine Fugen bei den Stößen der Dämmblöcke bzw. keine vertikal durchgehenden Fugen zwischen den Platten und der Wand vorhanden sind, die zusätzliche Wärmeverluste verursachen würden. [FEI99b]

### 5.2.3 Schallschutz

Anforderungen an den Schallschutz sind in der Wiener Bauordnung und in der ÖNORM B 8115-2, Schallschutz und Raumakustik im Hochbau - Anforderungen an den Schallschutz, definiert. In der folgenden Tabelle sind die Schalldämmanforderungen an Außenwände von Wohnungen und Aufenthaltsräumen aufgelistet.

Außenwände von Wohnungen und Aufenthaltsräumen	Mindestschalldämmung $R_w$ (in dB)
nicht transparente Teile	$R_w > 47$
transparente Teile	$R_w > 38$
Gesamtbauteil	$R_{res,w} > 43$

Tab. 8. Schalldämmanforderungen an Außenbauteile

Das bewertete Schalldämm-Maß für die gesamte Wandkonstruktion ist gemäß ÖNORM B 8115-4 zu ermitteln oder durch eine Prüfung nachzuweisen. [EDE03] Dies ist entbehrlich, sofern:

- der Wandbildner als akustisch einschalig angesehen werden kann (ÖNORM B 8115-4 Abschnitt 3.2) und ein bewertetes Schalldämm-Maß  $R_w$  von mindestens 47 dB aufweist;
- Der Schaumstoff muss in der vorgesehenen Dicke folgende dynamische Steifigkeit  $s'$  aufweisen:

<sup>15</sup> Für Systemzulassungen in Deutschland ist eine ausreichende Tragfähigkeit bei diesem Wert gegeben.

bei Dünnschichtdeckputzen	$s' < 13 \text{ MN/m}^3$
bei Dickschichtdeckputz	$s' < 17 \text{ MN/m}^3$

Die Ergebnisse zu Schalldämm-Messungen bei großen Dämmstärken in [IRB97] erlauben den Schluss, dass sich keine Verschlechterung der Schalldämmung ergeben muss, wenn elastifizierte Hartschaumplatten verwendet werden und diese nur teilweise mit dem Untergrund verklebt werden.

Die Stahlbetonwand mit Vollwärmeschutz weist ein Schalldämmmaß von 53 dB auf. Das Fenster von Anbieter B weist ein Schalldämmmaß von 38 dB auf. Dadurch ist gewährleistet, dass auch bei der Wohneinheit der Utendorfgasse mit dem höchsten Fensterflächenanteil das resultierende Schalldämmmaß gemäß [BOW03] von 43 dB erfüllt wird.

## 5.3 Details zur thermischen Hülle

### 5.3.1 Passivhauspezifische Anforderungen

#### Wärmebrückenfreiheit

Die thermische Hülle der warmen Zone muss ununterbrochen eine Dämmstärke von größer 25 cm aufweisen. [FEI99b] Das entspricht einem U-Wert der opaken Hüllkonstruktion von kleiner  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Das Dämmniveau von Dachkonstruktionen ist meist höher. In der Dämmebene sind Hohlräume zu vermeiden, da sie den Wärmeverlust durch konvektiven Wärmetransport erhöhen. [FEI99] Die verwendeten Konstruktionen sind wärmebrückenfrei zu halten. Lineare Wärmebrücken gelten als wärmebrückenfrei, wenn deren Verlustkoeffizienten  $\psi$  kleiner  $0,01 \text{ W/mK}$  ist. [FEI99b]

#### Luftdichtheit

Die Luftdichtheit ist durch eine geschlossene Hülle mit geeigneten, altersbeständigen Materialien herzustellen. Besonderes Augenmerk ist auf die Ausführung von Anschlusspunkten unterschiedlicher Konstruktionen, Fenster- und Außentüren zu legen. [FEI99] Zulässige Durchstoßpunkte sind die Leitungen der Lüftungsanlage, die Wasserzu- und Ableitung und die Stromzufuhr. Die Prüfung der erforderlichen Ausführungsqualität erfolgt mit einer Blower Door Messung. Der zulässige Luftwechsel  $n_{50}$  bei der Druckdifferenz zwischen Innenraum und Außenbereich von 50 Pa muss unter der Grenze von  $0,60 \text{ /h}$  liegen. [FEI00]

#### Winddichtheit

Eine winddichte Ebene verhindert das Eindringen von Außenluft nur insofern, als diese nicht in die Wärmedämmschicht oder Hohlräume gelangt und dort die Dämmeigenschaften der Bauteile beeinträchtigt. Windsperrschichten werden auf der Außenseite der Umfassungsbauteile angeordnet. Die Anforderungen an die Winddichtheit können somit ohne Erreichen der Luftdichtheit erfüllt werden.

### 5.3.2 Außenwandkanten

Wärmebrückenkataloge wie z.B. [HEI87], [HAU93] enthalten keine Angaben zu den Wärmeverlusten über Wärmebrücken bei Dämmstärken über 20 cm. Im Folgenden sind die längenbezogenen Wärmebrückenbeiwerte für die wichtigsten Außenwandkanten zusammengestellt.

In der folgenden Abbildung sind die untersuchten Wärmebrücken dargestellt.



Abb. 35. Wärmebrücken der Außenwand

### Außenwandaußenkante

Die längenbezogenen Wärmebrückenbeiwerte einer Außenwandkante mit variabler Dämmstärke bezogen auf die Außenabmessung sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Wanddämmstärke:	20 cm	25 cm	30 cm
$\psi$ in W/Km	-0,061	-0,060	-0,059

Tab. 9. Wärmebrückenbeiwerte der Außenwandaußenkante in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

### Außenwandinnenkante

Die längenbezogenen Wärmebrückenbeiwerte einer Außenwandinnenkante mit variabler Dämmstärke bezogen auf die Außenabmessung sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Wanddämmstärke:	20 cm	25 cm	30 cm
$\psi$ in W/Km	-0,132	-0,118	-0,108

Tab. 10. Wärmebrückenbeiwerte der Außenwandinnenkante in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

### Anschluss Außenwand - Außendecke

Die längenbezogenen Wärmebrückenbeiwerte für Außenabmessungen der Anschlusskante einer Außendecke und einer Außenwand sind für unterschiedliche Variationen in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Wanddämmstärke:		20 cm	25 cm	30 cm
$\psi$ in W/Km	bei 30 cm Deckendämmung	-0,060	-0,054	-0,052
$\psi$ in W/Km	bei 35 cm Deckendämmung	-0,051	-0,044	-0,041

Tab. 11. Wärmebrückenbeiwerte der Wand - Deckenanschlüsse in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

### 5.3.3 Fenster

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

Vor allem bei Bauten in städtischen Bereichen oder an Standorten mit hohen Schallschutzanforderungen ist besonders darauf zu achten, dass Dreischeibenisoliertglasfenster mit gleichen Glasdicken und -abständen meist zu schlechten Schallschutzwerten führen (siehe Kap. 8.1 Marktanalyse Fenster).

Ein guter Ansatz zur Beurteilung von Fenstern hinsichtlich ihrer Wärmedämmqualität und Tauglichkeit für Passivhäuser ist das durch das Passivhausinstitut Darmstadt (PHI) eingeführte Zertifikat für Passivhausfenster. Dabei wird das Fenster als Gesamtsystem inklusive Einbau wissenschaftlich untersucht und beurteilt. Zu beachten ist jedoch, dass neben der „normalen“ auch eine „eingeschränkte“ Zertifizierung durch das PHI angeboten wird, wo bestimmte Anforderungen, die für eine „normale“ Zertifizierung notwendig sind, nicht erfüllt werden. Die Anzahl der zertifizierten Fenster (40 Fenster, Stand Juni 2003) nimmt zu, der aktuelle Stand, das Zertifikat und das Datenblatt des jeweiligen Fensters können unter der Homepage des Passivhaus Instituts ([www.passiv.de](http://www.passiv.de)) abgefragt werden.

#### **Thermische Bewertung der Fenstervarianten Bauvorhaben Utendorfgasse**

Im Demonstrationsprojekt Utendorfgasse wurde neben den PHI-zertifizierten Fenstern versucht, auch Fenster ohne Zertifizierung zu verwenden. Dies hat finanzielle Vorteile, da zertifizierte Fenster zurzeit noch hohe Marktpreise erzielen, erfordert allerdings hohen bauphysikalischen Untersuchungs- und Planungsaufwand. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass sich dieser Aufwand nur bei Großprojekten rentiert und BauphysikerInnen mit entsprechendem Wissen und Erfahrung erforderlich sind.

Für die Berechnung der linearen Wärmebrückenbeiwerte beim Anschluss vom Fenster an die Wand werden die technischen Eigenschaften von zwei Kunststoffrahmen und einem Holzalurahmen verwendet. Die betrachteten Fabrikate schnitten bei der Preiserhebung (siehe Kapitel 8) am besten ab.

Prinzipiell ist der Einbau des Fensters in der Wärmedämmebene an der Außenkante des Mauerwerks in thermischer und technischer Hinsicht am günstigsten.

Die äußere Laibung wird zur Verbesserung des Lichteinfalls abgeschrägt. Die Abschrägung ist im Winkel von 45° angebracht und ca. 20 cm breit. Aufgrund des geringen Unterschiedes im thermischen Verhalten und der Belichtungsnachteile werden die Varianten ohne Abschrägung ausgeschieden.

In der folgenden Abbildung ist schematisch ein Schnitt durch einen Fensteranschluss dargestellt.

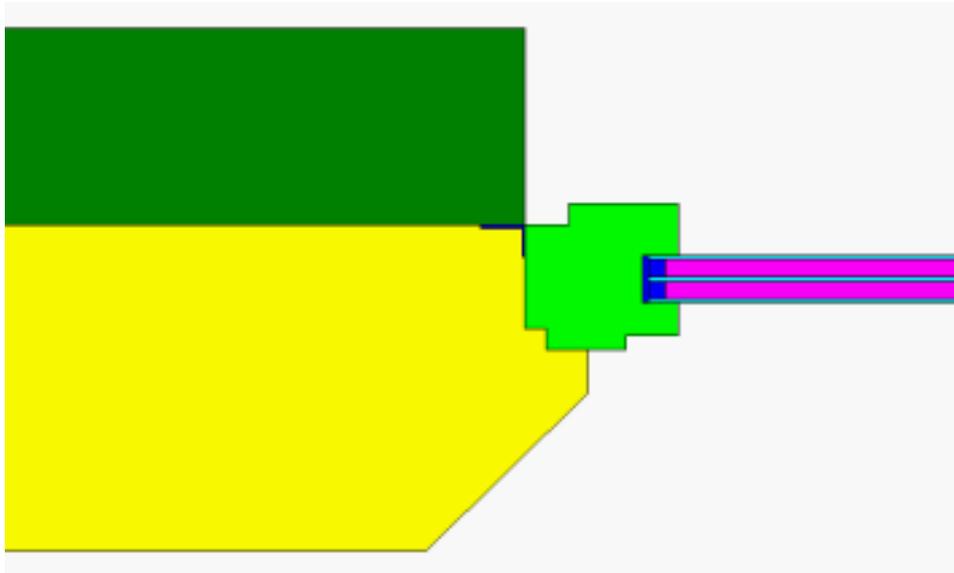


Abb. 36. Systemskizze Fensteranschluss mit Überdämmung und Abschrägung erstellt mit [THE02]

### Holzalufenster Anbieter A

Dieses passivhauszertifizierte Fenster hat eine Verglasung mit einem U-Wert von  $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der Rahmen ist an der Innenseite ca.  $11,4 \text{ cm}$  breit und hat einen U-Wert von  $0,73 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der  $\Psi$ -Wert des Randverbundes ist  $0,038 \text{ W/Km}$ . Der U-Wert des Fensters beträgt  $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Das Luftschalldämmmaß ist  $38 \text{ dB}$ , was der Bauordnung für Wien genügt.

### Kunststofffenster Anbieter B

Das passivhauszertifizierte Fenster hat eine Verglasung mit einem U-Wert von  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Der Rahmen hat einen U-Wert von  $0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$  und ist innen ca.  $13,8 \text{ cm}$  breit. Der  $\Psi$ -Wert des Randverbundes ist  $0,035 \text{ W/Km}$ . Der U-Wert des Fensters beträgt  $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Dieses Fenster erreicht ein Luftschalldämmmaß von  $38 \text{ dB}$ .

### Preisgünstiges Kunststofffenster Anbieter C

Die Verglasung weist einen U-Wert von  $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  auf, wobei in der Berechnung ein Sicherheitszuschlag von  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  für eventuellen altersbedingten Gasverlust etc. berücksichtigt wurde. Der Rahmen hat einen U-Wert von  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  und ist innen ca.  $11,5 \text{ cm}$  breit. Der  $\Psi$ -Wert des Randverbundes ist  $0,053 \text{ W/Km}$ . Das Luftschalldämmmaß beträgt  $38 \text{ dB}$ .

### Befestigungsvarianten

Die Berechnung der längenbezogenen Wärmebrückenbeiwerte wurde mit dem Programm Therm [THE02] durchgeführt. Für die Befestigung am Mauerwerk wurde die Verwendung eines Holzstaffels  $5/8 \text{ cm}$  mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $0,16 \text{ W/mK}$  oder von Stahlwinkeln  $40/30/4 \text{ mm}$  mit einer Wärmeleitfähigkeit von  $48 \text{ W/mK}$  untersucht.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der untersuchten Varianten aufgelistet. Die Variante ohne Anschlusswinkel dient als Referenz um den Einfluss der Befestigung darzustellen.

Rahmenmaterial	Einbauvariante	$\psi$ in W/mK bei einer Wanddämmstärke von		
		20 cm	25 cm	30 cm
Holz-Alu A	ohne Anschlusswinkel	0,008	0,013	0,019
Holz-Alu A	Stahlwinkel	0,016	0,022	0,026
Holz-Alu A	Holzstaffel	0,021	0,026	0,031
Kunststoff B	ohne Anschlusswinkel	0,015	0,02	0,022
Kunststoff B	Stahlwinkel	0,021	0,024	0,026
Kunststoff B	Holzstaffel	0,025	0,03	0,031
Kunststoff C	ohne Anschlusswinkel	-0,015	-0,011	-0,007
Kunststoff C	Stahlwinkel	-0,006	-0,001	0,004
Kunststoff C	Holzstaffel	-0,003	0,002	0,007

Tab. 12. Wärmebrückenbeiwerte der Fensteranschlüsse in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

### Gesamtwärmeverlust eines Fensters

Der Gesamtwärmeverlust eines Fensters beinhaltet die Verluste durch die Verglasung und den Rand und durch die Wärmebrücken des Abstandhalters und des Einbaues in die Wand. Die Befestigung des Fensters mit den Rastklötzen erfolgt an der Brüstung und am Sturz. An den Laibungen werden je zwei übliche Metallwinkel zur Positionierung vorgesehen, die aufgrund ihrer geringen Größe vernachlässigbar sind.

Anhand eines 120 cm breiten und 140 cm hohen Fensters werden die angebotenen Fenster verglichen. Die Gesamtwärmeverluste sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Fenster	Einbauvariante	Gesamtwärmeverlust des Fensters in W/K		
		20 cm	25 cm	30 cm
Holz-Alu A	Stahlwinkel	1,418	1,446	1,472
Holz-Alu A	Holzstaffel	1,431	1,457	1,485
Kunststoff B	Stahlwinkel	1,316	1,336	1,347
Kunststoff B	Holzstaffel	1,326	1,352	1,360
Kunststoff C	Stahlwinkel	1,559	1,583	1,606
Kunststoff C	Holzstaffel	1,567	1,590	1,614

Tab. 13. Gesamtwärmeverlust des Fensters in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

Der Einfluss der unterschiedlichen Fenstertypen auf die Gebäudekenngrößen ist in Kapitel 7.1 zu finden.

### Ergebnis Bewertung Varianten Fenstereinbau

*Die im Rahmen der Marktanalyse angebotenen zertifizierten Fenster weisen die geringsten Wärmeverluste auf. Das Kunststofffenster von Anbieter C weist einen um ca. 23 % höheren Gesamtenergieverlust auf als das Kunststofffenster von Anbieter B. Die Art der Befestigung (Stahlwinkel bzw. Holzstaffel) ist für den Gesamtverlust unbedeutend.*

### 5.3.4 Unterste Geschoßdecke

Als unterem Abschluss der warmen Hülle ist dieser Decke besonderes Augenmerk zu schenken. Zur Lastabtragung notwendige Auflager durchstoßen die Dämmebene zwischen Erdgeschoss und Tiefgarage. Die Wärmeverluste über diese Schwachstellen in der Dämmebene sind zu minimieren bzw. es ist auf eine ausreichende Innenoberflächentemperatur der Bauteile zu achten.

Wie in Kapitel 4.4 beschrieben, ist für die Ausbildung der Wärmebrücken die konstruktive Frage entscheidend, ob die Lastabtragung punkt-, linienförmig oder durch eine Kombination beider erfolgt.

Bei der linienförmigen Lastabtragung könnte Purenit, Schaumglas oder Porenbeton eingesetzt werden. Aus Kostengründen wurde Porenbeton weiter untersucht (Siehe Kapitel 8.7 Baukosten).

Die punktförmige Lastabtragung könnte durch Betonschuhe oder Stahlschuhe erfolgen. Die Übertragung der Zugkräfte unter Erdbebenlast erfordert in beiden Fällen ähnliche Stahlquerschnitte. Bei Betonschuhen kann kostengünstiger Baustahl eingesetzt werden.

Aus Kostengründen wird die Dämmung auf der Tiefgaragendecke ausgeführt. Die Kosten für den brandschutztechnisch erforderlichen, nicht brennbaren Dämmstoff unter der Tiefgaragendecke, wären wesentlich höher. Auch die Befestigung würde zu höheren Kosten gegenüber einer Ausführung auf der Tiefgaragendecke beitragen.

### 5.3.4.1 Linienförmige Lagerung mit Porenbetonaufleger

Die 30 cm Dämmung an der Außenwand und die 35 cm an der Tiefgaragendecke weisen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK auf. Der Fußboden ist aus 18 cm Beton, 35 cm Dämmung, 10 cm Estrich und 2 cm Bodenbelag aufgebaut. Der Porenbeton hat einen Querschnitt von 20 auf 40 cm und eine Wärmeleitfähigkeit von 0,11 W/mK. Der lineare Wärmebrückenkoeffizient des Porenbetonauflegers, berechnet mit dem Wärmebrückenprogramm [HEA02], beträgt 0,033 W/mK. Für die Zwischenwände ergibt sich derselbe Wert.

In der folgenden Abbildung ist ein schematischer Schnitt durch einen Auflagerpunkt dargestellt.

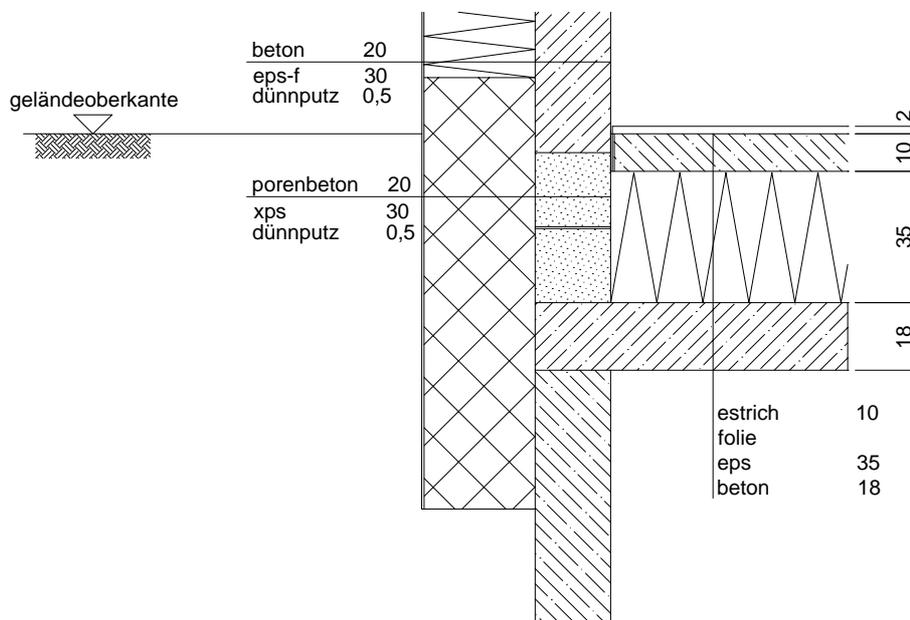


Abb. 37. Unterste Geschoßdecke - Schnitt durch Auflager aus Porenbeton

### 5.3.4.2 Punktförmige Stahlaufleger

Die Auflagerpunkte sind entsprechend des erforderlichen Stahlquerschnitts in drei Kategorien eingeteilt. Im Wärmebrückenprogramm [HEA02] wurde für Typ 1 das Stahlblech, das die Dämmebene durchdringt, mit 450 auf 40 mm und einer Höhe von 350 mm angesetzt. Die Wärmeleitfähigkeit des Stahls ist mit 46 W/mK angesetzt. Bei Typ 2 beträgt der Blechquerschnitt 335 auf 30 mm und bei Typ 3 ist dieser 285 auf 30 mm groß. Die Größen der 25 mm starken Kopfplatten sind den stehenden Stahlblechen angepasst.

Die Berechnung der Wärmebrückenzuschläge erfolgt mit einer Dämmstärke von 30 cm an der Außenwand. Der Fußboden ist bei dieser Ausführung aus 20 cm Beton, 35 cm Dämmung, 10 cm Estrich und 2 cm Bodenbelag aufgebaut.

In der folgenden Abbildung ist der Auflagerpunkt Typ 1, zulässige Lasten 5.000 kN Druck, 1.000 kN Horizontallast, 2.500 kN Zug dargestellt.

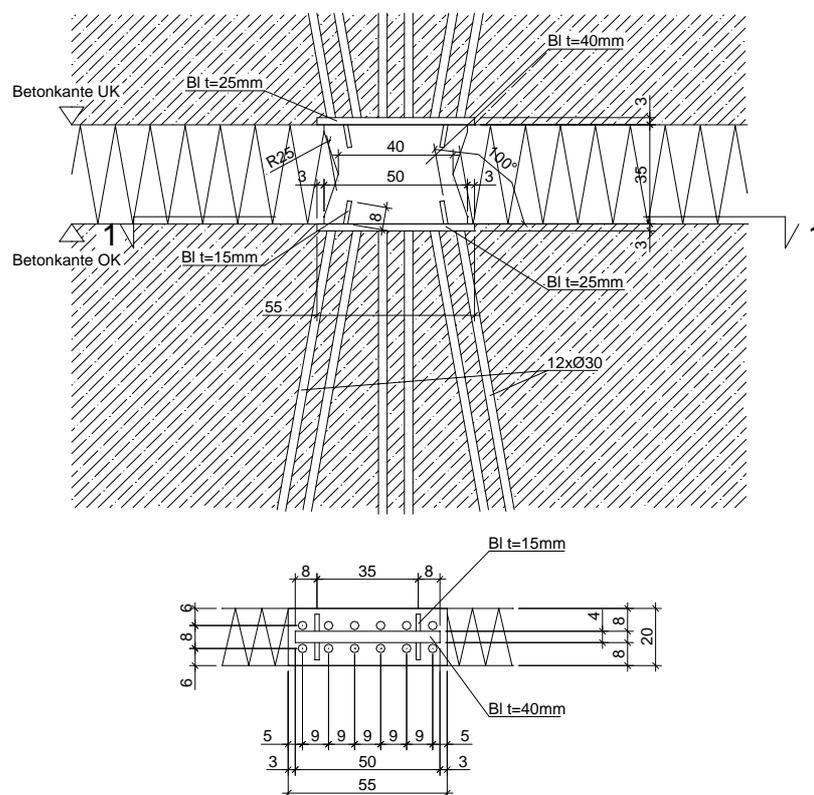


Abb. 38. Grund- und Aufriss von Stahlauflagertyp 1

In der folgenden Abbildung ist der Auflagerpunkt Typ 2, zulässige Lasten 2.500 kN Druck, 500 kN Horizontallast, 2.500 kN Zug dargestellt.

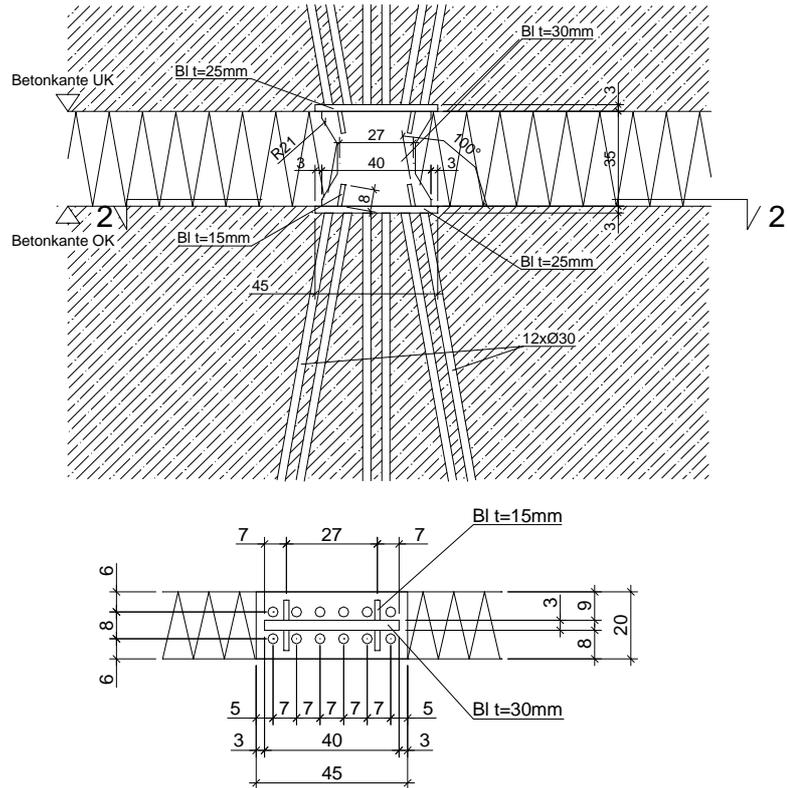


Abb. 39. Horizontalschnitt durch Stahlaufleger Typ 2

In der folgenden Abbildung ist der Auflagerpunkt Typ 3, zulässige Lasten 1.000 kN Druck, 500 kN Horizontallast, 1.000 kN Zug dargestellt.

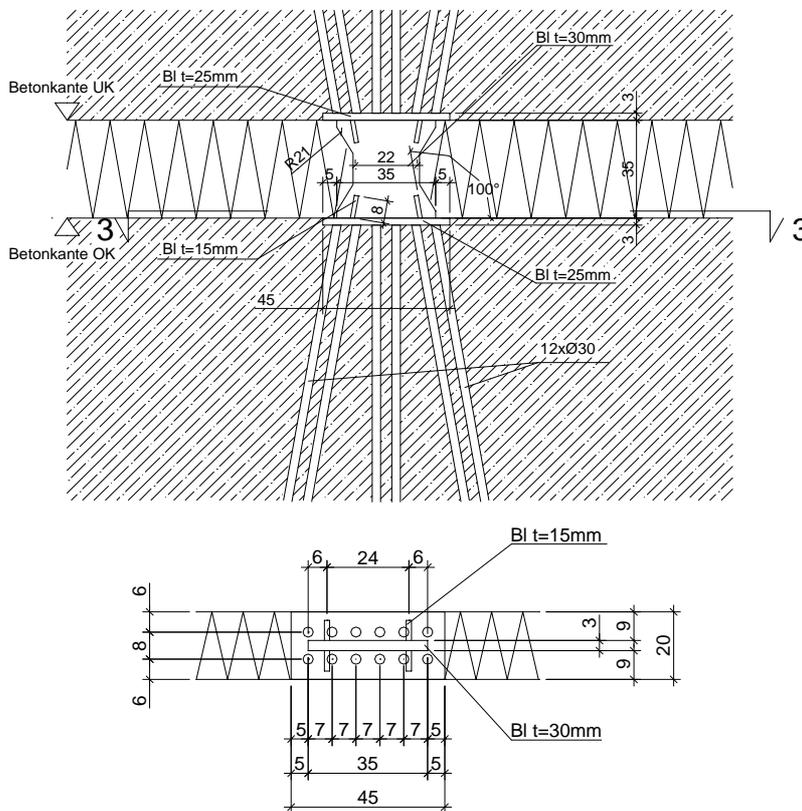


Abb. 40. Horizontalschnitt durch Stahlaufleger Typ 3

### Auswirkung von Wärmedämmung entlang der Tiefgaragenwände

Es werden verschiedene Ausführungsvarianten untersucht, bei denen an den Tiefgaragenwänden beidseitig im Bereich der Stahlaulager zusätzliche Dämmung vorgesehen wird.

Bei Ausführungsvariante A ist keine zusätzliche Dämmung an den Tiefgaragenwänden vorhanden. In Variante B sind beidseitig zusätzliche Dämmstreifen von 15 cm Dicke, 150 cm Länge und 50 cm Höhe am Kopf der Wand vorgesehen. Bei Variante C ist die Dämmung auf 200 cm Abstand von den Stahlteilen vergrößert. Die zusätzlich angeordnete Dämmung hat somit eine Breite von 450 cm und eine Höhe von 200 cm.

Eine Ausführung des Tragleches und der Kopfbleche in Nirosta mit einer Wärmeleitfähigkeit von 15 W/mK ist mit Mehrkosten von Euro 1.500,- pro Auflager verbunden und wird deshalb nicht berücksichtigt.

In der folgenden Tabelle sind die punktförmigen Wärmebrückenbeiwerte  $\chi$  in W/K der verschiedenen Ausführungsvarianten aufgelistet.

Variante	Beschreibung	TYP 1	TYP 2	TYP 3	Kosten in Euro pro Auflager
		$\chi$ in W/K	$\chi$ in W/K	$\chi$ in W/K	
A	keine Dämmung	0,638	0,545	0,485	ca. 500
B	150 x 50 cm <sup>2</sup> Dämmung	0,582	0,497	0,445	ca. 515
C	450 x 200 cm <sup>2</sup> Dämmung	0,566	0,479	0,432	ca. 540

Tab. 14. Thermische Eigenschaften und Kostenabschätzung der Stahlaulagervarianten

Die Temperaturfaktoren an den Wärmebrücken sind für alle Varianten kleiner als der zulässige Wert von 0,31, damit ist die Tauwasserfreiheit garantiert. [ONO95]

#### 5.3.4.3 Punktförmiges Betonauflager

Die punktförmigen Auflager können alternativ zu der Ausführung in Stahl in Beton ausgeführt werden. Die Auflagerhöcker haben einen Betonquerschnitt von 60 mal 20 cm. Die Bewehrung wird den zu übertragenden Kräften am jeweiligen Auflagerpunkt angebracht. In der folgenden Abbildung ist ein Betonauflager dargestellt.

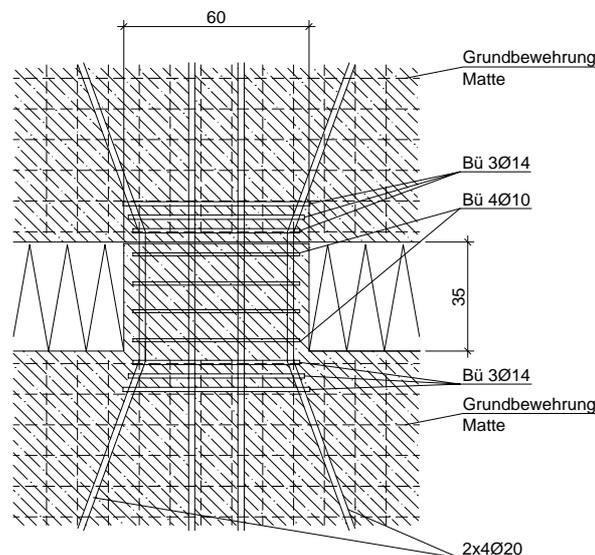


Abb. 41. Punktförmiges Betonauflager

Für den punktuellen Wärmeverlust über einen Betonhöcker ergibt sich ein Wert von ca. 0,55 W/K. Die Verluste über die Betonhöcker sind geringfügig höher als über die Stahlaufleger. Daher wird die Ausführung in Beton im folgenden Vergleich nicht explizit behandelt.

#### 5.3.4.4 Vergleich der Wärmeverluste von Linien- mit Punktaufleger

Am Beispiel der Wohnung 2.2 mit einer Bruttofläche von ca. 89 m<sup>2</sup> wird der Gesamtwärmeverlust einer punktförmigen mit einer linienförmigen Auflagerung verglichen. Bei punktförmigen Stahlauflegern sind für die Lastabtragung ein Auflager des Typs 1, drei Auflager des Typs 2 und vier Auflager des Typs 3 erforderlich. Ein Auflager Typ 1 und zwei Auflager Typ 2 liegen zwischen der Wohnung 2.2 und der Wohnung 2.1 und werden daher nur zur Hälfte in Rechnung gestellt. Wird die Auflagerung linienförmig vorgenommen, sind ca. 41 lfm Porenbetonaufleger notwendig.

In der folgenden Tabelle sind die Beiträge zum Gesamtwärmeverlust der unterschiedlichen Auflagerungsvarianten aufgelistet. Die Dämmstärke der Decken wurde dabei so angepasst, dass der Gesamtleitwert gleich bleibt.

Auflagerung	Gesamtleitwert in W/K	Leitwert der Auflagerung in W/K	Leitwert der Deckenfläche in W/K	Dämmstärke in cm	U-Wert der Decke in W/m <sup>2</sup> K
<b>punktförmig</b>	11,12	2,96	8,16	43	0,092
<b>punkt- und linienförmig</b>	11,12	1,62	9,50	37	0,107
<b>linienförmig</b>	11,12	1,11	10,01	35	0,113

Tab. 15. Beiträge zum Gesamtwärmeverlust

#### **Ergebnis Auflagerung**

*Um die unterste Geschoßdecke in thermischer Hinsicht gleich auszuführen, ist bei den punktförmigen Auflagern eine Ausführung von 43 cm Dämmung, bei einer gemischten Variante (Auflagerung der Außenwände aus Porenbeton und bei Innenwänden aus Stahlschuhen) sind 37 cm bzw. bei einem linienförmigen Auflagern (Porenbeton) von 35 cm notwendig.*

#### 5.3.5 Balkone

Im konkreten Projekt wurden Ausführungsvarianten im Leichtbau untersucht. Motivation war der geringere Durchdringungsanteil aufgrund der geringeren Lasten in Leichtbauausführung.

Anforderungen an den Balkonanschluss sind die

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

Im Weiteren wurden zwei Varianten im Hinblick auf die kostengünstige Bauausführung und Montagefreundlichkeit dargestellt. Bei der Variante Laschen werden die in der folgenden Abbildung dargestellten Nirostabauteile verwendet.

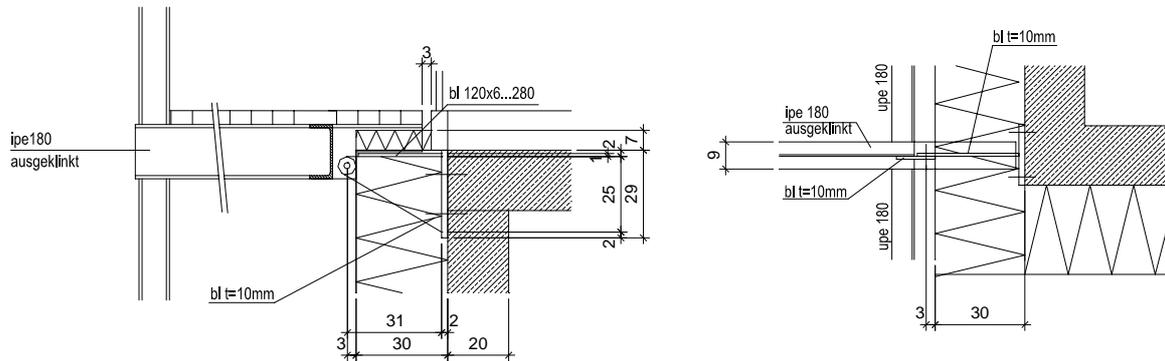


Abb. 42. Balkondetail Variante Stahllasche Schnitt (links) und Grundriss (rechts)

Wanddämmstärke:	20 cm	25 cm	30 cm
$\chi$ in W/K	0,076	0,073	0,070

Tab. 16. Wärmebrückenbeiwerte einer Lasche in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

Bei der Variante Dreibein werden die Balkone durch 2 Rundstäbe mit einem Durchmesser von 12 mm und einem Formrohr 30/30/2 aus Nirosta mit einer Wärmeleitfähigkeit von 15 W/mK an jede Querscheibe angeschlossen.

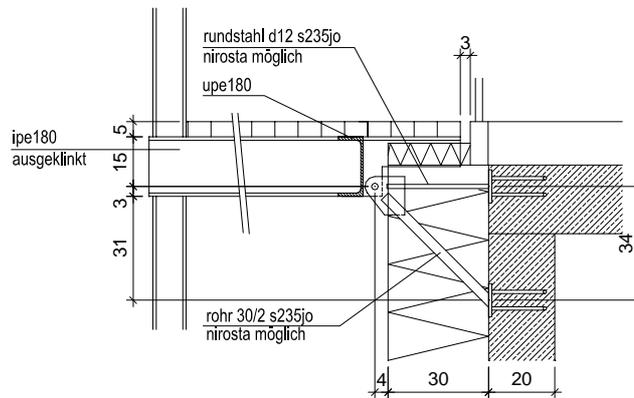


Abb. 43. Balkondetail Variante Dreibein

Die punktuellen Wärmebrückenbeiwerte in W/K sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Wanddämmstärke:	20 cm	25 cm	30 cm
$\chi$ in W/K	0,028	0,024	0,021

Tab. 17. Wärmebrückenbeiwerte der Balkonbefestigungen in Abhängigkeit der Wanddämmstärke

**Ergebnis Balkonanschluss:**

Das Dreibein ist energetisch gegenüber der Stahllasche im Vorteil. Kostentechnisch wird das Dreibein wahrscheinlich um die Hälfte günstiger sein, obwohl die Montage etwas aufwendiger ist, aber da nur ein Drittel Stahl gegenüber der Stahllasche benötigt wird.

### 5.3.6 Dach

Bei einem Dach mit 5° Neigung wurden folgende drei Varianten kostenmäßig bewertet:

Kurzbeschreibung Dachaufbau	Kosten in Euro/m <sup>2</sup> Bauteil
EPS 45 cm mit Abdichtung obenliegend und Beschüttung	134
EPS 45 cm mit Blechdeckung	161
XPS 45 cm mit Abdichtung untenliegend und Beschüttung	194

Tab. 18. Kosten der Dachaufbauvarianten für 5° Neigung inklusive Stahlbetondecke, exkl. Ust. Stand 2003

Für ein Dach mit 45° Neigung wurde die folgende Variante gewählt.

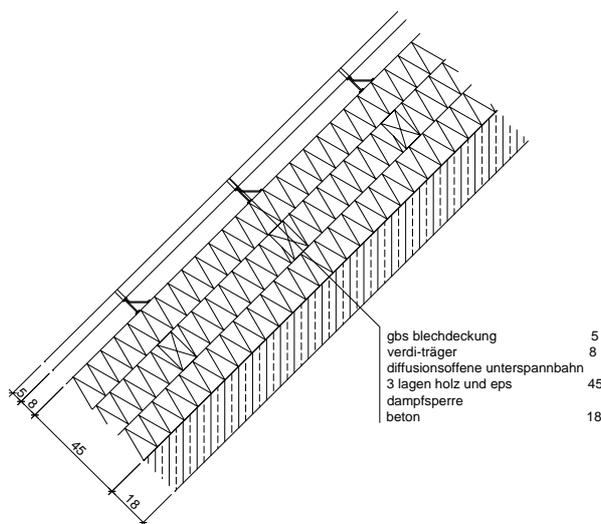


Abb. 44. Dachaufbau mittels EPS und Blechdeckung für 45° Neigung

Kurzbeschreibung Dachaufbau	Kosten in Euro/m <sup>2</sup> Bauteil
EPS 45 cm mit Blechdeckung	193

Tab. 19. Kosten des Dachaufbaus für 45° Neigung inklusive Stahlbetondecke, exkl. Ust. Stand 2003

### 5.3.7 Stiegenhaus

Im folgenden Abschnitt wird anhand verschiedener Varianten untersucht, ob das unbeheizte Stiegenhaus grundsätzlich aus der gedämmten Hülle ausgeklammert werden soll, oder ob das Durchziehen der Dämmung an der Außenwand günstiger ist. Weiters wird betrachtet, ob das Stiegenhaus in die Lüftungsanlage integriert, oder mittels Abluftventilator ohne Wärmerückgewinnung entlüftet werden soll.

Die Ausgangsvariante A5 + I30 sieht eine durchgehende Dämmstärke von 5 cm an der Außenfassade und eine 30 cm starke Dämmung an den Stiegenhausinnenwänden, die an die Wohnungen angrenzen, vor. In den anderen Varianten wurde die Dicke in Schritten von 5 cm variiert. Dabei ist jeweils ein Abluftventilator mit einem mittleren Luftwechsel von 0,1 /h vorgesehen. Die Be- und Entlüftung der Variante WRG, die ansonst der Variante A30 + I5 entspricht, erfolgt über die Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Die errechneten Heizwärmebedarfswerte und die Gebäudeheizlasten bezogen auf die Wohnnutzfläche sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

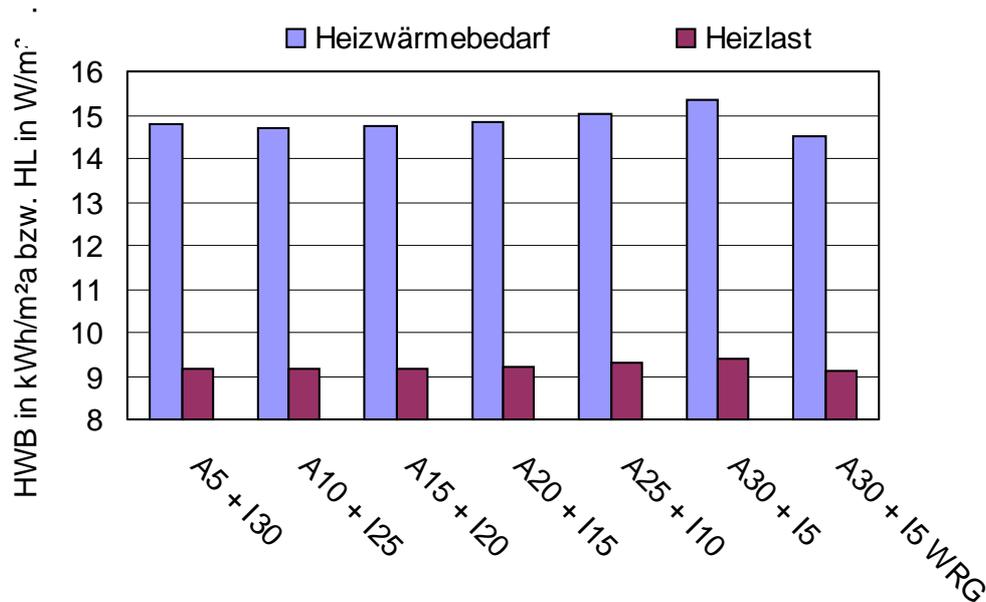


Abb. 45. Heizwärmebedarf und Heizlast des Gesamtgebäudes bei verschiedenen Dämmanordnungen und des Lüftungskonzeptes des Stiegenhauses

Der Heizwärmebedarf ist von der Dämmanordnung geringfügig beeinflussbar. Der Heizwärmebedarf liegt zwischen ca. 14,70 kWh/m²a bei Anordnung A10 + I25 und 15,36 kWh/m²a bei Anordnung A30 + I5. Die Heizlast wird um ca. 0,15 W/m² durch die Dämmanordnung verändert.

#### **Ergebnis Stiegenhaus:**

Das Be- und Entlüften des Stiegenhauses über die Lüftungsanlage bringt die günstigsten Ergebnisse. Der Heizwärmebedarf liegt bei 14,49 kWh/m²a und die Heizlast bei 9,13 W/m². Das Stiegenhaus ist aufgrund dieser und der folgenden Vorteile beim Demonstrationsprojekt Wien Utendorfgasse in die thermische Hülle und in das Lüftungssystem inkludiert:

- Temperaturen im Stiegenhaus ca. 17 °C im Jänner, anstatt ca. 4 °C bei exkludiertem Stiegenhaus
- das System der Außenwanddämmung wird nicht unterbrochen, daher sind Wärmebrücken reduziert
- Entfall von aufwendigen Anschlusspunkten zwischen den Wohnungen und dem Stiegenhaus
- an die Wärmedämmeigenschaften der Wohnungseingangstüren werden keine besonderen Anforderungen gestellt

### 5.3.8 Notkamine

Mit der Novellierung der Bauordnung für Wien vom 21. Februar 2003 lautet der §112 Feuerstätten und Heizungen, der Bestimmungen zu Notkaminen enthält, wie folgt: [LAN03], [BOW03]

**§ 112.** (1) Aufenthaltsräume müssen ausreichend beheizbar sein; die ausreichende Beheizbarkeit ist dann gegeben, wenn ein Rauchfanganschluss (Abgasfanganschluss) oder ein Versorgungsanschluss für die Raumheizung im Raum vorhanden ist. In jeder Wohnung muss mindestens ein Aufenthaltsraum einen Rauchfanganschluss (Abgasfanganschluss) in einen Fang mit einem lichten Querschnitt von mindestens 14 cm Durchmesser haben; dies gilt nicht für Wohnungen in Hochhäusern und in Passivhäusern. Passivhäuser sind Gebäude, deren Heizwärmebedarf kleiner als 15 kWh/m<sup>2</sup>a, bezogen auf die Nettogeschoßfläche, ist, wobei die Heizlast von 10 W/m<sup>2</sup>, bezogen auf die Nettogeschoßfläche, nicht überschritten werden darf. Vom Erfordernis der Beheizbarkeit kann abgesehen werden, wenn der Verwendungszweck des Raumes die Beheizung entbehrlich macht.

Folgende Kenngrößen sind dabei nachzuweisen bzw. vorzulegen [EDE03]:

- Heizwärmebedarf nach EN 832 und ÖNORM B 8110 Teil 1 und 5 < 15 kWh/m<sup>2</sup>
- Heizlast gemäß ÖNORM B 8110-5 (ÖNORM M 7500) < 10W/m<sup>2</sup>
- Thermischer Komfort Fenster
- Dichtheit der Gebäudehülle  $n_{50} < 0.6$  1/h
- Anheizzeit

In Kapitel 7 sind die Auswirkungen der derzeit unterschiedlichen Nachweisverfahren für die Utendorfgasse dargestellt.

***Ergebnis Notkamine:***

*Aufgrund des Berechnungsverfahrens der Heizlast nach ÖNORM M 7500 sind strengere Anforderungen an das Wärmedämmniveau gestellt als z. B. durch das Passivhausprojektierungspaket PHPP.*

### 5.3.9 Leitungsführung

Aufgrund der Erfahrungen anderer Passivhausprojekte werden die allgemeinen Haustechnikräume und die Lüftungszentrale in die warme Hülle einbezogen. Die Anzahl der Durchdringungen, insbesondere der Luftleitungen mit großem Querschnitt, der thermischen Hülle und der luftdichten Gesamthülle aus Wohnungen und Stiegenhaus werden hierdurch minimiert.

Zwischen Haustechniksteigschacht und Wohnung muss auf die luftdichte Ausführung geachtet werden, damit die wohnungsweise Luftdichtheit erhalten bleibt.

Die Anforderungen hinsichtlich des Brandschutzes werden in Kapitel 6.1.1.4 dargestellt.

## 5.4 Holzaußenwände

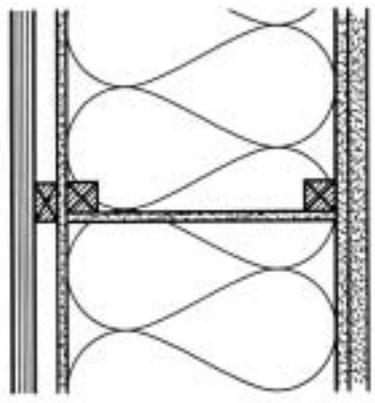
### 5.4.1 Warum Holzaußenwände

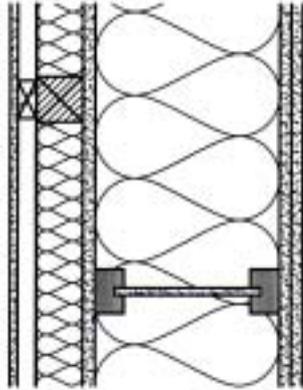
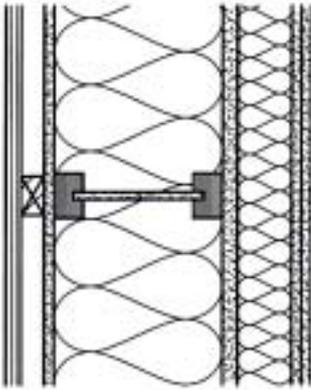
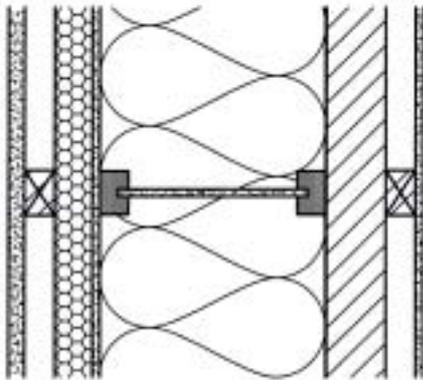
Bei 10 der 14 CEPHEUS-Projekte wurden Holzaußenwände in verschiedensten Formen ausgeführt. [SCH01] Auch beim derzeit größten Passivbürogebäude in Ulm (D) mit 420 Arbeitsplätzen, 2003 fertig gestellt, wurden Holzaußenwände verwendet. [OEH03] Ein aktueller städtischer Passivwohnbau in München Riem mit 18 Wohneinheiten wurde ebenfalls mit Holzaußenwänden ausgeführt. [FEI02]

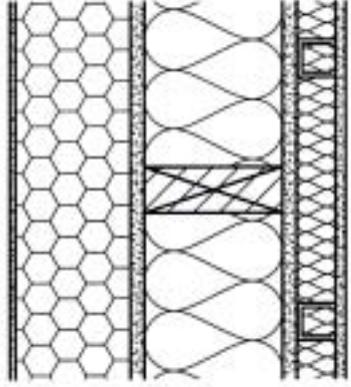
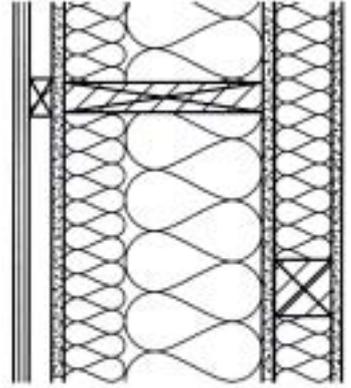
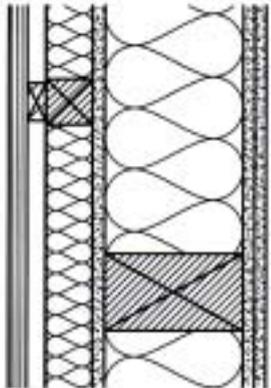
Die Passiv-Holzaußenwand bringt einen baustoffspezifischen ökologischen Vorteil, je nach Baufluchtlinien oft einen Wohnnutzflächengewinn aufgrund geringerer Bauteilstärke gegenüber einer Massivbauvariante und ist dadurch trotz teilweise höherer Gestehungskosten rentabler. Diese Möglichkeit zur Kostensenkung der Passivtechnologie wird in Kapitel 8.3, die technische Lösbarkeit wird in diesem Kapitel untersucht bzw. aufgezeigt.

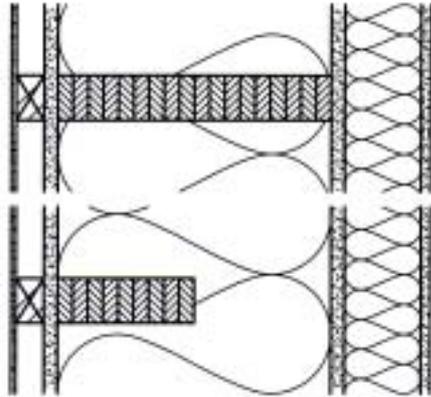
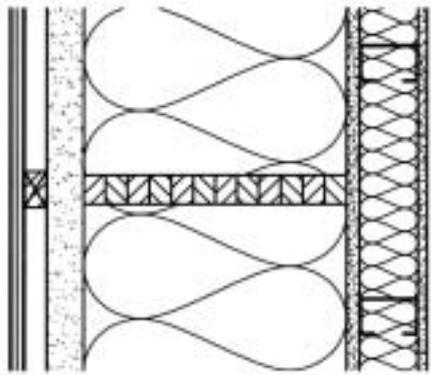
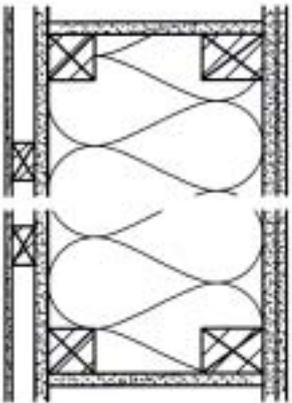
### 5.4.2 Erhebung

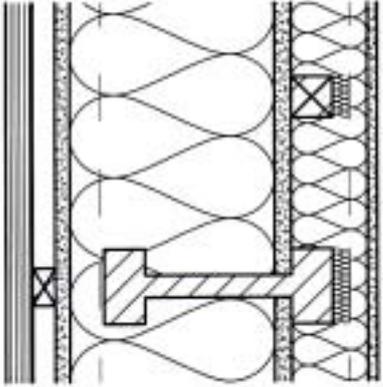
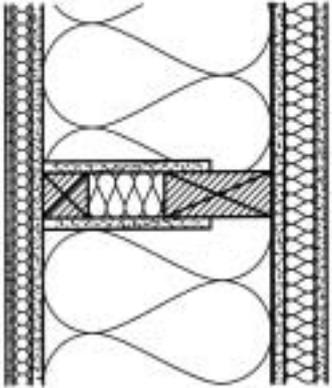
In der folgenden Tabelle werden Passiv-Holzaußenwände der österreichischen CEPHEUS Projekte und weitere relevante in Österreich und Deutschland ausgeführte Holzaußenwände zusammengestellt.

Ort	Konstruktionsaufbau (Horizontalschnitt)	Konstruktionsbeschreibung [mm]	U-Wert
Ölz Bündt/Ö	[KAU98]	Außenwand	0,11 W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Stulpschalung Lärche natur k.A. Konterlattung 30 Spanplatte 12 Verbundsteher (Span- platte) dazwischen Mineralwolle 350 Dampfbremse --- Spanplatte 16 Gipskartonplatte 25 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 3 Fassade: selbsttragend

Ort	Konstruktionsaufbau (Horizontalschnitt)	Konstruktionsbeschreibung [mm]	U-Wert
Hagau/D	[SCH02c]	Außenwand 1	0,13 W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Eternitplatte 10 Lattung 24 Folie --- Holzriegel/Dämmung 60/60 DWD-Platte 16 TJI/Dämmung 241 OSB 15 Gipskarton 15 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 3 Fassade: selbsttragend
Salzburg- Gnigl/Ö	[KRA01]	Außenwand	0,11 W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Holzschalung 20 Hinterlüftung 3 TYVEK-Folie --- Gipsfaserplatte 1,25 TJI/Mineralwolle 22 OSB-Platte 1,9 PE-Folie --- Mineralwolle 7 Gipsfaserplatten 2x12,5 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 2 Fassade: tragend
Weiz/Ö	[SAN02]	Außenwand	0,11 W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Acrylgaswolle 21 Luftraum (Holzleiste) 40 Wabe 50 Agepanplatte (winddicht) 10 TJI/Dämmung 302 Dampfbremse --- SHBE (Santner Holz Bau Element) 80 Lattung-Installation 40 Sperrholzplatte 10 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 2 Fassade: vorgesetzt

Ort	Konstruktionsaufbau (Horizontalschnitt)	Konstruktionsbeschreibung [mm]	U-Wert
Hallein/Ö	[KRA01]	Außenwand 1	0,11 W/m <sup>2</sup> K
		<p><b>Außen/kalt</b></p> <p>Kunstharzputz 7</p> <p>Polystyrol HSEPS-F 150</p> <p>OSB-Paneel 18</p> <p>Riegel/Mineralwolle 60/180</p> <p>OSB-Paneel 18</p> <p>LPDE-Folie ---</p> <p>Federn/Mineralwolle 50</p> <p>Gipskartonplatte 12,5</p> <p><b>Innen/warm</b></p>	Geschoße: 3 Fassade: vorgesetzt
Wolfurt/Ö	[KRA01]	Außenwand	0,12 W/m <sup>2</sup> K
		<p><b>Außen/kalt</b></p> <p>Lärchenschalung k.A.</p> <p>Hinterlüftung 30</p> <p>MDF-Platte 16</p> <p>Riegel/Steinwolle 40/260</p> <p>OSB-Platte 15</p> <p>Dampfbremse ---</p> <p>Steinwolle zwischen ALU-C-Profilen 75</p> <p>Gipskartonplatten 13</p> <p><b>Innen/warm</b></p>	Geschoße: 3 Fassade: vorgesetzt
Hagau/D	[SCH02c]	Außenwand 2	0,13 W/m <sup>2</sup> K
		<p><b>Außen/kalt</b></p> <p>Lärchenschalung 2,4</p> <p>Lattung 2,4</p> <p>Folie ---</p> <p>Holzriegel/Dämmung 60/60</p> <p>DWD-Platte 16</p> <p>Holzriegel/Dämmung 100/180</p> <p>OSB 15</p> <p>Gipskarton 15</p> <p><b>Innen/warm</b></p>	Geschoße: 3 Fassade: selbsttragend

Ort	Konstruktionsaufbau (Horizontalschnitt)	Konstruktionsbeschreibung [mm]	U-Wert
Dornbirn- Knie/Ö	[KRA01]	Außenwand (Bad, Technik, Stiege)	0,09W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Max-Kompaktplatten geklebt 6 Konterlattung 37/60 bzw. 3,7/10 OSB-Platte 18 Konstruktion Brett- Schichtholz/jeder 60/360 zweite Steher BSH/ 60/180 Steinwolle 2x180 OSB-Platte Stöße geklebt 18 Steinwolle 100 Gipskartonplatte 12,5 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 2 Fassade: vorge setzt
Schwanen- stadt/Ö	[OBE03]	Außenwand (Bad, Technik, Stiege)	0,08 W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Lärchenschalung horizontal 20 Lattung 30 Windbremse - UV beständig --- Weichfaserplatte 50 Brettschichtholzrippe 40/360 Rockwool-Flexirock 2x180 OSB-Platte 18 Metallständer/ Steinwolledämmung 80 Gipskartonplatte 12,5 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 2 Fassade: vorge setzt
Wuppertal/ D	[JAC02]	Außenwand	k.A. W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Eternit-Platte 8 Hinterlüftung mit horizontaler Lattung 30/50 DWD-Platte 16 Winddichtung --- Holzriegel/ 60/60 bzw. 60/80 OSB 16 Wärmedämmung( WLG 035) 280 OSB 18 Gipsfaserplatte 12,5 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 6 Fassade: vorge setzt

Ort	Konstruktionsaufbau (Horizontalschnitt)	Konstruktionsbeschreibung [mm]	U-Wert
Dresden- Pillnitz/D	[REI02]	Außenwand 2	0,11 W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Lärchen-Stülp- schalung 120/24 Konterlattung 30/50 Holzweichfaserplatte Querlattung/Zellulose 40/60 Dokaträger/Zellulose OSB-Platte 22 Installationsebene/ Zellulose 76 Lattung / Zellulose 22/80 Fermacell-Platte 12,5 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 3 Fassade: tragend
Steinling/D <sup>16</sup>	[TUC02]	Außenwand	0,09 W/m <sup>2</sup> K
		<b>Außen/kalt</b> Mineralputz 8 Polystyrolplatten 25 OSB 15 Holzriegel(60/60 bzw. 60/140)/OSB (15)/ Minerale Dämmung 300 PE-Folie --- OSB 15 Zellulose-Dämmplatten 40 Gipskartonplatten 15 <b>Innen/warm</b>	Geschoße: 2 Fassade: tragend

Tab. 20. Auszug aus der Zusammenstellung ausgeführter Passiv-Holzaußenwände Österreichs und Deutschlands [FRI03]

### 5.4.3 Systemwahl

Die Systeme teilen sich, wie im vorausgegangenen Kapitel aufgezeigt, in zwei Hauptgruppen:

1. Systeme mit Ständern aus Massivholzprofilen (Schnittholz, KVH oder Brettschichtholz)
2. Systeme aus zusammengesetzten Profile (Stegträger, Boxträger)

Die Hälfte aller Passivholzaußenwände wurden als Stegträger und hierin wiederum fast ausschließlich als TJI-Träger ausgeführt. Der Stegträger kann anhand der durchgeführten

<sup>16</sup> Datum der Realisierung steht noch nicht fest, voraussichtlich 2004. In Hannover-Kronsberg/D von Faktor 10 wurden Boxträger allerdings mit zwei bzw. drei horizontalen und vertikalen Holzriegel 50/50 verbunden mit Hartfaserplatten ausgeführt [GRE02].

Erhebung als die aktuelle Standardlösung angesehen werden. Horn und Heinrich bezeichnen in ihrem Beitrag zur 7. Internationalen Passivhaustagung „Wärmebrücken bei Holz-Stegträgern“ [HOR03] Holz-Stegträger ebenfalls als Standard für Passivhäuser.

#### 5.4.4 Regeldetail mit TJI-Träger

Passivholzaußenwände mit TJI-Träger sind die häufigst ausgeführte Variante. Die Nord- und Südaußenwände der Utendorfgasse könnten ohne großen Eingriff in das statische System durch solche nichttragende Holzwände ersetzt werden. Für den Fall nicht tragender Holzaußenwand werden Regeldetail und deren Anbindung an die Stahlbetondecke entworfen.

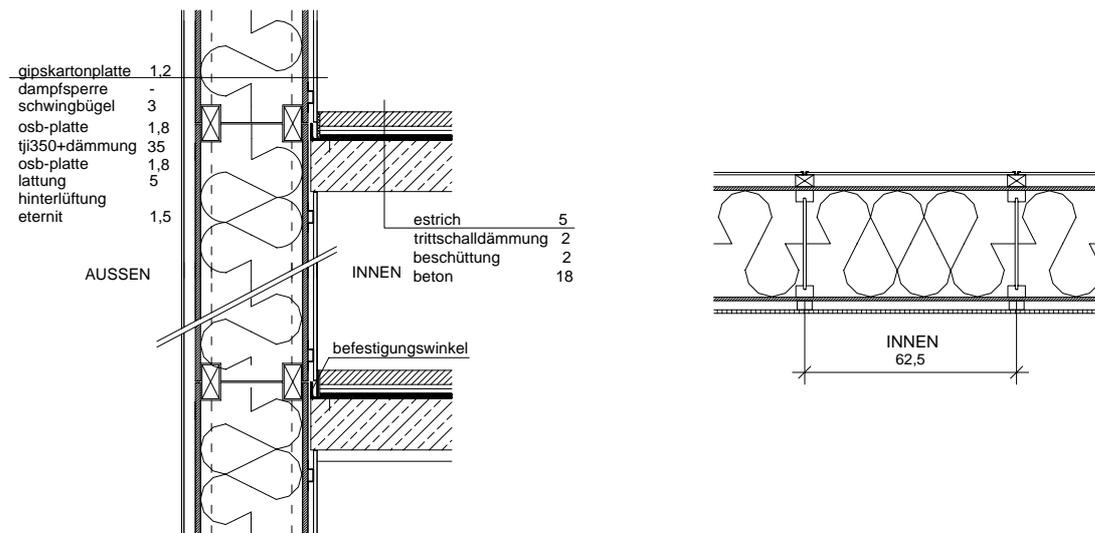


Abb. 46. Vertikalschnitt Außenwand mit TJI-Träger für Projekt Utendorfgasse

In der folgenden Tabelle sind die U-Werte für einen dreidimensionalen repräsentativen Fassadenausschnitt zusammengestellt. Die dreidimensionale Berechnung nach EN10211 wurde mit dem Programm Heat3 [BLO95] durchgeführt.

	U-Wert repräsentativer Fassadenausschnitt
	W/m <sup>2</sup> K
ISO 6946	0,123
3D-Berechnung EN 10211	0,120

Tab. 21. U-Werte eines repräsentativen Fassadenausschnitts mit TJI-Träger

#### 5.4.5 Ausblick Kostenminimiertes Detail „Sparholzlösung“

Für nichttragende Außenwände, wie es beispielsweise in der Utendorfgasse der Fall ist, sind Holzaußenwände aus TJI-Trägern statisch überdimensioniert. Daher wird im Folgenden eine nichttragende und dadurch auch kostengünstigere Lösung entwickelt.

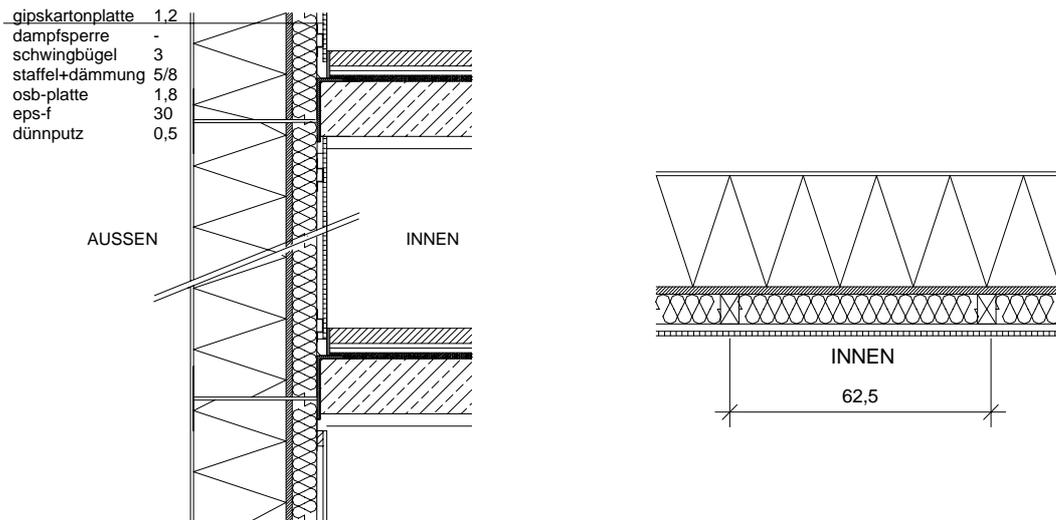


Abb. 47. Vertikalschnitt Außenwand des kostenoptimierten Wandaufbaus „Sparholzlösung“

In der folgenden Tabelle sind die U-Werte für einen dreidimensionalen repräsentativen Fassadenausschnitt zusammengestellt. Die dreidimensionale Berechnung nach EN10211 wurde mit dem Programm Heat3 [BLO95] durchgeführt.

U-Wert repräsentativer Fassadenausschnitt	
W/m <sup>2</sup> K	
ISO 6946	0,130
3D-Berechnung EN 10211	0,129

Tab. 22. U-Werte eines repräsentativen Fassadenausschnitts der „Sparholzlösung“

Die kostenoptimierte Lösung für nichttragende Holzaußenwände wurde bezüglich ihrer Gebrauchstauglichkeit nicht im Langzeitverhalten überprüft. Probleme könnten sich aus unterschiedlichen Längenänderungen des geklebten Styropor/Holz-Elementes zufolge Temperatur bzw. Materialfeuchten ergeben.

### 5.4.6 Anschlussdetails mit TJI-Träger

Für die häufigst ausgeführten Passivholzaußenwände aus TJI-Träger werden im Folgenden einige Anschlussdetails dargestellt.

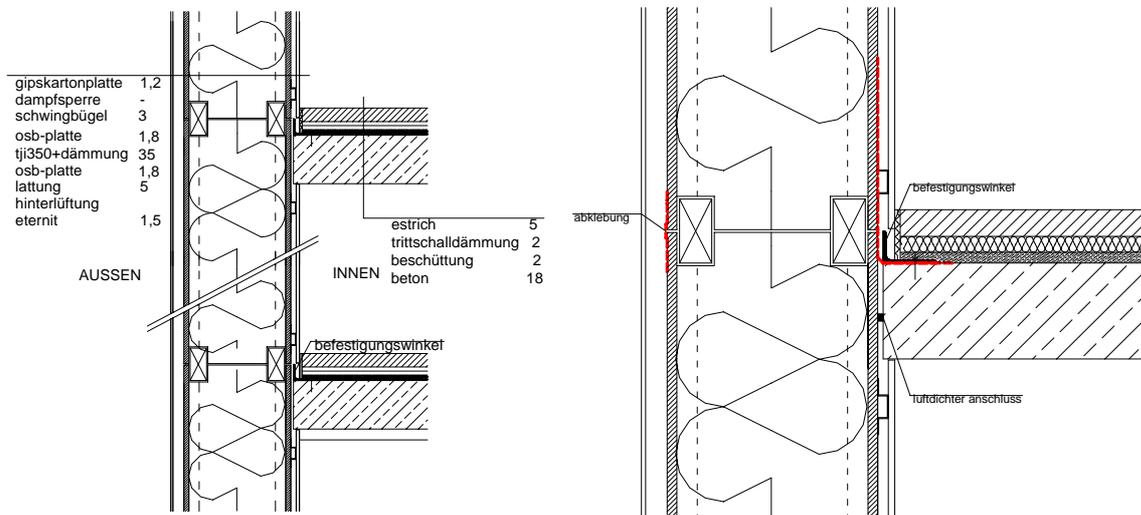


Abb. 48. Anschlussdetail Decke/Holzaußenwand, der Verlauf der luftdichten Schicht ist rot dargestellt.

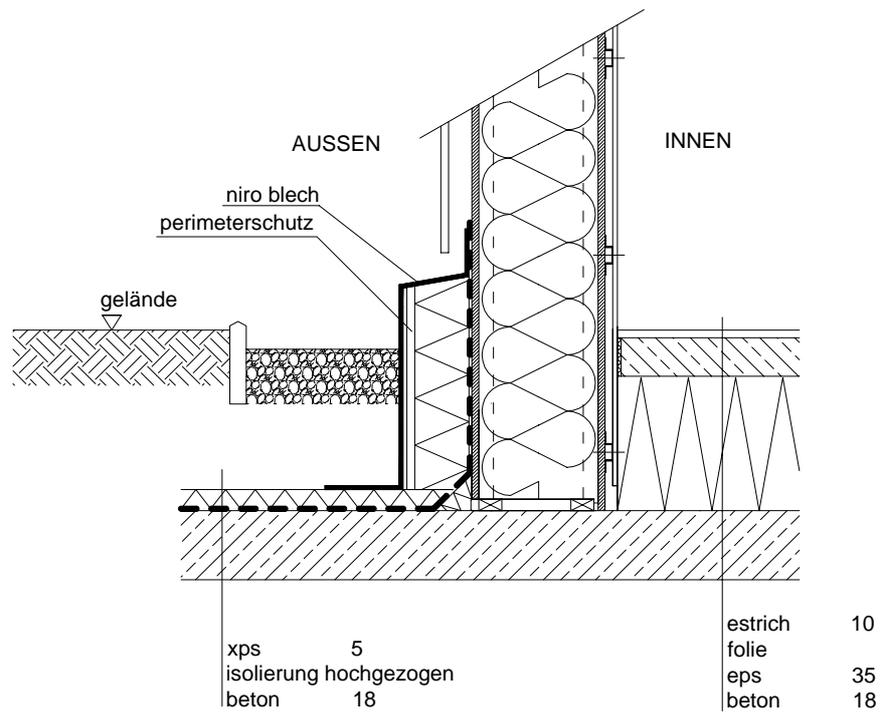


Abb. 49. Fußpunkt bei Unterkellerung

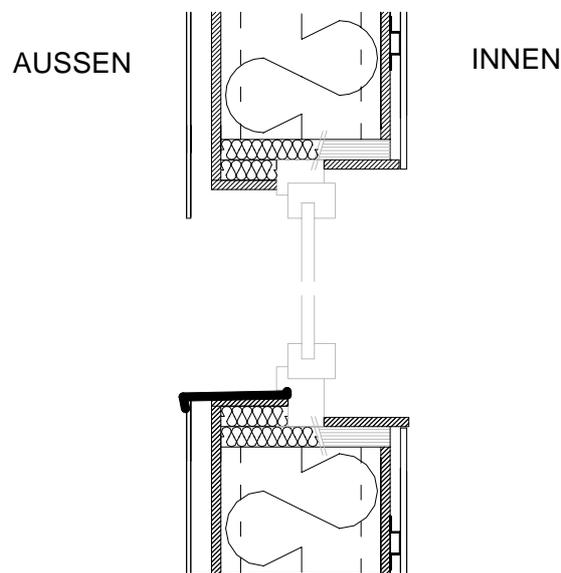


Abb. 50. Fensterschnitt

Weiterführende Literatur: [KAU02] bzw. [KAU03]

## 6 Haustechnik

### 6.1 Kontrollierte Wohnraumlüftung

Nach [FEI99] müssen strenge Anforderungen an Wärmerückgewinnungssysteme und Lüftungsanlagen gestellt werden, damit die Wärmebereitstellung in Passivhäusern ohne konventionelles Heizsystem zufriedenstellend funktionieren kann. Aus diesem Grund werden in den nachfolgenden Kapiteln einzelne Komponenten des Lüftungssystems eingehend betrachtet. Die Anforderungen nach [FEI99] bzw. [FEI00a] sind folgende:

- **Komfortkriterium:**  
Zulufttemperatur  $\geq 16,5$  °C
- **Effizienzkriterium Wärmeüberträger:**  
effektiver Wärmebereitstellungsgrad  $\geq 75$  % bei balancierten Massenströmen
- **Stromeffizienzkriterium:**  
Die gesamte elektrische Leistungsaufnahme des Lüftungsgeräts darf bei Standardnutzungsbedingungen 0,45 W pro m<sup>3</sup>/h geförderter Luft nicht überschreiten.
- **Begrenzung von Leckagen:**  
Restleckagen  $< 3$  %
- **Wärmedämmung des Geräts:**  
Dämmung besser als 5 W/K
- **Abgleich/Regelbarkeit:**  
Zuluft- und Abluft-Massenstrom müssen bei Nennvolumenstrom ausbalanciert werden können, Regelbarkeit mindestens 3 Stufen: Grundlüftung (~ 70 %); Standardlüftung (100 %); erhöhte Lüftung (~ 130 %).
- **Raumlufthygiene:**  
Außenluftfilter mindestens Filterklasse F7; Abluftfilter mindestens G3
- **Frostschutz:**  
ohne Unterbrechung der Frischluftzufuhr bzw. ohne Balancestörung
- **Schallschutz:**  
Schalldruckpegel in Wohnräumen  $< 25$ dB(A); in Funktionsräumen  $< 30$  dB(A); im Aufstellungsraum  $< 35$  dB(A)

#### 6.1.1 Komponenten

Im Zuge des Projektes wurde eine Recherche über derzeit verfügbare Anlagen und Komponenten zur kontrollierten Wohnraumlüftung durchgeführt. Die Anforderungen an Lüftungsanlagen, die in Passivhäusern eingesetzt werden, sind teilweise erheblich höher als die Anforderungen beim Einsatz in konventionellen Anwendungen. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Anforderungen an die einzelnen Komponenten und die Ergebnisse der Recherchen zusammengestellt.

### 6.1.1.1 Wärmetauscher

Das Kernstück jeder kontrollierten Wohnraumlüftungsanlage ist ein hocheffizienter Wärmetauscher. Vom Passivhaus-Institut wurden die folgenden Mindestwerte für Wärmetauscher in Wohnungslüftungsanlagen fixiert [FE199].

- effektiver Wärmebereitstellungsgrad  $\geq 75 \%$
- Interne und externe Leckage  $\leq 3 \%$
- Wärmeverlust über das Gehäuse  $\leq 5 \text{ W/K}$

In [BLU01] wird angegeben, dass bei der Wärmerückgewinnung aus der Abluft mittels Wärmetauscher mit größeren Zentralanlagen technische Vorteile gegenüber den kleineren Kompaktanlagen erreicht werden. Richtwerte für technische Daten eines Wärmetauschers mit etwa  $1.000 \text{ m}^3/\text{h}$  Nennvolumenstrom sind wie folgt anzusehen:

- max. zulässige Gesamtleckage  $\leq 5 \%$
- Rückwärmzahl bei 60 % relative Feuchte  $\geq 90 \%$
- Druckverlust bei Nennvolumenstrom  $\leq 50 \text{ Pa}$
- Wärmedämmung Gehäuse/Leitungen  $\leq 2 \text{ W/K}$

Im Allgemeinen kommen aus diesen Gründen nur Gegenstromplattenwärmetauscher oder Gegenstromkanalwärmetauscher in Frage. Kreuzstromplattenwärmetauscher können meist nicht verwendet werden, weil der effektive Wärmebereitstellungsgrad von 75 %, der für Passivhäuser notwendig ist, nicht erreicht werden kann.

Im Zuge der durchgeführten Recherche von verfügbaren Anlagen stellte sich heraus, dass das Angebot von passivhaustauglichen Anlagen für kleinere Volumenströme bis maximal etwa  $600 \text{ m}^3/\text{h}$  schon recht groß ist. Meist sind diese Anlagen als Kompaktgeräte ausgeführt. Bei größeren Anlagen von etwa  $1.000$  bis  $1.400 \text{ m}^3/\text{h}$ , wie sie im Projekt Utendorfstraße benötigt werden, gibt es nur wenige Hersteller, die diese Anlagen standardmäßig im Programm haben.

Ein häufig auftretendes Problem ist, dass die Wärmetauscher der Anlagen für größere Volumenströme zu geringe Wärmerückgewinnungsgrade aufweisen. Durch die Serienschaltung von zwei Wärmetauschern mit geringerer Wärmerückgewinnung könnte der, für Passivhäuser notwendige, Wärmerückgewinnungsgrad wieder erreicht werden.

In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Anlagenrecherche zusammengefasst. Die in der Tabelle angeführten Wärmerückgewinnungsgrade entsprechen den von den Unternehmen angegebenen Wärmerückgewinnungsgraden. Im konkreten Fall muss jeweils geprüft werden, unter welchen Bedingungen die Wärmerückgewinnungsgrade ermittelt wurden und inwieweit diese Rückgewinnungsgrade dann im Betrieb auch tatsächlich erreicht werden.

Bei einem Großteil der angeführten Anlagen handelt es sich um sogenannte Zentral- bzw. Kompaktgeräte, bei denen sich außer dem Wärmetauscher zur Wärmerückgewinnung auch die Ventilatoren, die Frostschutteinrichtung, diverse Filter etc. in einem gemeinsamen Gehäuse befinden. Wie aus der Tabelle hervorgeht, sind nicht alle Anlagen zum Einsatz in Passivhäusern geeignet, weil der erreichte Wärmerückgewinnungsgrad zu gering ist.

Anbieter	Anlage	Volumenstrom	Wirkungsgrad	
ABB Fläkt	Zentrallüftungsgerät mit WRG			
Aereco	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	205 m <sup>3</sup> /h		
		250 m <sup>3</sup> /h		
Airflow	Zentrallüftungsgerät mit WRG	90 – 300 m <sup>3</sup> /h	81 %	
	Lüftungsgeräte mit WRG	185 – 6500 m <sup>3</sup> /h	< 70 %	
Bosch/Junkers	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	50 – 130 m <sup>3</sup> /h	73 %	
		100 – 250 m <sup>3</sup> /h	70 %	
		160 – 400 m <sup>3</sup> /h	68 %	
		330 – 850 m <sup>3</sup> /h	70 %	
Conit	Zentrallüftungsgerät mit WRG		< 90 %	
		250 – 750 m <sup>3</sup> /h	~ 70 %	
Exhausto	Zentrallüftungsgerät mit WRG	200 – 3.500 m <sup>3</sup> /h	< 70 %	
Fresh	Zentrallüftungsgerät mit WRG	110 – 290 m <sup>3</sup> /h	90 % bei 160 m <sup>3</sup> /h	
Helios	Zentrallüftungsgerät mit WRG	80 – 250 m <sup>3</sup> /h	bis über 90 %	
		120 – 300 m <sup>3</sup> /h	bis über 90 %	
		240 – 650 m <sup>3</sup> /h	< 75 %	
		380 – 1.200 m <sup>3</sup> /h	< 70 %	
Kampmann	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	< 225 m <sup>3</sup> /h	94 %	
Lüfta	Modulares Lüftungsgerät mit WRG	50 – 200 m <sup>3</sup> /h	81 – 95 %	
		100 – 250 m <sup>3</sup> /h	84 – 94 %	
		100 – 400 m <sup>3</sup> /h	82 – 94 %	
		200 – 600 m <sup>3</sup> /h	82 – 93 %	
		300 – 700 m <sup>3</sup> /h	82 – 93 %	
	Gegenstromplattenwärmetauscher	< 1000 m <sup>3</sup> /h	< 93 %	
		< 1500 m <sup>3</sup> /h	< 93 %	
		< 2000 m <sup>3</sup> /h	< 93 %	
	bis zu 8000 m <sup>3</sup> /h			
Maico	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	100 – 250 m <sup>3</sup> /h	92 %	
		260 m <sup>3</sup> /h	90 %	
Menerga	Lüftungsgerät mit Wärmepaketen zur WRG	400 – 3.800 m <sup>3</sup> /h	> 90 %	
	Lüftungsgerät mit Wärmepaketen zur WRG für Industrie und Gewebe	< 40.000 m <sup>3</sup> /h	> 90 %	
Paul Wärmerückgewinnung	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	< 360 m <sup>3</sup> /h	> 90 %	
		Zentrallüftungsgerät mit WRG	< 130 m <sup>3</sup> /h	85 – 98 %
		< 160 m <sup>3</sup> /h	77 – 80 %	
		< 625 m <sup>3</sup> /h	85 – 90 %	
		< 350 m <sup>3</sup> /h		
Rovent	Zentrallüftungsgerät mit WRG	~ 250 m <sup>3</sup> /h	90 %	
Schrag	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	110 – 250 m <sup>3</sup> /h	92 %	
		Zentrallüftungsgerät mit WRG	~ 200 m <sup>3</sup> /h	70 %
		210 – 400 m <sup>3</sup> /h	60 – 70 %	
Smeets <sup>17</sup>	Zentrallüftungsgerät mit WRG	100 – 250 m <sup>3</sup> /h	75,4 – 81,9 %	
		150 – 350 m <sup>3</sup> /h		
		380 – 5000 m <sup>3</sup> /h	60 – 80 %	
Stiebel – Eltron	Zentrallüftungsgerät mit WRG	90 – 225 m <sup>3</sup> /h	bis zu 90 %	
Systemair <sup>18</sup>	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	< 430 m <sup>3</sup> /h	bis zu 90 %	
	Zentrallüftungsgerät mit WRG	120 – 330 m <sup>3</sup> /h	bis zu 75 %	

<sup>17</sup> Die angeführten Geräte sind mit Gleichstromventilatoren ausgestattet. Bei Geräten mit Wechselstromventilatoren gibt es eine größere Vielfalt an möglichen Volumenströmen.

<sup>18</sup> Weitere von der Firma Systemair angebotene WRG Geräte mit Kreuzstromwärmetauschern wurden nicht angeführt, da die Wärmerückgewinnungsgrade mit 65 % zu gering sind.

Anbieter	Anlage	Volumenstrom	Wirkungsgrad
	Rotationswärmetauscher	> 2000 m <sup>3</sup> /h	75 – 80 %
Temovex	Zentrallüftungsgerät mit WRG	< 250 m <sup>3</sup> /h	< 87 %
		< 300 m <sup>3</sup> /h	Ø 82 %
		< 500 m <sup>3</sup> /h	Ø 82 %
		< 600 m <sup>3</sup> /h	Ø 82 %
		< 900 m <sup>3</sup> /h	Ø 82 %
		< 1.000 m <sup>3</sup> /h	Ø 82 %
		< 2.000 m <sup>3</sup> /h	Ø 82 %
Vallox	Zentrallüftungsgerät mit WRG	< 225 m <sup>3</sup> /h	78 %
		< 300 m <sup>3</sup> /h	79 %
		< 360 m <sup>3</sup> /h	79 %
		< 465 m <sup>3</sup> /h	74 %
		< 825 m <sup>3</sup> /h	76 %
Viessmann	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	< 260 m <sup>3</sup> /h	> 90 %
Villavent	Kompaktlüftungsgerät mit WRG		bis zu 90 %
Wernig	Kompaktlüftungsgerät mit WRG	< 300 m <sup>3</sup> /h	> 90 %
Westaflex	Zentrallüftungsgerät mit WRG	90 – 250 m <sup>3</sup> /h	
Tecalor	Zentrallüftungsgerät mit WRG	90 – 225 m <sup>3</sup> /h	90 %
	Zentrallüftungssystem mit WRG und integrierter Heizung und Warmwasserbereitung	80 – 230 m <sup>3</sup> /h	90 %

Tab. 23. Zusammenstellung passivhaustauglicher Wärmerückgewinnungsgeräte, Stand 2003

Im Sommerbetrieb ist eine Verwendung der Wärmerückgewinnung nicht sinnvoll. Es sollte auf der Abluft-/Fortluftseite ein By-Pass zum Wärmetauscher vorgesehen werden. Durch diesen By-Pass werden die Druckverluste auf der Abluftseite durch den Wegfall des Wärmetauschers und des Filters reduziert. Dadurch verringert sich die elektrische Leistungsaufnahme der Ventilatoren.

### 6.1.1.2 Ventilatoren

Eine der Vorgaben für Passivhäuser ist, dass der elektrische Energiebedarf für die Lüftung der Häuser eine Grenze von 0,45 Wh/m<sup>3</sup> bei Standardbedingungen nicht überschreiten soll. Aus diesem Grund müssen Ventilatoren mit sehr gutem Wirkungsgrad zum Einsatz kommen. Für die dezentralen Ventilatoren der einzelnen Wohneinheiten wurden aus diesem Grund elektronisch kommutierte Gleichstromventilatoren vorgesehen. Die dezentralen Ventilatoren werden in den abgehängten Zwischendecken, meist im Vorraum der Wohnungen, untergebracht. Als Schallschutz gegen den Vorraum sind schalldämmende Auflagen vorgesehen. Die Regelung erfolgt derart, dass Zu- und Abluftventilator jeweils synchron auf die verschiedenen, wählbaren Volumenstromstufen eingestellt werden.

Wie im vorigen Kapitel bereits angeführt, sind bei den Zentrallüftungsgeräten bzw. Kompaktlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung die Zu- und Abluftventilatoren in der Zentraleinheit bereits enthalten. Ein Großteil der Geräte, insbesondere jene, die passivhaustauglich angeboten werden, sind mit elektronisch kommutierten Gleichstromventilatoren ausgestattet bzw. ist eine derartige Ausstattung auf Wunsch möglich.

Firmen, die elektronisch kommutierte Gleichstromventilatoren anbieten, sind unter anderem Kanalfläkt (Bivent), Ziehl-EBM oder Wolter.

### 6.1.1.3 Nachheizung

Zur Nacherwärmung und Regelung der Zulufttemperaturen werden dezentrale Nachheizregister verwendet. Die Nachheizregister sind nach den dezentralen Zuluftventilatoren in den Zwischendecken der einzelnen Wohneinheiten angeordnet. Die Wärmeversorgung der Nachheizregister erfolgt mittels Heizungswarmwasser. Besonders ist bei den Nachheizregistern auf eine gleichmäßige Anströmung des Querschnitts zu achten, damit die planmäßige Heizleistung erreicht wird.

Jene Wohneinheiten (2 Wohnungen im Erdgeschoss und 2 Dachgeschoßwohnungen pro Haus) die eine größere Heizlast als  $10 \text{ W/m}^2$  besitzen, werden zusätzlich mit Heizkörpern oder Wandflächenheizungen in ein oder zwei Räumen ausgestattet.

Die Erwärmung der Zuluft ist im Nachheizregister auf bis zu maximal  $60 \text{ °C}$  zulässig. Höhere Temperaturen dürfen nicht erzielt werden, da sonst auf den Kanaloberflächen Staubverschmelzungen stattfinden können.

#### ***Ergebnisse / Nachheizung***

*Zur Nacherwärmung der Zuluft werden dezentrale Nachheizregister verwendet, welche mittels Heizungswarmwasser versorgt werden.*

### 6.1.1.4 Brandschutztechnische Einrichtungen

Für den Brandschutz im Geschosswohnungsbau bestehen höhere Anforderungen als in Einfamilienhäusern. Grundsätzlich bestehen für die Lüftungsleitungen in Steigsträngen zwei Möglichkeiten.

- Einsatz von Deckenschotts und Vergießen der Decken
- Einsatz von Brandschutzklappen beim Übergang in die Wohneinheiten.

Gemäß § 115 (5) der Wiener Bauordnung [BOW01] müssen Luftleitungen mit Brandschutzklappen versehen werden, wenn sie Brandmauern oder Geschossdecken durchstoßen, soweit dies zur Vermeidung des Übergreifens eines Brandes oder der Übertragung einer sicherheitsgefährdenden Rauchentwicklung erforderlich ist.

Für das vorliegende Projekt wurden aus diesem Grund Brandschutzklappen gewählt. Eine zusätzliche zu empfehlende Maßnahme ist, den Betrieb der Zuluftanlage über einen Rauchgasmelder abzusichern. Weitere Maßnahmen sind im Allgemeinen nicht erforderlich.

### 6.1.1.5 Sonstige Komponenten

Im folgenden Kapitel werden weitere Komponenten der Zentraleinheit und der dezentralen Einheiten angeführt.

#### **Luftfilter:**

Vor dem Wärmetauscher der Zentraleinheit sind sowohl auf der Außen- bzw. Zuluftseite, als auch auf der Abluftseite Filter vorgesehen. Diese Filter haben einerseits die Aufgabe den Wärmetauscher und andere Einbauten der Lüftungsanlage vor Verschmutzungen zu schützen, andererseits dient der Filter im Außenluftkanal auch zur Reinigung der Zuluft. Der Filter im Außenluftstrom wird vor dem elektrischen Vorheizregister angeordnet, um ein Verschmutzen des Registers zu verhindern. Zusätzlich wird auf der Zuluftseite nach dem Ventilator ein weiterer Filter installiert.

Der Filter im Abluftkanal kann gegebenenfalls auch vor dem Abluftventilator montiert werden, um so auch diesen gegen Verschmutzung zu schützen.

Filter mit unterschiedlichen Abscheidegraden sind erhältlich. Die Einteilung der Filter in verschiedene Filterklassen erfolgt gemäß [DIN94] in Abhängigkeit der Abscheidegrade bei verschiedenen Partikelgrößen. Für den Außenluft-/Zuluftstrang wurde für die erste Reinigungsstufe vor dem Vorheizregister ein Filter der Klasse F7 (Feinstaubfilter; Abscheidegrad bei Partikelgröße  $0,5 \mu\text{m} = 60 - 75 \%$ ) vorgesehen. Die zweite Reinigungsstufe wird mit einem Filter der Klasse F9 (Feinstaubfilter; Abscheidegrad bei Partikelgröße  $0,5 \mu\text{m} = 90 - 95 \%$ ) ausgestattet. Das Filter im Abluftstrang vor dem Wärmetauscher ist ein Filter der Klasse F6 (Feinstaubfilter; Abscheidegrad bei Partikelgröße  $0,5 \mu\text{m} = 20 - 40 \%$ ).

Bei der Dimensionierung der Filterfläche müssen die Standzeit (Wartungsintervalle) und der Druckverlust besonders berücksichtigt werden. Beide Punkte sprechen für den Einsatz von großen Filterflächen und damit für lange Wartungsintervalle, wobei in Bezug auf die Standzeiten/Wartungsintervalle die VDI 6022 berücksichtigt werden muss.

Auch bei der Auswahl der Filter ist besonders auf hygienische Belange Rücksicht zu nehmen. Von [KEU97] werden grundsätzlich 2 Filterstufen empfohlen, wobei in der ersten Stufe mindestens ein Filter Klasse F5, wenn möglich F7 und in der zweiten Filterstufe ein Filter, mindestens F7, wenn möglich F9 eingesetzt werden sollen. Die Filter müssen anlagen- und regelungstechnisch insofern abgesichert werden, dass die relative Feuchte an den Filtern den Wert von 90 % nicht überschreitet. An Außenluftfiltern darf, abweichend von obigen Festlegungen, innerhalb von drei Tagen die durchschnittliche relative Luftfeuchte nicht höher als bei 80 % sein. [VDI02]

Um dies zu erreichen kann überlegt werden, das elektrische Vorheizregister vor der ersten Filterstufe anzubringen. Eine andere Möglichkeit besteht in der Rezirkulation von Zuluft nach dem Stützventilator.

Ebenfalls von Bedeutung ist die Filterstandzeit/Wartungsintervalle, da es mit zunehmender Filterstandzeit zu einer Anreicherung von Endotoxinen auf den Filtern der ersten Filterstufe infolge von Abscheidung und dem Zerfall von endotoxinbildenden Bakterien auf den Filtern kommen kann. Um eine Belastung der Luft durch die Freisetzung der auf Filtern akkumulierten Endotoxine zu vermeiden, müssen die Filter daher in regelmäßigen Abständen (unabhängig vom Verschmutzungsgrad) ausgewechselt werden (1 Jahr bei der 1. Filterstufe bzw. 2 Jahre bei der 2. Filterstufe) [MÖR01].

### **Elektrisches Vorheizregister:**

Eine Frostschutzsicherung ist notwendig, da aufgrund der hohen Wärmerückgewinnungsraten bei tiefen Außentemperaturen ein Vereisen des Wärmetauschers möglich ist und dies zum Schutz des Wärmetauschers verhindert werden muss. Mit dem Vereisen muss bei Außenlufttemperaturen unter etwa  $-4 \text{ °C}$  gerechnet werden. Als Frostschutzsicherung wurde ein elektrisches Vorheizregister gewählt, da es eine einfache und kostengünstige Lösung darstellt. Bei Unterschreiten einer bestimmten Temperatur in der Fortluft besteht die Gefahr das der Wärmetauscher auf der Abluftseite vereist. Die Regelung des Vorheizregisters erfolgt über einen Temperaturfühler in der Fortluft.

Das Vorheizregister wird zwischen dem Filter im Außenluftstrang und dem Wärmetauscher angeordnet. Die Betriebskosten für den Stromeinsatz sind von den klimatischen Verhältnissen abhängig und liegen für Wien für eine  $75 \text{ m}^2$  Wohnung bei etwa  $7,5 \text{ Euro/a}^{19}$ .

<sup>19</sup> Die Berechnung basiert auf einer Vorheizung der Außenluft auf etwa  $-2 \text{ °C}$  ab einer Außenlufttemperatur  $< -3 \text{ °C}$  und einem Strompreis von etwa  $0,14 \text{ Euro/kWh}$  inkl. USt.

Einsparungen bei den Nachheizungen, die durch die Vorwärmung anfallen sind bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

Statt dem elektrischen Vorheizregister könnte auch ein Vorheizregister mit entsprechendem Anteil Frostschutzmittel gefüllten Heizkreis versorgt, eingesetzt werden. Der gegen Einfrieren gesicherte Heizkreis wäre allerdings sowohl bei den Investitionen (Wärmetauscher, Pumpen, Glykol/Wassergemisch) als auch bei der Wartung zu aufwendig.

### **Erdreichwärmetauscher:**

Eine Alternative zu den oben beschriebenen Frostschutzvorrichtungen ist ein Erdreichwärmetauscher. Aufgrund der großen vorzuwärmenden Luftvolumenströme im Geschosswohnungsbau ist eine kostengünstige Realisierung meist nicht möglich. Eine Grobdimensionierung mit Hilfe des Programms PH Luft vom Passivhausinstitut ergab, dass je nach Beschaffenheit des Untergrunds die Anordnung von 4 (Lehmboden) bis 10 Rohrreihen (grobkiesig) mit einem Durchmesser von DN 200 und einer Länge von jeweils 40 Meter für die Versorgung einer Lüftungszentrale (Auslegungsvolumenstrom ~ 1.350 m<sup>3</sup>/h) notwendig ist, um Frostsicherheit zu gewährleisten. Somit liegt die benötigte Fläche pro Lüftungszentrale, je nach Anzahl der Rohrreihen zwischen etwa 6 Meter x 44 Meter (4 Rohrreihen) und 13 Meter x 44 Meter. Eine Verlegung im Arbeitsbereich der Baugrube ist aufgrund dieser großen Flächen nicht möglich.

Bei einer Verwendung von nur 4 Rohrreihen muss angeführt werden, dass bei den vorgesehenen Volumenströmen der Druckverlust im Erdreichwärmetauscher schon relativ groß ist und somit der Einsatz von 5 bzw. 6 Rohrreihen jedenfalls empfehlenswert wäre, auch wenn 4 Rohrreihen ausreichend sind, um die Frostsicherheit des nachfolgenden Wärmetauschers zu gewährleisten.

Derzeit liegen noch keine exakten Untersuchungen zur Bodensituation am betrachteten Standort vor. Sie liegen allerdings im Bereich zwischen sandig bis mittelkiesig. Für diesen Untergrund ergibt sich die Notwendigkeit von 7 Rohrreihen. Bei der Verwendung von 7 Rohrreihen liegt der Platzbedarf bei etwa 10 Meter x 44 Meter pro Lüftungszentrale.

Die Kosten für den Erdreichwärmetauscher liegen bei 7 Rohrreihen bei etwa 7.500,- Euro je Lüftungszentrale, wobei die Kosten für den zusätzlichen Erdaushub nicht berücksichtigt sind. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind die Kosten für die Rohrleitungen, die notwendig sind, um die durch den Erdreichwärmetauscher vorgewärmte Luft zu den Lüftungszentralen zu befördern, die am Dach des Gebäudes untergebracht sind.

Zusätzlich ist beim Einsatz von Erdreichwärmetauschern besonders auf die hygienische Situation Rücksicht zu nehmen. Um eine Beeinträchtigung der hygienischen Qualität der Zuluft durch Erdreichwärmetauscher zu vermeiden, müssen Kondensationsreservoirs im Lüfterregister vermieden werden und gute Kontroll- und Reinigungsmöglichkeiten sichergestellt werden. Weiters müssen Erdreichwärmetauscher im Boden luftdicht verlegt werden, da bei Undichtheiten Luft aus dem Untergrund angesaugt wird, die je nach Bodenverhältnissen zu radioaktiven Belastungen durch Radon führen kann.

Hygienische Untersuchungen an Erdreichwärmetauschern (z.B. [FLÜ97]) zeigen, dass gelegentlich die Konzentrationen einzelner Organismengattungen und -gruppen zugenommen haben.

Zur hygienischen Beurteilung von Erdreichwärmetauschern wird in den nachfolgenden Absätzen die „*Beurteilung der Messergebnisse aus gesundheitlicher Sicht*“ aus [FLÜ97a] zitiert. Weiters wird in diesem Zusammenhang auch auf Anmerkungen zur Hygiene bei den Filtern der raumlufttechnischen Anlage hingewiesen.

*„Die Pilze Penicillium und Aspergillus sind nicht unbedenklich. Sie können neben Allergien auch Infektionen hervorrufen. Es ist daher wichtig, dass sie durch die eingebauten Filter vor den Wärmetauschern möglichst zurückgehalten werden können. Die Actinomyceten bei den Bakterien sind aus gesundheitlicher Sicht meist harmlos. Ihr starker Modergeruch könnte allenfalls zu einer Geruchsbelästigung führen.*

*Die Untersuchungen von Oberflächen-, Staub- und Wasserproben aus den Erdregistern haben gezeigt, dass lebensfähige Bakterienkeime und Pilzsporen vorhanden sind. Die Konzentrationen sind jedoch nicht alarmierend und wie die Luftkeimzahlbestimmungen ergeben haben, gelangen auch kaum Organismen wieder in den Luftstrom.*

*Aus gesundheitlicher Sicht stellt sich die Frage, ob allenfalls Fragmente von Pilzsporen und Stoffwechselprodukte mit der Zuluft in die Räume gelangen. Mit der Außenluft werden viele Sporen angesaugt. Wenn diese nicht in die Räume gelangen, bedeutet dies, dass sie in der Anlage deponiert wurden. Sie können zusammen mit Staubpartikeln in den Rohren sedimentieren oder in den Filtermatten zurückgehalten werden. Die Filter werden nur innerhalb langer zeitlicher Abstände gewechselt oder gewaschen. Die Rohre selbst werden sehr selten gereinigt. Von abgestorbenen Mikroorganismen können Abbauprodukte mit dem Luftstrom weitertransportiert werden und die Filter passieren. Dies ist insbesondere von Bedeutung, da Teile dieser Abbauprodukte als Allergene wirken können. Andererseits ist es auch möglich, dass Organismen auf dem Staub in den Rohren oder auf den Filtermatten wachsen, ohne dass sie mit dem Luftstrom mitgerissen werden oder durch die Filter gelangen. Ihre flüchtigen Stoffwechselprodukte könnten aber zu einer Geruchsbelästigung oder sogar zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung führen. Diese Frage muss zukünftig weiter verfolgt werden, wenn möglich im Rahmen von Langzeitbeobachtungen.“*

Im konkreten Projekt wird aus den oben angeführten Gründen auf einen Erdreichwärmetauscher verzichtet und der Frostschutz der Wärmerückgewinnung durch ein elektrisches Vorheizregister realisiert.

### **Zu- und Abluftventile in den Wohneinheiten:**

Das Einbringen der Zuluft in das Wohnzimmer und die Schlaf- und Kinderzimmer kann in Passivhäusern über Weitwurfdüsen oder andere geeignete Luftdurchlässe erfolgen. Durch die Verwendung der Weitwurfdüsen oder anderer geeigneter Luftdurchlässe kann die benötigte Rohrleitungslänge für die Lüftungsanlage erheblich reduziert werden, da diese vorwiegend in den Raumwänden zum Vorraum angeordnet werden können. Ein Vorteil der Weitwurfdüsen ist auch, dass sie bei Bedarf ohne wesentliche Kurzschlussströmungen auch oberhalb der Wohnungstüren angeordnet werden können.

Zur Absaugung der Luft werden Tellerventile in den Abluftsträngen vorgesehen. Die Absaugung erfolgt in Küche, Badezimmer, WC-Anlagen und Abstellräumen. Vor den Tellerventilen werden Filter der Klasse G3 (Grobstaubfilter) vorgesehen, die vorwiegend dazu dienen das Abluftsystem vor Kleider- und Möbelflusen zu schützen.

Die übrigen Räume und Gänge werden als Überströmzonen zwischen den Zuluft- und Abluftzonen verwendet.

Durch die oben beschriebene Art der Lufteinbringung und Absaugung wird eine definierte Strömungsrichtung innerhalb der Wohnung vorgegeben. In den Aufenthaltsräumen wie Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer wird die frische Außenluft zugeführt, während aus jenen Räumen, die spezifische Belastungsquellen darstellen wie Bad, WC oder Küche die Luft abgesaugt wird.

**Ergebnisse / Sonstige Komponenten**

Zur Filterung der Zuluft werden zwei Filter verwendet. Ein Filter der Klasse F7 vor dem Wärmetauscher und ein Filter der Klasse F9 nach dem Zuluftventilator, um eine entsprechende Zuluftqualität zu gewährleisten.

Als Frostschutzsicherung wird ein elektrisches Vorheizregister verwendet, da Erdreichwärmetauscher aufgrund der relativ großen benötigten Volumenströme verglichen mit der bebauten Fläche im Geschosswohnungsbau nicht kostengünstig realisiert werden können.

Zum Einbringen der Zuluft in die Zuluftzonen werden Weitwurfdüsen bzw. andere geeignete Luftdurchlässe verwendet.

**6.1.1.6 Zusatzangaben für die Lüftungsprojektierung**

Weitere wesentliche Bereiche, die bei der Projektierung der Lüftungsanlage besonders berücksichtigt werden müssen, sind folgend beschrieben.

**Überströmöffnungen:**

Wie bereits erwähnt erfolgt der Transport der Luft von den Zuluftbereichen (Wohnzimmer, Kinderzimmer, Schlafzimmer etc.) in die Abluftzonen (Badezimmer, Küche, WC etc.) über die Überströmzonen. Hierfür müssen Lüftungsgitter bzw. Überströmöffnungen in den Türblättern oder Fugen zwischen Türzarge und Wand vorgesehen werden. Auch die Anordnung in den Zwischenwänden ist möglich, jedoch meist teuer. Bei der Anordnung muss auf das Vermeiden von direkten Kurzschlussströmungen zwischen Zu- oder Abluftdurchlass und Überströmöffnung geachtet werden.

Die ausschließliche Verwendung von Schlitzfenstern unter den Türblättern als Überströmöffnung ist problematisch, da diese beispielsweise durch zusätzliche Teppiche oder ähnlichem leicht abgedeckt werden können.

Der Druckverlust/Druckabfall in den Überströmöffnungen sollte nicht größer als 1 Pa sein [FEI96c]. Falls der Druckabfall in den Überströmöffnungen nicht bekannt ist, kann als Anhaltspunkt für die Dimensionierung bei türspaltähnlichen Öffnungen eine Luftgeschwindigkeit von maximal 1 m/s verwendet werden.

Weiters ist bei Überströmöffnungen zu beachten, dass im Bad im Stehbereich vor Badewanne, Dusche und Waschbecken Zugluftfreiheit gewährleistet ist. Bezüglich des Schallschutzes sollten die Überströmöffnungen den Innentüren und Innenwänden entsprechen. Der Schallschutz zwischen den Räumen soll durch die Überströmöffnungen nicht verringert werden.

Durch mangelhafte bzw. nicht ausreichend große Überströmöffnungen können merkliche Druckunterschiede zwischen den Zu- und Abluftzonen entstehen. Diese Druckdifferenzen führen dazu, dass in Räumen der Zuluftzone Luft über die Gebäudehülle ausströmt und in der Abluftzone einströmt. Mangelhafte Überströmöffnungen führen also zu erhöhter In- und Exfiltration von Luftanteilen über die Gebäudehülle, die keiner Wärmerückgewinnung unterliegen [FEI96b]. Durch die sehr dichten Gebäude, wie sie bei Passivhäusern realisiert werden, können die Druckverluste der Überströmöffnungen allerdings höher sein als in konventionellen Bauten mit Lüftungsanlagen.

**Regelung:**

Zur Regelung der einzelnen Wohneinheiten werden drehzahlgeregelte Gleichstromventilatoren vorgesehen. Für die NutzerInnen ist die Einstellung von vier verschiedenen Volumenströmen vorgesehen.

Von besonderer Bedeutung ist, dass die Zu- und Abluftvolumenströme sehr gut balanciert und somit in allen Betriebszuständen in etwa gleich groß sind. Für jeden der vier Betriebszustände (Volumenströme) wird deshalb ein Abgleich der Luftvolumenströme durchgeführt. Auf Basis dieses Abgleichs wird den einzelnen Stufen eine bestimmte Drehzahl zugeordnet, die in Abhängigkeit von den zu überwindenden Druckdifferenzen für Zu- und Abluftventilator unterschiedlich sein kann. Dadurch wird eine ausreichende Balance in allen Betriebszuständen gewährleistet.

Durch die in diesem Projekt vorgesehene semizentrale Lüftungsanlage mit dezentralen Ventilatoren kann somit eine wohnungsweise balancierte Lüftung erreicht werden. Eine balancierte Luftführung ist deshalb notwendig, weil durch nicht balancierte Zu- und Abluftströme erhöhte Infiltration und Exfiltration erzwungen werden, die zu zusätzlichen Lüftungswärmeverlusten führen. Größere Disbalance führt auch häufig zu Pfeifgeräuschen und anderen störenden Effekten.

In Tab. 24 sind die vier vorgesehenen Stufen angeführt. Die angegebenen Volumenströme beziehen sich auf eine Wohneinheit<sup>20</sup> mit 75 m<sup>2</sup>.

Stufe	Volumenstrom	Prozent von „Normal“
AUS	0 m <sup>3</sup> /h	0 %
NIEMAND ZU HAUSE	45 m <sup>3</sup> /h	60 %
NORMAL	75 m <sup>3</sup> /h	100 %
STARK	> 90 m <sup>3</sup> /h	> 120 %

Tab. 24. Volumenstromregelung

Der in Tab. 24 angegebene Volumenstrom von 75 m<sup>3</sup>/h entspricht einem 0,4-fachen Luftwechsel in einer 75 m<sup>2</sup> Wohnung mit einer Raumhöhe von 2,5 m.

Für den Betriebszustand „NORMAL“ wurde ein Luftwechsel von etwa 0,4 angesetzt. Für die erhöhte Lüftungsstufe (Stellung „STARK“) wird eine automatische Rückstellung nach einem bestimmten Zeitraum in den „NORMAL“ Betrieb vorgesehen. Die in Tab. 24 angeführten Volumenströme bei verschiedenen Einstellungen dienen nur als Anhaltswerte. Generell ist eine individuelle Anpassung der Einstellung der Volumenstromstufen in den einzelnen Wohneinheiten möglich.

### Dunstabzugshaube:

Für die Küche wird eine Dunstabzugshaube vorgesehen, die nicht in das „normale“ Abluftsystem eingebunden wird, sondern für einen Umluftbetrieb (mit Fett- und zusätzlichem Aktivkohlefilter als Geruchsfilter) vorgesehen ist. Die Gründe liegen einerseits darin, dass der Wärmetauscher der Wärmerückgewinnung vor den Verschmutzungen der Küchenabluft geschützt werden soll, und andererseits die Volumenströme von Dunstabzugshauben wesentlich höher sind als die Volumenströme im normalen Abluftbetrieb, wodurch die Lüftungsanlage erheblich größer dimensioniert werden müsste, wenn die Abluft der Dunstabzugshaube eingebunden werden soll.

### Rohrleitungen:

Soweit möglich werden einerseits aus Kostengründen und andererseits aus Gründen des Druckverlustes Wickelfalzrohre für die Lüftungsleitungen verwendet. Ein Anhaltswert für die Dimensionierung der Rohre ist eine maximale Luftgeschwindigkeit in den Rohrleitungen von 3 m/s bei Nennvolumenstrom, die im Einzelfall jedoch auch niedriger bzw. höher liegen kann. Die Anbindung des Zu- und Abluftkanals an die Zentralgeräte erfolgt mit Segeltuchstutzen. Um die Druckverluste der Rohrleitungen gering zu halten, wird versucht die Rohrleitungsführung dahingehend zu optimieren, sodass möglichst wenig Formstücke

<sup>20</sup> Die durchschnittliche Wohnungsgröße im Projekt Utendorfgasse liegt bei etwa 73 m<sup>2</sup>.

verwendet werden müssen bzw. geeignete Formteilbiegungen und Ausführungen gewählt werden.

Insbesondere durch den wohnungsweisen Einsatz der Ventilatoren ergeben sich hohe Anforderungen an die Dichtheit der Rohrleitungen, die bei der Auswahl und Montage beachtet werden müssen.

### **Wärmedämmung der Luftrohrleitungen:**

Der überwiegende Teil der Luftrohrleitungen verläuft in den Haustechnikschächten bzw. in den Zwischendecken der einzelnen Wohneinheiten. Inwieweit eine Wärmedämmung der Luftrohrleitungen in den Haustechnikschächten notwendig und sinnvoll ist, wurde anhand der Simulation der Schachttemperatur und der Verluste der einzelnen im Schacht untergebrachten Rohrleitungen untersucht (siehe Kap. 3.3, insbesondere 3.3.4.1 Wohnungsstrang und 3.3.4.2 Hauptstrang).

Eine sehr gute Wärmedämmung (mindestens 5 cm Mineralwolle o. ä.) ist für jene Leitungen notwendig, die sich in den Lüftungszentralen am Dach befinden, wenn diese sich nicht in der wärmegeprägten Hülle des Gebäudes befinden. Bei Einbindung der Lüftungszentralen in die warme Hülle kann auf eine Wärmedämmung der warmen Leitungen verzichtet werden. Kalte Leitungen müssen hingegen gedämmt werden.

### **Stiegenhauslüftung:**

Um zu vermeiden, dass Bewohner, die aus ihren gut durchlüfteten Wohnungen kommen, die Luft im Stiegenhaus als abgestanden empfinden [FEI02a] wird für das Stiegenhaus eine Minimallüftung vorgesehen. Die Lüftung des Stiegenhauses ist in die zentrale Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage eingebunden, um die Lüftungswärmeverluste durch die Stiegenhauslüftung gering zu halten.

### **Anlieferung/Lagerung/Einbau bis zur regulären Inbetriebnahme der Lüftungsanlage:**

Die Reinhaltung der Lüftungsanlage im Zuge des Installationsfortschrittes muss gewährleistet sein. Folgende Punkte müssen dabei jedenfalls Beachtung finden [FEI99]:

- Lagerung von Lüftungsleitungen im Gebäude immer nur unter Folienabdeckungen, damit diese nicht verschmutzen und verstauben.
- Offene Rohrenden sind immer abzudecken und zu verschließen.
- Nach Installation der Ventilatoren dürfen diese während der Bauphase nicht betrieben werden. Die entsprechenden elektrischen Sicherungen sind dauerhaft gegen Einschalten zu sperren.
- Während der Bauphase verschmutzte Filter sind vor der Inbetriebnahme der Anlage zu erneuern.

### ***Ergebnisse Zusatzangaben für die Lüftungsprojektierung:***

*Es werden Überströmöffnungen zum Transport der Luft von den Zuluftzonen in die Abluftzonen in Form von Lüftungsgittern bzw. Überströmöffnungen in den Türblättern oder Fugen zwischen Türzarge und Wand vorgesehen.*

*Zur Regelung der einzelnen Wohneinheiten wird eine vierstufige balancierte Volumenstromregelung (drehzahlgeregelte Ventilatoren, deren Luftvolumenströme für alle vier Betriebszustände abgeglichen sind) vorgesehen.*

*Für die Dunstabzugshaube wird Umluftbetrieb mit Fett- und zusätzlichem Aktivkohlefilter vorgesehen.*

*Für die Luftrohrleitungen sind Wickelfalzrohre vorgesehen.*

*Die Lüftung des Stiegenhauses ist in die zentrale Wärmerückgewinnung der Lüftungsanlage eingebunden.*

## 6.1.2 Performancevergleich zentrale und dezentrale Wärmerückgewinnung

Eine grundlegende Untersuchung der Wärmeübertragung zwischen Zonen mit bzw. ohne solare Gewinne wurde im Rahmen der Dissertation [JAC03] durchgeführt. Die Wärmeverteilung von Zonen mit solaren Gewinnen in verschattete Zonen über Trennbauteile und über Lüftungsanlagen mit zentraler bzw. dezentraler Wärmerückgewinnung wird verglichen.

Dabei werden verlustminimierte, durchschnittliche und gewinnmaximierte Varianten eines Vierzonenmodells erstellt. Aus diesen Grundtypen werden Variationen mit dezentralen oder zentralen Lüftungsanlagen generiert. Durch starke Verschattung in den beiden unteren Geschossen ergeben sich unterschiedliche solare Einträge. Eine Umverteilung von Gewinnen in die verschatteten Wohnungen und eine damit verbundene Reduktion der Heizwärmebedarfswerte wird dabei untersucht.

### 6.1.2.1 Modell

Das Modell besteht aus vier übereinander liegenden Zonen mit Innenabmessungen von 6,25 m Breite, 13,90 m Tiefe und 2,5 m Höhe. Die Zonen werden allseitig von einer thermischen Hülle bestehend aus mindestens 30 cm Wärmedämmung umschlossen. Zwischen den Zonen werden Wohnungstrenndecken verwendet, die den von der Wiener Bauordnung [BOW01] mindestens geforderten U-Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup>K unterschreiten.

Das Modell wurde im Simulationsprogramm ESP-r [ESR02] aus folgenden Konstruktionen aufgebaut:

Konstruktion	thermisch relevante Schichten (von innen)	Dicke in cm	U-Wert in W/m <sup>2</sup> K	angrenzendes Klima
<b>Außenwand</b> (süd-, ost- und nordseitig)	Stahlbeton	20	0,13	Außenklima
	Wärmedämmung	30		
	Außenputz	1		
<b>Oberste Geschossdecke</b>	Stahlbeton	20	0,10	Außenklima
	Wärmedämmung	40		
	Kiesschüttung	5		
<b>Unterste Geschossdecke</b>	Parkett, Estrich, TDP	10	0,12	Außenklima
	Stahlbeton	20		
	Wärmedämmung	30		
<b>Fenster</b>	Dreischeibenverglasung	-	0,8 (g=0,6)	Außenklima
<b>Trenndecke</b>	Parkett, Estrich, TDP	10	0,85	Innenklima
	Stahlbeton	20		
<b>Wohnungstrennwand</b> (westseitig)	Gipskartonplatte	1,5	0,61	Innenklima-symmetrische Randbedingung
	Dämmung	5		
	Stahlbeton	20		

Tab. 25. Verwendete Konstruktionen für Wärmeverteilung

Auf der nach Süden orientierten Breitseite sind je nach Variante unterschiedlich große Fenster angeordnet. Nordseitig sind in jedem Geschoss Fenster mit einer Fläche von 4,2 m<sup>2</sup> angeordnet. Die Fenster weisen einen U-Wert von 0,80 W/m<sup>2</sup>K und einen g-Wert von 0,60 auf. Die Zonen werden auf 22 °C Innenlufttemperatur beheizt und im Sommer wird auf 26 °C gekühlt, damit eine unrealistische hohe Aufheizung der Speichermassen den Herbst nicht verfälschen. Die inneren Lasten sind mit 2,1 W/m<sup>2</sup> angesetzt. Der Luftwechsel in den Zonen ist mit 0,5 /h festgelegt. Ab einer Lufttemperatur von 24 °C wird in den Zonen ein Fenster gekippt. Die Öffnungsfläche ist mit einer Breite von 0,25 m und einer Höhe von 1 m angesetzt.

Die süd-, ost- und nordseitigen Wände sowie die oberste und die unterste Geschosdecke sind dem Außenklima von Wien des Jahres 1997 ausgesetzt. An den westseitigen Wohnungstrennwänden sind symmetrische Randbedingungen vorgesehen. Die Absorptionsgrade des Außenputzes und der Kiesschüttung sind mit 0,10 angesetzt, um den solaren Eintrag durch die opaken Bauteile gering zu halten. Die Dämmstoffe weisen eine Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/mK auf.

In der folgenden Abbildung ist das mit dem Simulationsprogramm ESP-r erstellte Modell ersichtlich.

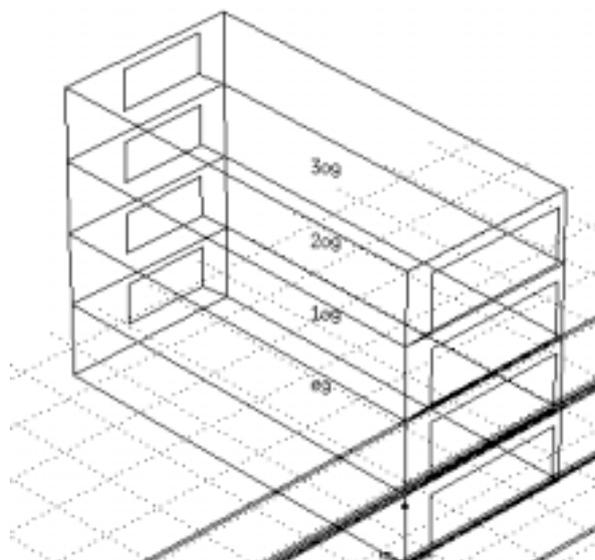


Abb. 51. Vierzonenmodell mit gewinnmaximierter Fensterfläche und den Verschattungselementen erstellt mit ESP-r [ESR02]

Das Erdgeschoss und das 1. Obergeschoss sind jeweils mit einem 2,50 m tiefen und 26 m breiten Balkon und einer 26 m breiten und 2,50 m hohen Wand, die sich 2,50 m vor dem Gebäude befindet, vollständig verschattet.

### 6.1.2.2 Varianten

Die Luft wird entsprechend der jeweiligen Variante über eine zentrale bzw. über dezentrale Wärmerückgewinnungsanlagen mit einem Wirkungsgrad von jeweils 0,80 geführt. Bei der dezentralen Anlage ist für jede Zone ein eigener Wärmetauscher vorhanden. Die Varianten mit zentraler Anlage sind mit einem Wärmetauscher ausgestattet, der alle Wohneinheiten bedient.

In der folgenden Tabelle sind die zum Vergleich von dezentraler und zentraler Wärmerückgewinnungsanlagen durchgeführten Simulationen aufgelistet.

Variante	Fensteranteil	Fenstergröße in m <sup>2</sup>	WRG-Anlage
v-d	verlustminimiert	1,5	dezentrale
v-z	verlustminimiert	1,5	zentrale
d-d	durchschnitt	5,5	dezentrale
d-z	durchschnitt	5,5	zentrale
g-d	gewinnmaximiert	9,5	dezentrale
g-z	gewinnmaximiert	9,5	zentrale

Tab. 26. Untersuchte Varianten für Wärmeverteilung

### 6.1.2.3 Ergebnisse

Im Folgenden sind die wesentlichen Ergebnisse zusammengestellt. Eine ausführliche Darstellung ist in [JAC03] zu finden.

#### Heizlast und Temperatur

In der folgenden Tabelle sind die maximal erforderlichen Heizlasten in W der vier Zonen und die Zeitpunkte, an denen diese erstmalig auftreten, aufgelistet.

Variante	Heizlasten in W und Zeitpunkte des Auftretens											
	EG			1.OG		2.OG		3.OG				
<b>v-d</b>	470	15.1.02	3:00	320	15.1.02	4:00	310	7.1.02	6:00	480	15.1.02	4:00
<b>v-z</b>	480	14.1.02	22:00	330	14.1.02	22:00	330	15.1.02	8:00	480	15.1.02	1:00
<b>d-d</b>	510	15.1.02	5:00	350	15.1.02	4:00	350	20.1.02	7:00	510	16.1.02	7:00
<b>d-z</b>	520	14.1.02	22:00	360	7.1.02	4:00	350	7.1.02	2:00	500	7.1.02	3:00
<b>g-d</b>	550	15.1.02	6:00	390	15.1.02	8:00	390	20.1.02	7:00	540	17.1.02	7:00
<b>g-z</b>	560	15.1.02	7:00	400	15.1.02	8:00	390	20.1.02	2:00	540	18.1.02	4:00

Tab. 27. Maximale Heizlasten und Zeitpunkte, an denen diese erstmalig auftreten

Die maximal erforderliche Heizlast, um den Innenraum auf 22 °C zu halten, nimmt erwartungsgemäß mit der Fensterfläche zu. Beim Variieren der Lüftungsanlagen ist die maximale Auswirkung auf die Heizlast in den Zone mit ca. 10 W/m<sup>2</sup> begrenzt. Die höchste Heizlast von 560 W ist im Erdgeschoss der Variante g-z erforderlich.

Zwischen den Varianten mit dezentraler und zentraler Wärmerückgewinnung ist praktisch kein Unterschied in den Temperaturen vorhanden.

#### Heizwärmebedarf

In der folgenden Tabelle sind die Heizwärmebedarfswerte in kWh für ein Jahr der untersuchten Varianten nach Geschossen aufgelistet.

Geschoss	Heizwärmebedarf in kWh					
	v-d	v-z	d-d	d-z	g-d	g-z
<b>EG</b>	775,8	767,8	715,8	704,7	715,3	702,4
<b>1.OG</b>	415,7	420,7	403,7	405,2	417,5	417,5
<b>2.OG</b>	379,4	385,4	335,9	340,3	337,8	341,9
<b>3.OG</b>	673,0	676,1	564,1	566,6	542,5	544,5
<b>Gesamt</b>	<b>2243,9</b>	<b>2250,0</b>	<b>2019,5</b>	<b>2016,8</b>	<b>2013,1</b>	<b>2006,3</b>

Tab. 28. Heizwärmebedarfswerte für ein Jahr der untersuchten Varianten

Die Heizwärmeverbräuche sinken erwartungsgemäß mit steigender Fensterfläche. Zwischen den Varianten v-d und v-z, d-d und d-z bzw. g-d und g-z unterscheiden sich die errechneten Gesamtwerte jeweils weniger als 1 %.

Bei den gewinnorientierten Varianten beträgt die Einsparung im Erdgeschoss durch die zentrale Lüftungsanlage ca. 13 kWh bzw. ca. 2 % des Verbrauches. Im 2. und 3. Obergeschoss sind die Heizwärmebedarfswerte geringfügig höher, da die in diesen Zonen erzielten Gewinne ins Erdgeschoss umverteilt werden. Der Heizwärmeverbrauch im 1. Obergeschoss bleibt konstant bei ca. 417,5 kWh.

### Monatsweiser Heizwärmebedarf

In der folgenden Tabelle sind beispielhaft für die Erdgeschoss der untersuchten Varianten die nach Monaten aufgeschlüsselten Heizwärmebedarfswerte in kWh dargestellt.

Variante	Heizwärmebedarf in kWh					
	v-d	v-z	d-d	d-z	g-d	g-z
Jänner	301,3	302,6	318,1	319,4	335,2	336,3
Februar	139,3	138,6	110,2	102,4	87,5	77,0
März	37,7	31,5	0,9	0,3	0,0	0,0
April	0,9	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Oktober	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
November	78,9	75,9	58,8	53,9	52,9	48,6
Dezember	217,6	218,9	227,8	228,7	239,7	240,5
<b>Summe</b>	<b>775,8</b>	<b>767,8</b>	<b>715,8</b>	<b>704,7</b>	<b>715,3</b>	<b>702,4</b>

Tab. 29. monatsweise Heizwärmebedarfswerte der Erdgeschoss

Im Jänner und Dezember, den Kernmonaten der Heizperiode, treten praktisch keine Unterschiede zwischen den Varianten mit dezentraler und zentraler Wärmerückgewinnung auf. Die erzielten Gewinne mindern direkt den Heizwärmebedarf.

Die Verwendung von Lüftungsanlagen mit zentraler Wärmerückgewinnung bewirkt zunehmend mit der Fensterfläche in den Übergangsmonaten eine Umverteilung von Gewinnen aus den besonnten Zonen in die verschatteten Geschosse. Daher liegen im Erdgeschoss in den betreffenden Monaten niedrigere Verbrauchswerte vor.

Im Februar reduziert die Installation einer zentralen Lüftungsanlage den Lüftungswärmeverlust des Erdgeschosses von rund 97 kWh bei Variante g-d auf ca. 81 kWh bei Variante g-z und den Heizwärmebedarf von 87,5 kWh auf 77 kWh. Auf die Verbrauchswerte des verschatteten 1. Obergeschosses und der anderen unverschatteten Obergeschosse ergeben sich keine bedeutsamen Einflüsse.

### Kostenvergleich

Kostenvergleich zentrale/dezentrale Wärmerückgewinnung siehe Kapitel 8.4.

#### **Ergebnisse**

*Die Gewinnweitergabe der besonnten Zonen in das 1. Obergeschoss erfolgt hauptsächlich durch die Trenndecke und kann durch eine zentrale Lüftungsanlage nur unbedeutend gesteigert werden.*

*In den Übergangsmonaten profitiert das Erdgeschoss von der zentralen Lüftungsanlage.*

*Die erzielbare Einsparung liegt bei jeder Fenstergröße im Erdgeschoss unter 2 % und in Summe unter 1 % des Gebäudeheizwärmebedarfes. Die Art der Wärmerückgewinnungsanlage ist in energetischer Hinsicht nicht wesentlich.*

*Aus Sicht der Investitionskosten ist die zentrale Wärmerückgewinnung (semizentrale Lüftungsanlage) der dezentralen Lüftungsanlage vorzuziehen.*

### 6.1.3 Hygienische Beurteilung der Lüftungsanlage mittels Simulink

Die Ergebnisse für die Lufttemperaturen und die Luftfeuchtigkeiten wurden mit dem unter Punkt 3.3 beschriebenen Simulinkmodell für jeweils 2 Wochen im Winter, in der Übergangszeit und im Sommer mit den Klimadaten von Wien des Jahres 1997 berechnet. Der Berechnungsperiode ging jeweils eine Einschwingphase von einer Woche voraus.

Zur Beurteilung der Verhältnisse wurden die in der folgenden Tabelle aufgelisteten Varianten untersucht.

Variante	Zeit	Lüftung	Heizung
Winter A	1. bis 14. Januar	Anlage	nach Bedarf
Winter B	1. bis 14. Januar	Anlage und Fensterlüftung	nach Bedarf
Winter C	1. bis 14. Januar	Anlage und Fensterlüftung	zwischen 23.00 und 6.00 Uhr im Schlafraum außer Betrieb
Übergang A	1. bis 14. April	Anlage	nach Bedarf
Übergang B	1. bis 14. April	Anlage und Fensterlüftung	nach Bedarf
Übergang C	1. bis 14. April	Anlage und Fensterlüftung	zwischen 23.00 und 6.00 Uhr im Schlafraum außer Betrieb
Sommer A	1. bis 14. Juni	Anlage und Fensterlüftung	aus

Tab. 30. Untersuchte Varianten

In den Varianten mit Fensterlüftung werden die Fenster im Schlafraum um 7, 12, 17 und 21 Uhr eine Viertel Stunde gekippt.

### 6.1.3.1 Winter A

Bei Variante Winter A erfolgt die Be- und Entlüftung der Räumlichkeiten über die Lüftungsanlage mit einem Luftwechsel von 0,4 /h. Die Fenster sind geschlossen.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfeuchtigkeiten des Außenbereiches und am Frostschutzregister vom 1. bis zum 14. Jänner dargestellt.

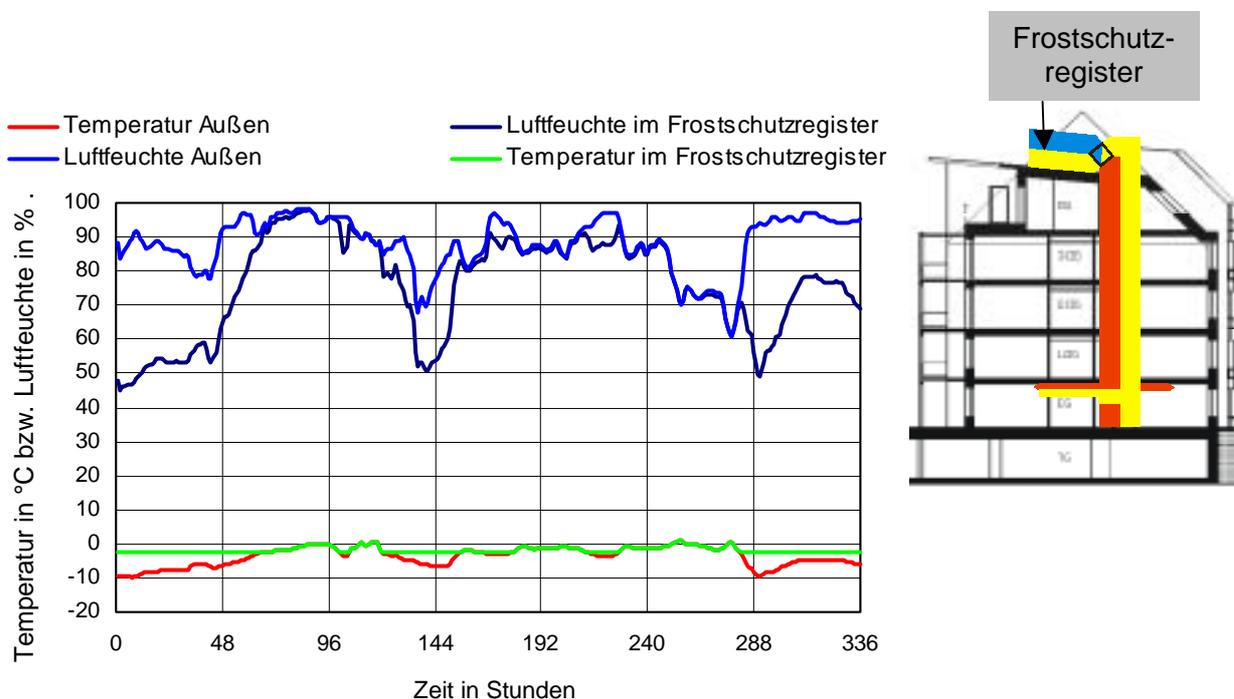


Abb. 52. Außenbereich und Frostschutzregister

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner am Zuluftfilter, das nach dem Frostschutzregister angeordnet ist, dargestellt.

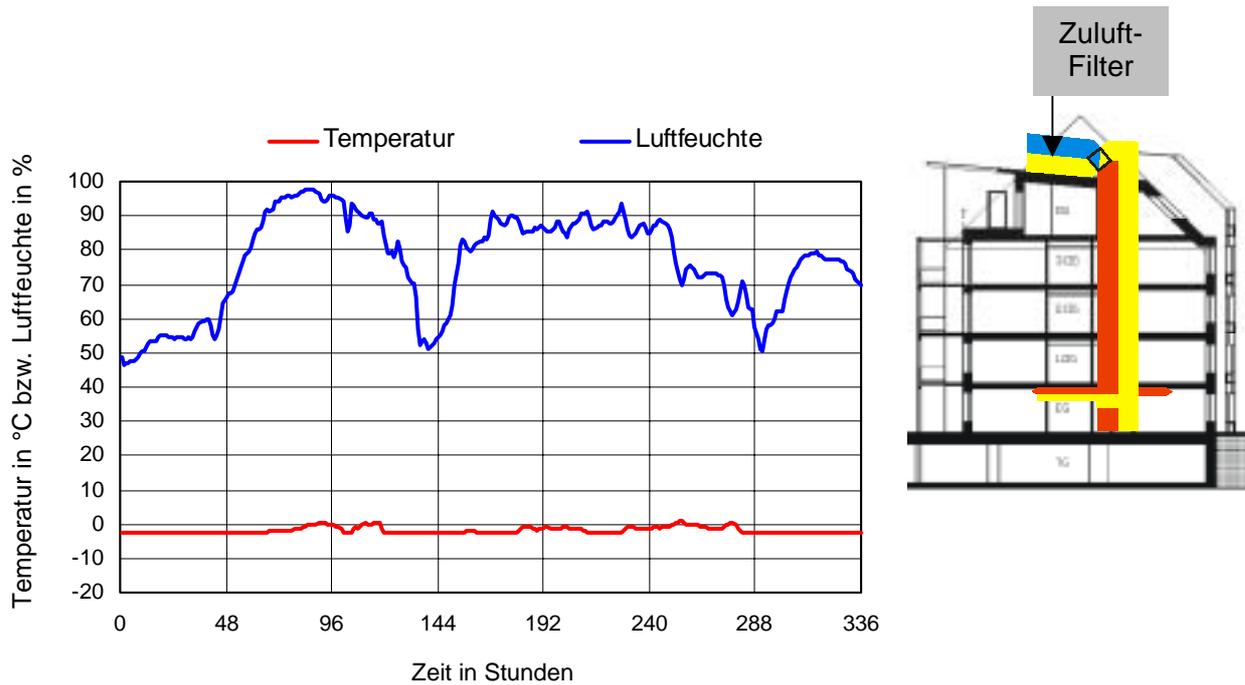


Abb. 53. Zuluftfilter nach Frostschutzregister

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner im Zulufthauptstrang dargestellt.

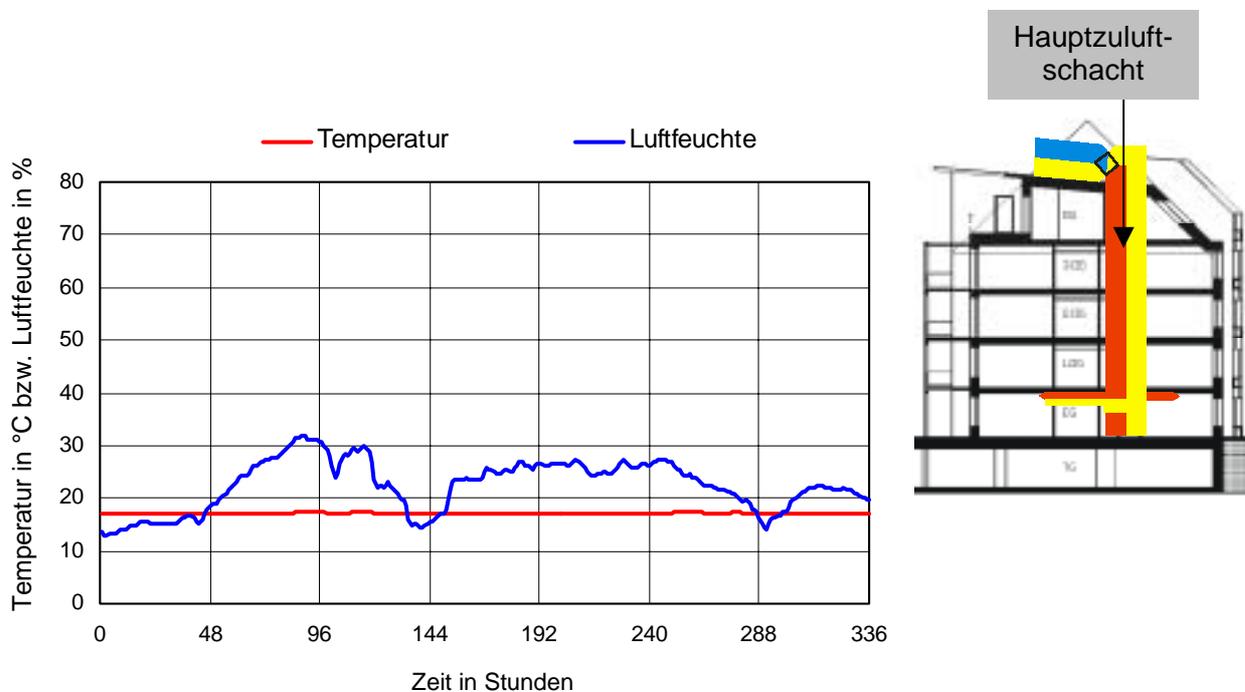


Abb. 54. Zulufthauptstrang

In der Zuluftleitung im Hauptschacht stellt sich wie auch aus vorhergehender Grafik ersichtlich eine Temperatur von ca. 17 °C ein und in der Abluftleitung eine von ca. 20,5 °C. Die berechnete Temperatur im Haustechnikschacht liegt in dieser Winterperiode bei ca. 19,5 °C mit Schwankungen von maximal 0,1 °C.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner im Schalldämpfer des Zuluftstranges in der Wohnung dargestellt.

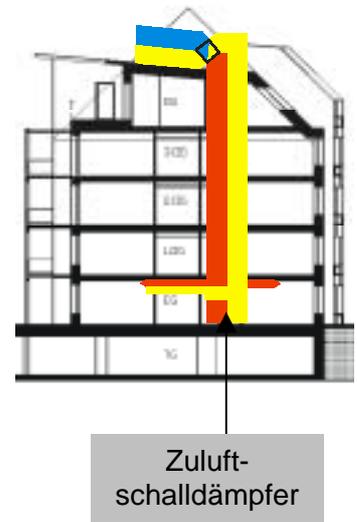
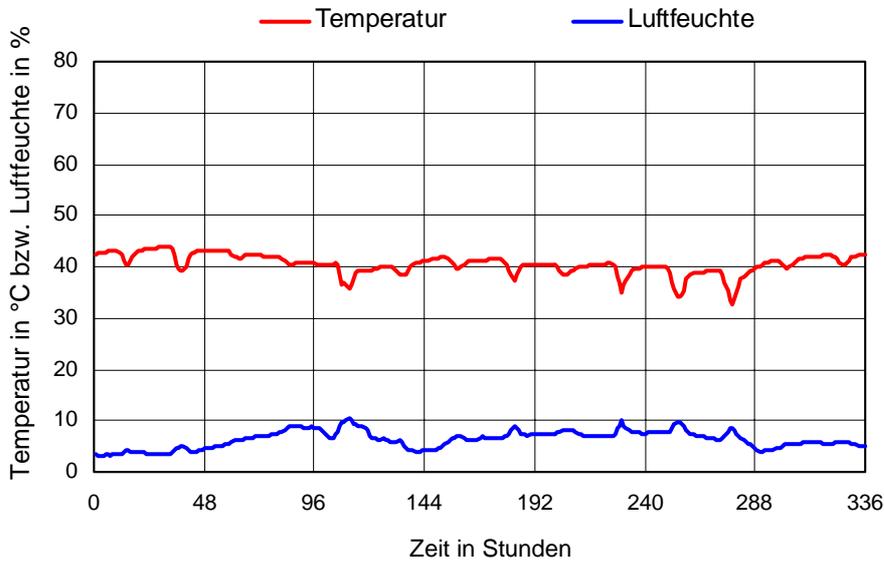


Abb. 55. Schalldämpfer des Zuluftstranges in der Wohnung

Die Temperatur im Schalldämpfer wird durch das vorgelagerte Nachheizregister im Mittel auf 40,5 °C erhöht und die relative Luftfeuchtigkeit wird auf ca. 6,5 % verringert.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner im Wohn- und im Schlafraum dargestellt.

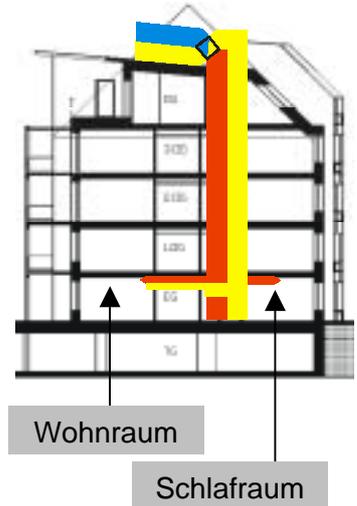
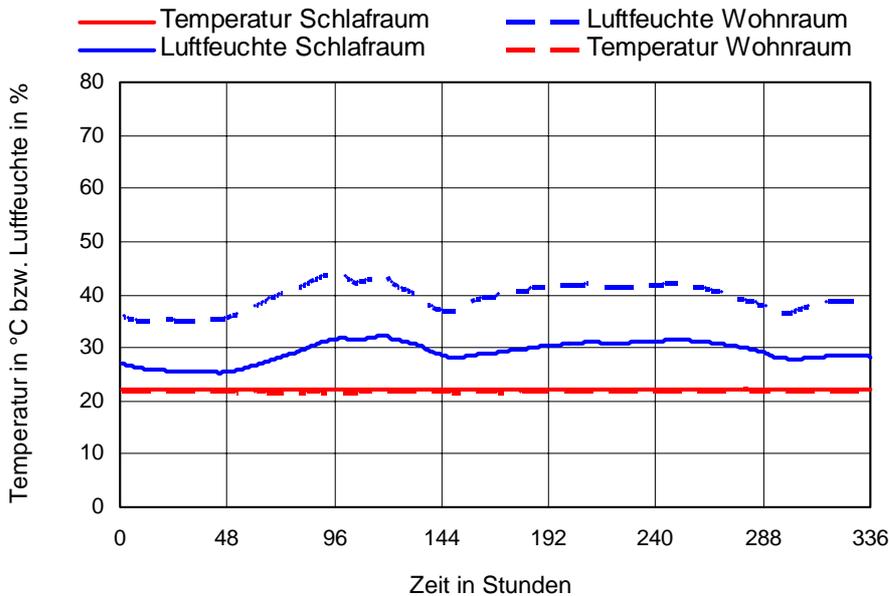


Abb. 56. Wohn- und Schlafraum

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner in der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

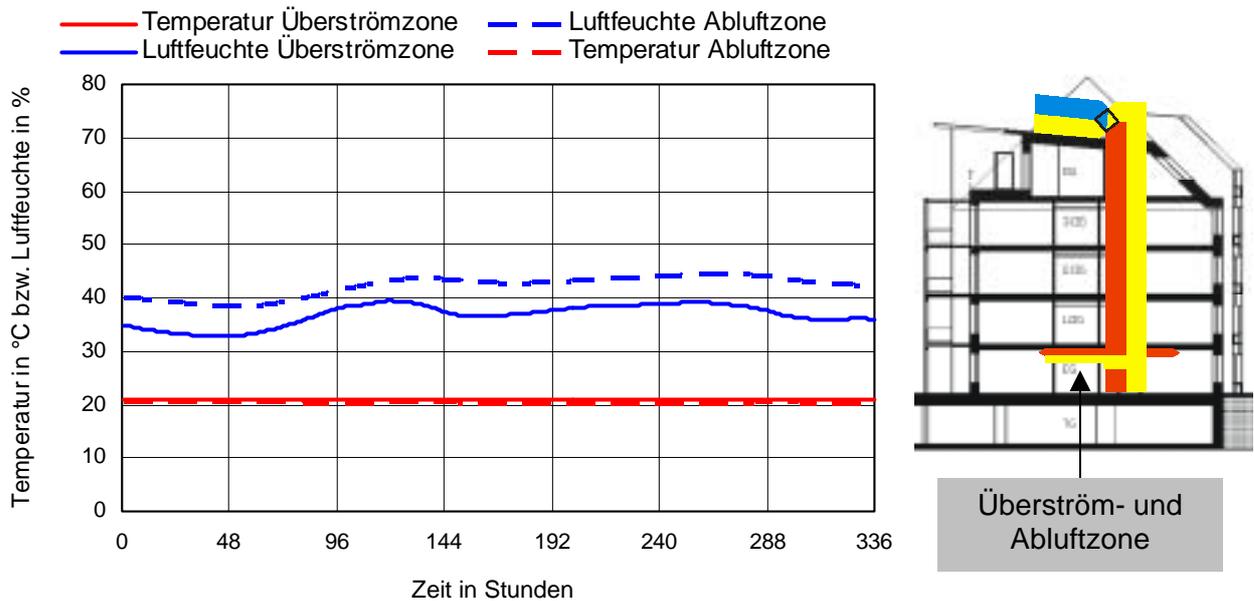


Abb. 57. Überström- und Abluftzone

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner in den Abluftfiltern der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

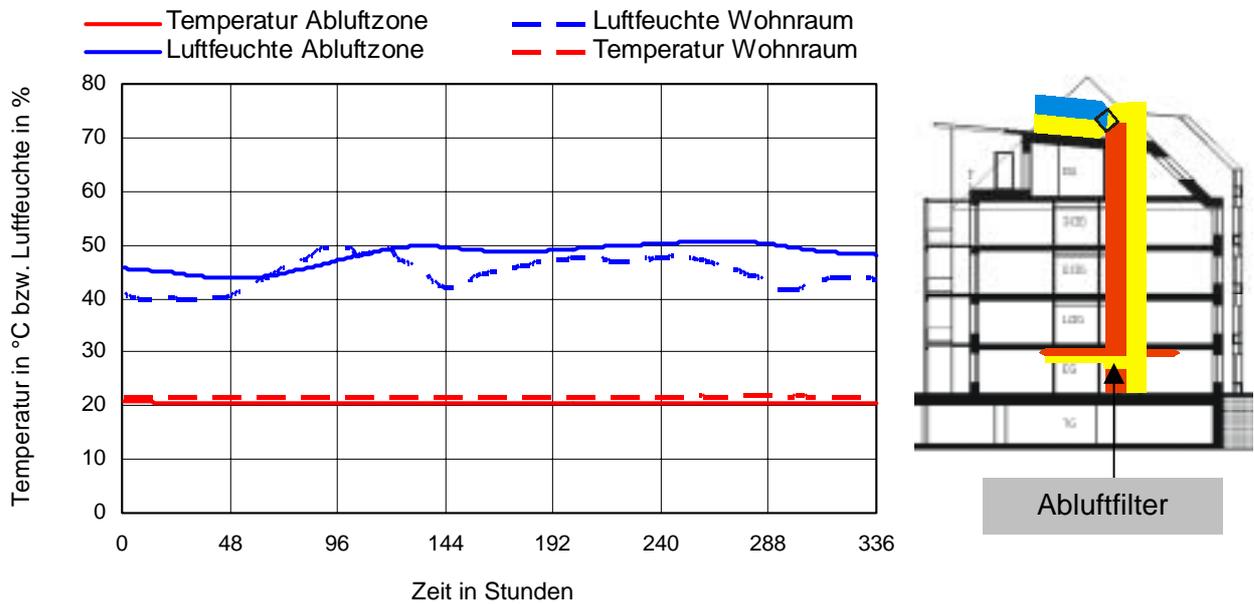


Abb. 58. Abluftfilter der Abluftzone

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner im Bereich des Schalldämpfers der Wohnung im Abluftstrang dargestellt.

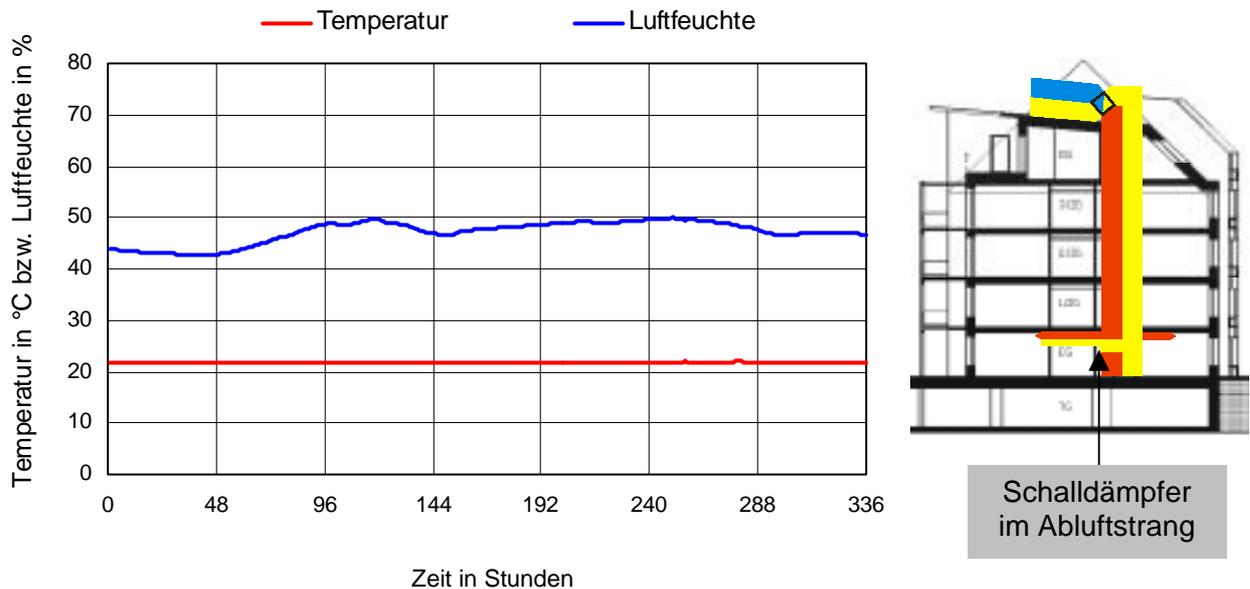


Abb. 59. Schalldämpfer im Wohnungsabluftstrang

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner im Bereich des Filters im Abluftstrang vor dem Wärmetauscher dargestellt.

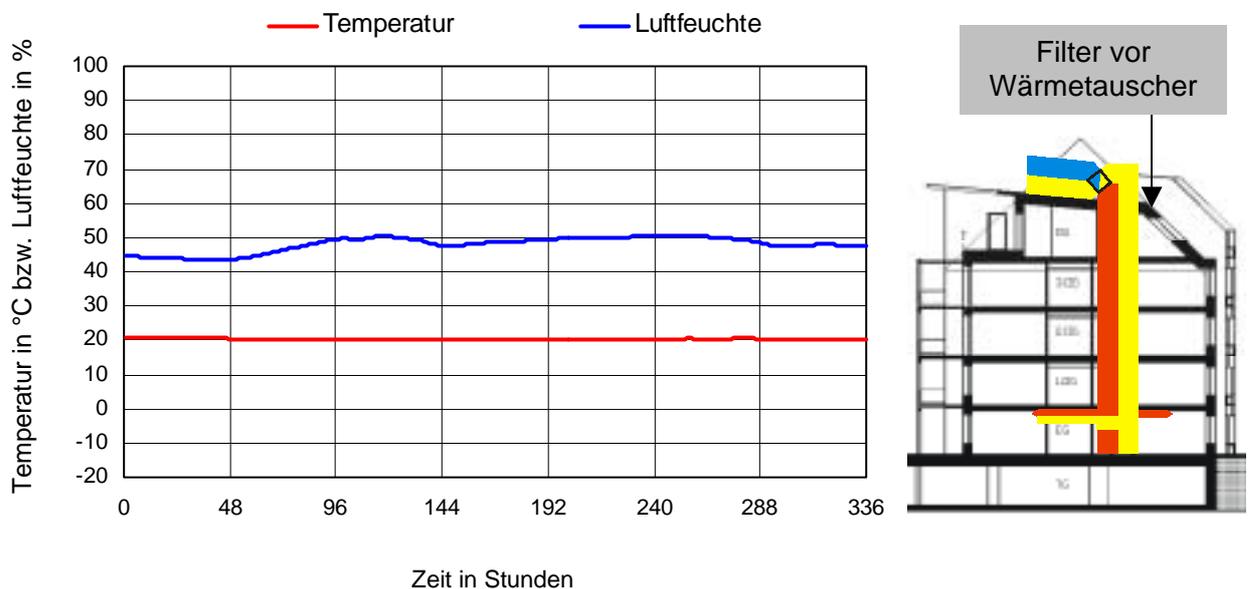


Abb. 60. Filter vor Wärmetauscher

### 6.1.3.2 Winter B

Bei Variante Winter B erfolgt die Be- und Entlüftung der Räumlichkeiten über die Lüftungsanlage mit einem Luftwechsel von 0,4 /h und ein Fenster im Schlafraum wird viermal am Tag für jeweils 15 Minuten gekippt.

Die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten am Frostschutzregister, am Zuluftfilter, im Zuluft Hauptstrang und im Schalldämpfer im Zuluftstrang in der Wohnung unterscheiden sich von der Variante Winter A, wo nicht über die Fenster gelüftet wird, praktisch nicht.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner im Wohn- und im Schlafräum dargestellt.

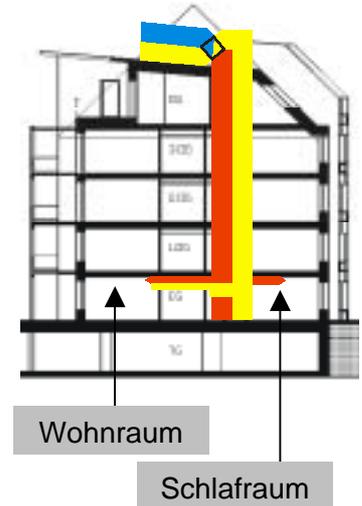
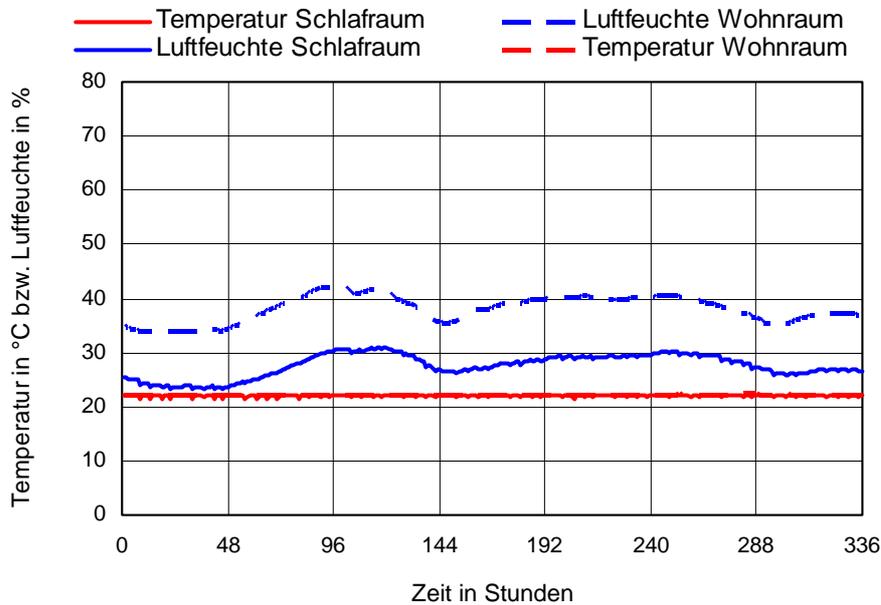


Abb. 61. Wohn- und Schlafräum

Während den Zeiten des Lüftens stellt sich in Abhängigkeit von den Klima- und Windverhältnissen Luftwechselzahlen zwischen ca. 0,6 und 1,2 /h ein. Die Lufttemperatur bleibt im Schlafräum im Mittel bei 22 °C. Der Minimalwert liegt bei ca. 21,3 °C.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner in der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

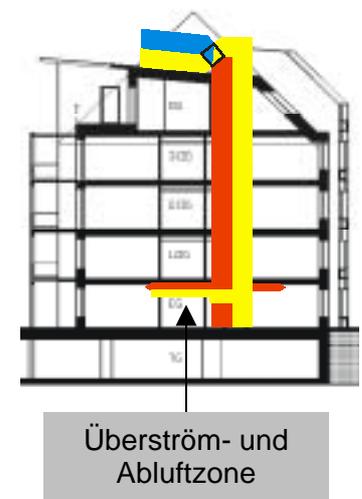
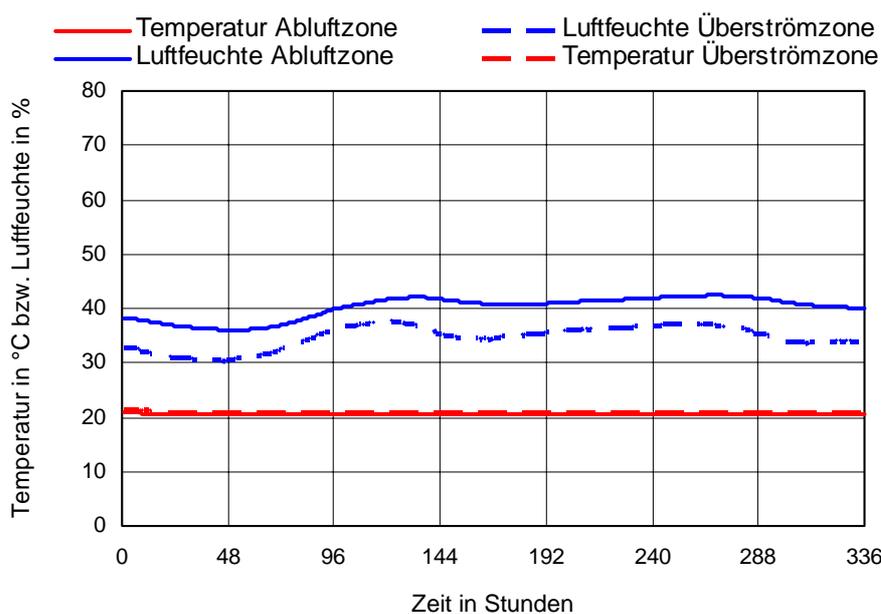


Abb. 62. Überström- und Abluftzone

Die Lufttemperaturen werden im Vergleich zur Variante Winter A am Abluftfilter im Schlafraum im Mittel um ca. 0,8 °C verringert und die Luftfeuchte im Mittel um ca. 9 %. Die weiteren Bauteile im Abluftstrang verhalten sich in abgeschwächter Form ähnlich.

### 6.1.3.3 Winter C

Bei Variante Winter C erfolgt die Be- und Entlüftung der Räumlichkeiten über die Lüftungsanlage mit einem Luftwechsel von 0,4 /h und ein Fenster im Schlafraum wird viermal am Tag für jeweils 15 Minuten gekippt. In den Nachtstunden von 23.00 bis 6.00 Uhr wird die Lüftungsanlage ausgeschaltet.

Die Verhältnisse in den Bauteilen des Zuluft- und des Abluftstranges unterscheiden sich von der Variante Winter A, wo nicht über die Fenster gelüftet wird und die Lüftungsanlage ohne Unterbrechung betrieben wird, praktisch nicht.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner im Wohn- und im Schlafraum dargestellt.

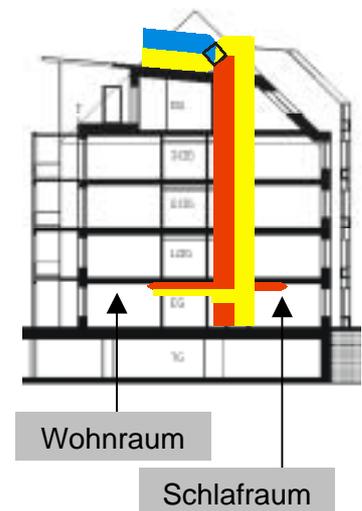
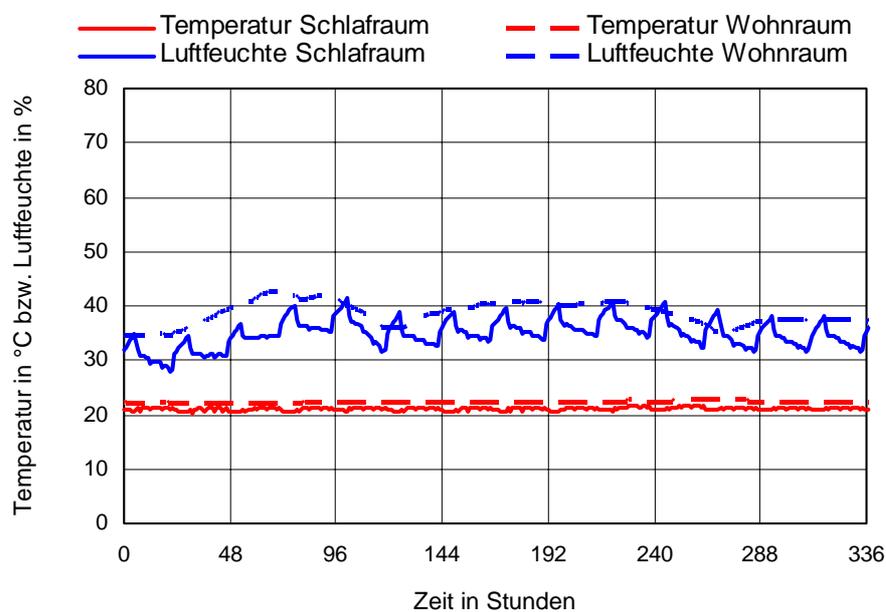


Abb. 63. Wohn- und Schlafraum

Die Lufttemperatur im Schlafraum sinkt in der Nacht auf minimal 20,3 °C, während die Luftfeuchte auf ca. 40 % steigt.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Jänner in der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

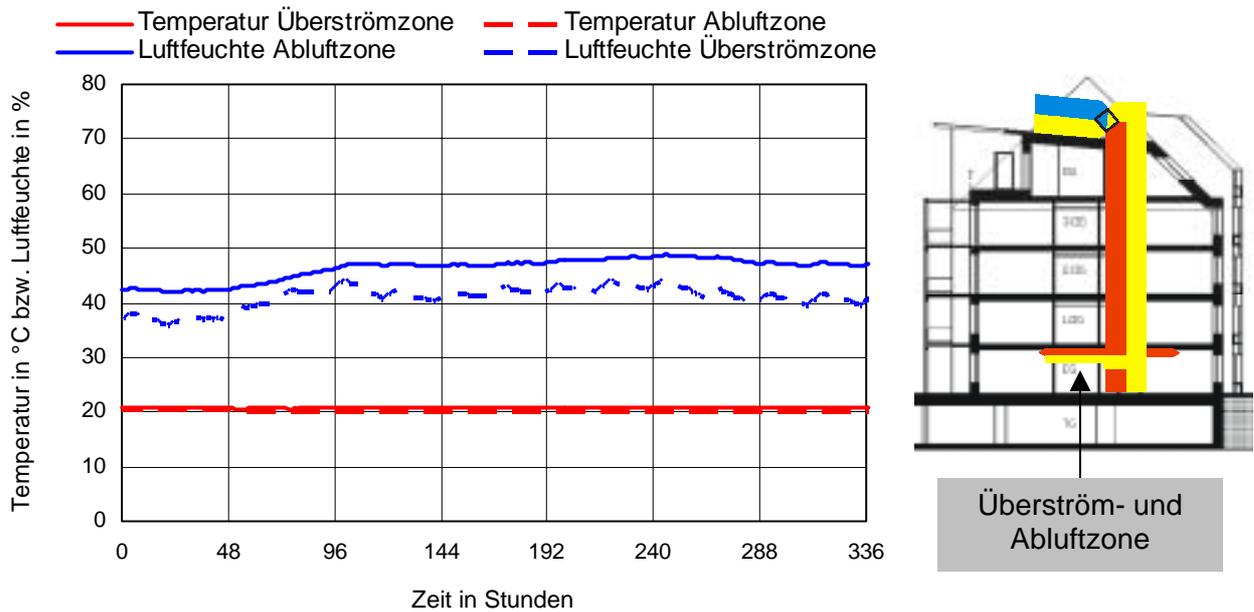


Abb. 64. Überström- und Abluftzone

### 6.1.3.4 Übergang A

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten des Außenbereiches vom 1. bis zum 14. April dargestellt. Die Bedingungen am Frostschutzregister und am Zuluftfilter sind identisch.

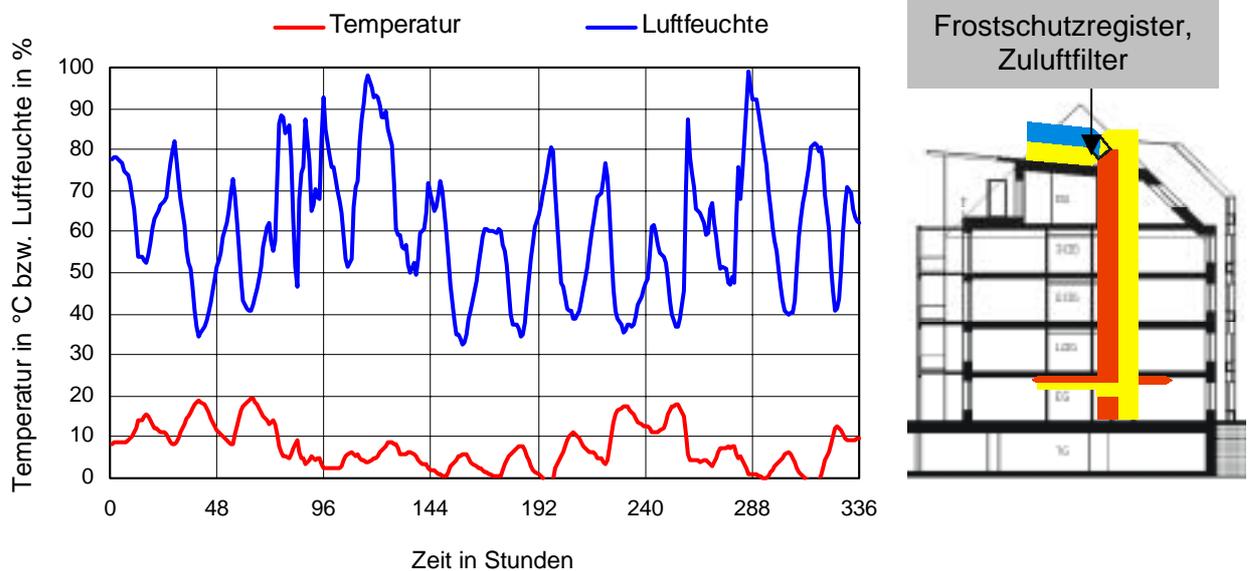


Abb. 65. Außenbereich, Frostschutzregister und Zuluftfilter

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfeuchtigkeiten vom 1. bis zum 14. April im Zuluftstrang dargestellt.

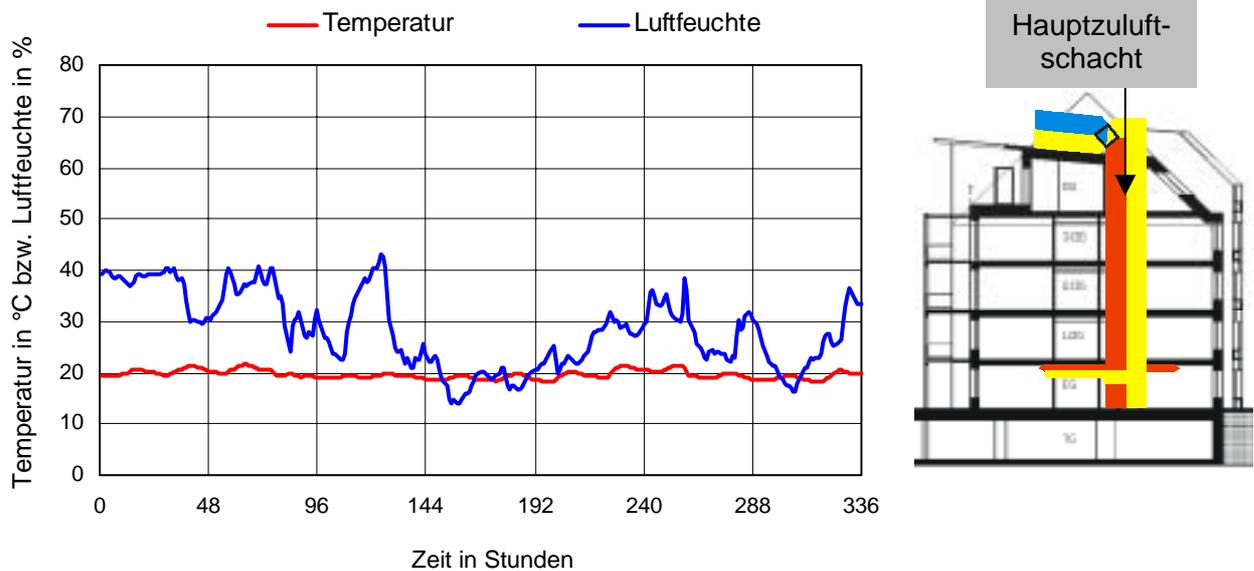


Abb. 66. Zuluftstrang

In der Zuluftleitung im Hauptschacht stellt sich wie auch aus vorhergehender Grafik ersichtlich eine Temperatur von ca. 20 °C ein und in der Abluftleitung eine von ca. 21,8 °C. Die berechnete Temperatur im Haustechnikschacht liegt in dieser Winterperiode bei ca. 20,7 °C.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfeuchtigkeiten vom 1. bis zum 14. April im Schalldämpfer des Zuluftstranges in der Wohnung dargestellt.

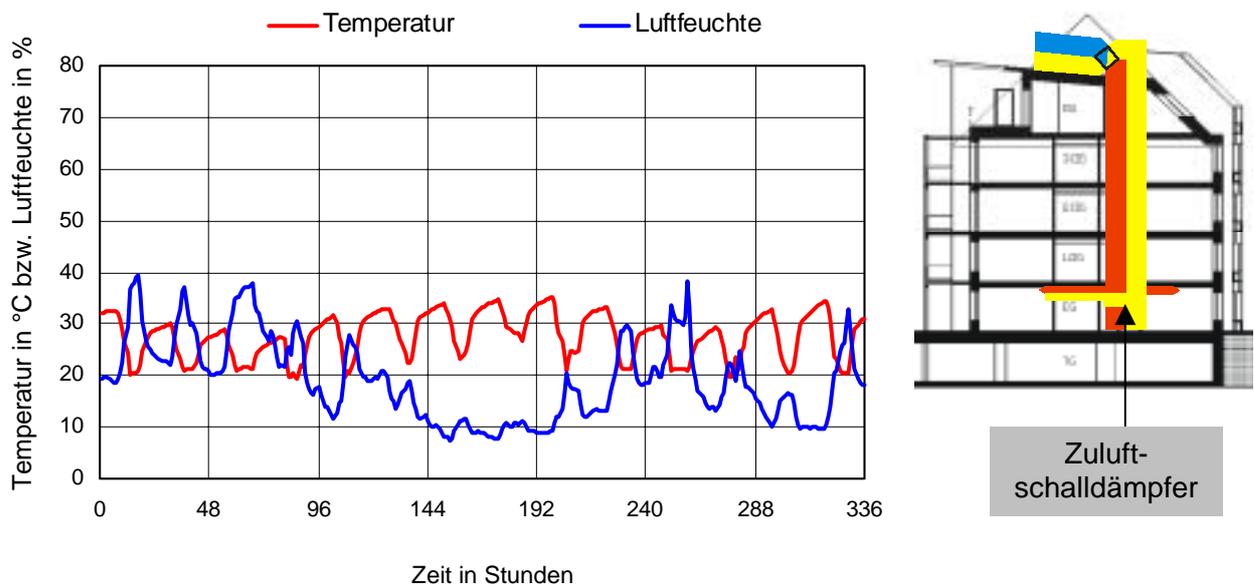


Abb. 67. Schalldämpfer des Zuluftstranges in der Wohnung

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April im Wohn- und im Schlafräum dargestellt.

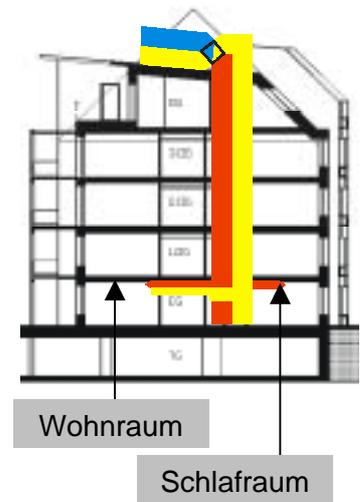
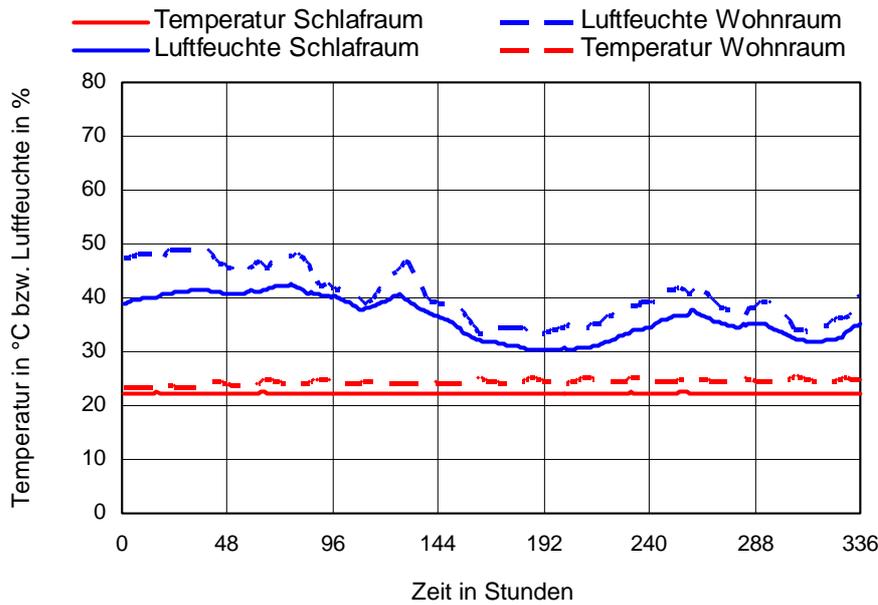


Abb. 68. Wohn- und Schlafräum

Im Wohnraum stellen sich in dieser Periode eine Temperatur von ca. 24,3 °C und eine Luftfeuchte von ca. 40,3 % ein. Der Schlafräum liegt im Mittel bei einer Temperatur von 22,2 °C und 36,3 % Luftfeuchtigkeit.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April in der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

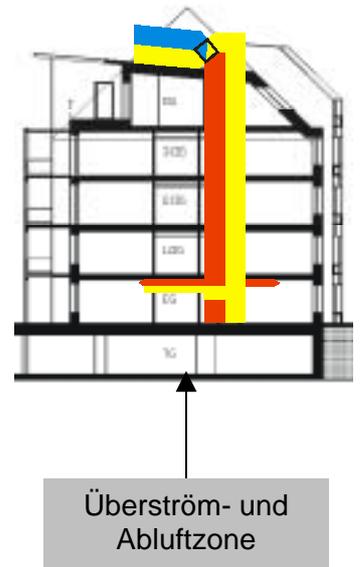
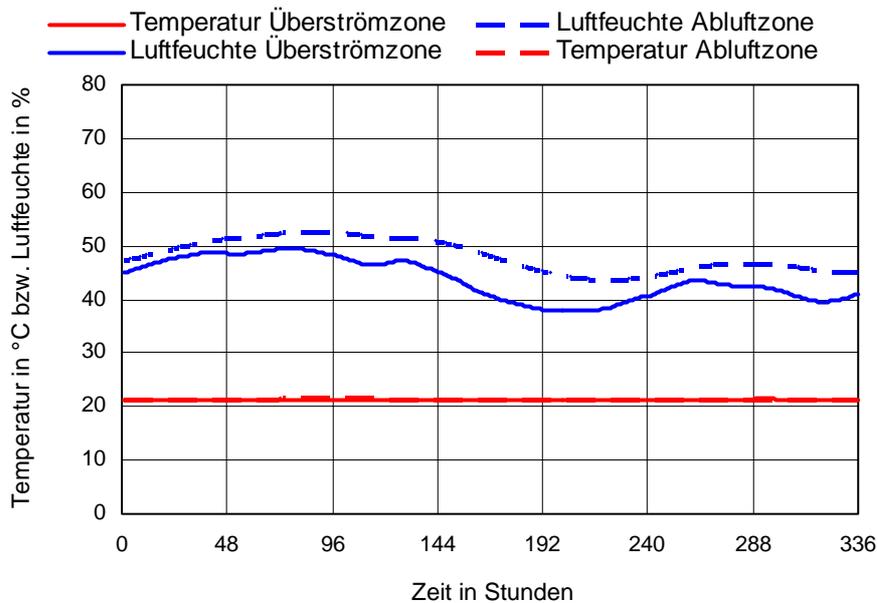


Abb. 69. Überström- und Abluftzone

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April in den Abluftfiltern der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

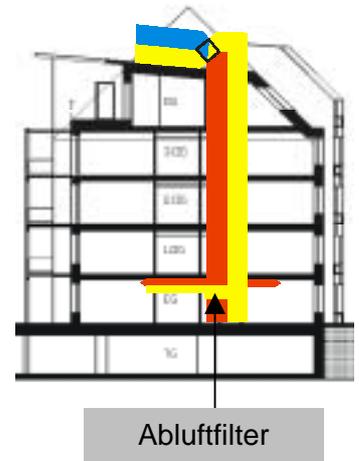
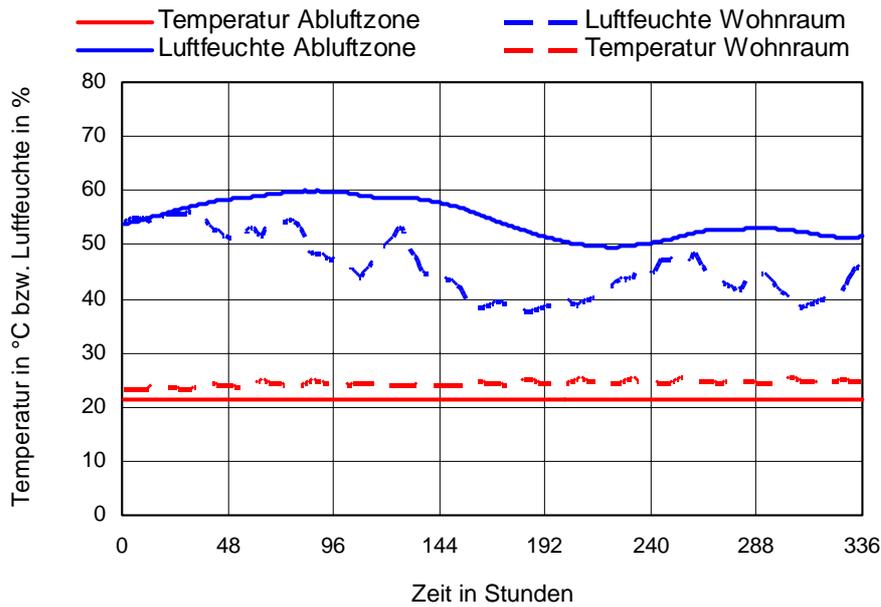


Abb. 70. Abluftfilter der Überström- und Abluftzone

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April im Bereich des Schalldämpfers der Wohnung im Abluftstrang dargestellt.

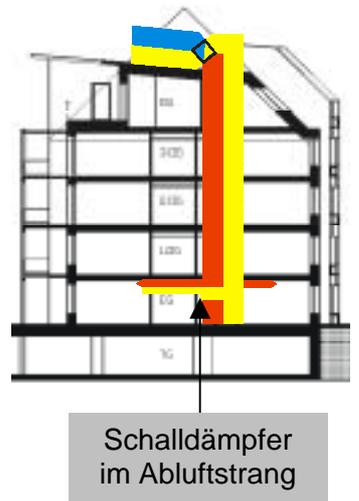
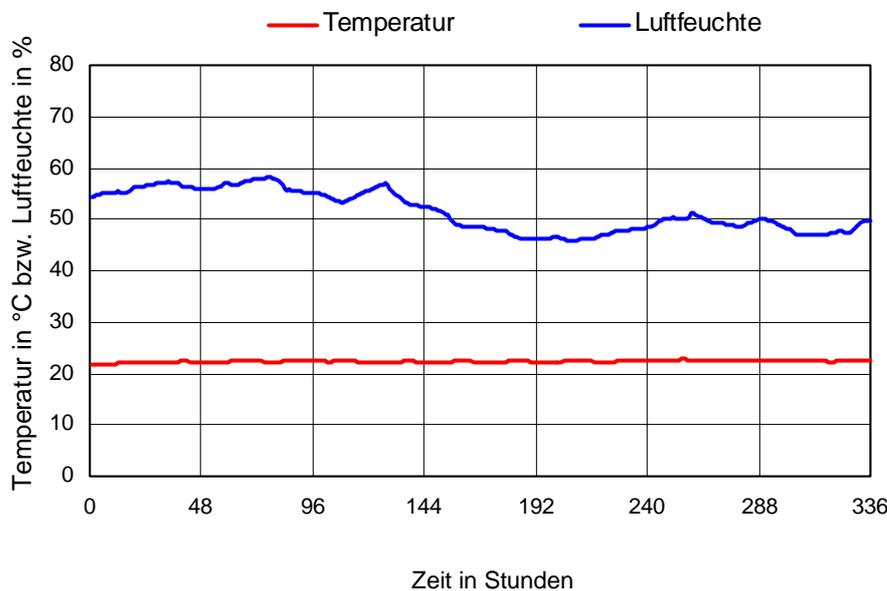


Abb. 71. Schalldämpfer im Wohnungsabluftstrang

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April des Filters im Abluftstrang vor dem Wärmetauscher dargestellt.

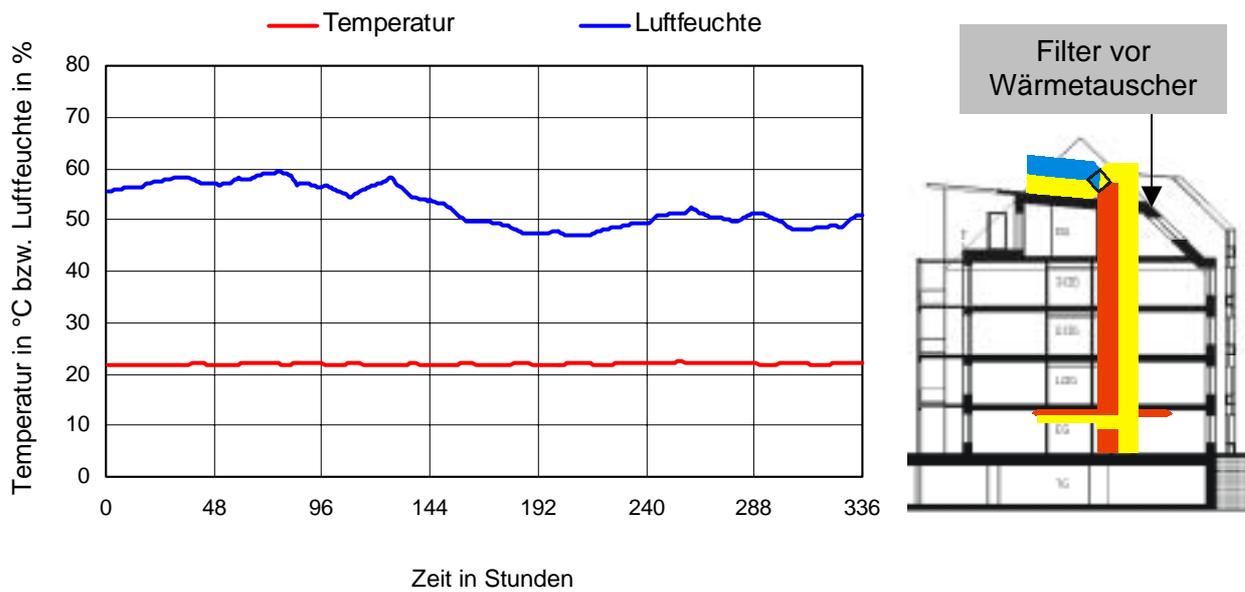


Abb. 72. Filter vor Wärmetauscher

### 6.1.3.5 Übergang B

Bei Variante Übergang B erfolgt die Be- und Entlüftung der Räumlichkeiten über die Lüftungsanlage mit einem Luftwechsel von 0,4 /h und ein Fenster im Schlafraum wird viermal am Tag für jeweils 15 Minuten gekippt.

Die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten am Frostschutzregister, am Zuluftfilter, im Zuluft Hauptstrang und im Schalldämpfer im Zuluftstrang in der Wohnung unterscheiden sich von der Variante Übergang A, wo nicht über die Fenster gelüftet wird, praktisch nicht.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April im Wohn- und im Schlafraum dargestellt.

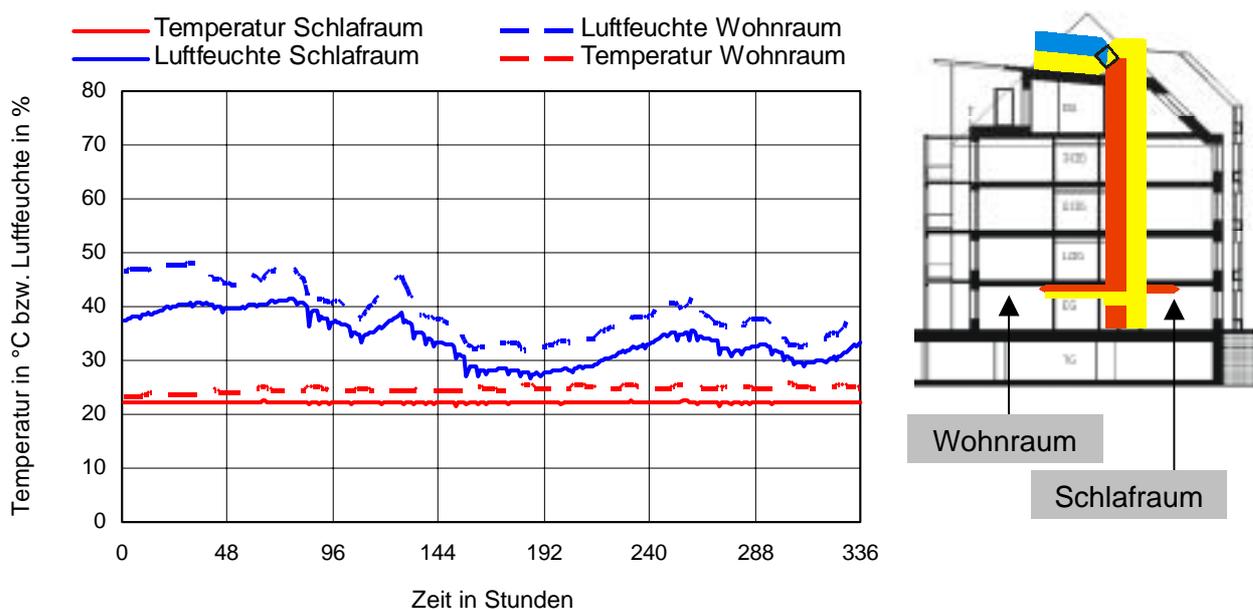


Abb. 73. Wohn- und Schlafraum

Während der Zeiten des Lüftens stellen sich in Abhängigkeit von den Klima- und Windverhältnissen Luftwechselzahlen zwischen ca. 0,5 und 1 /h mit windbedingten Spitzen bis 3 /h ein. Die Lufttemperatur bleibt im Wohnraum und Schlafrum im Mittel gegenüber der Variante ohne Fensterlüftung praktisch gleich und die Luftfeuchten sinken um ca. 1,5 %.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfeuchtigkeiten vom 1. bis zum 14. April in der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

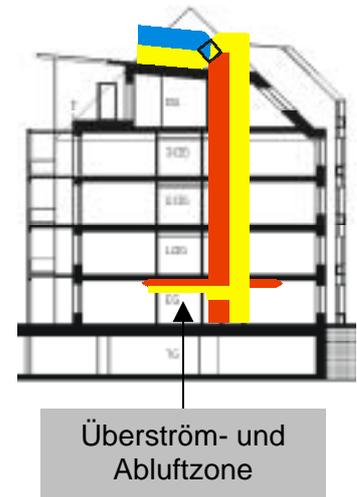
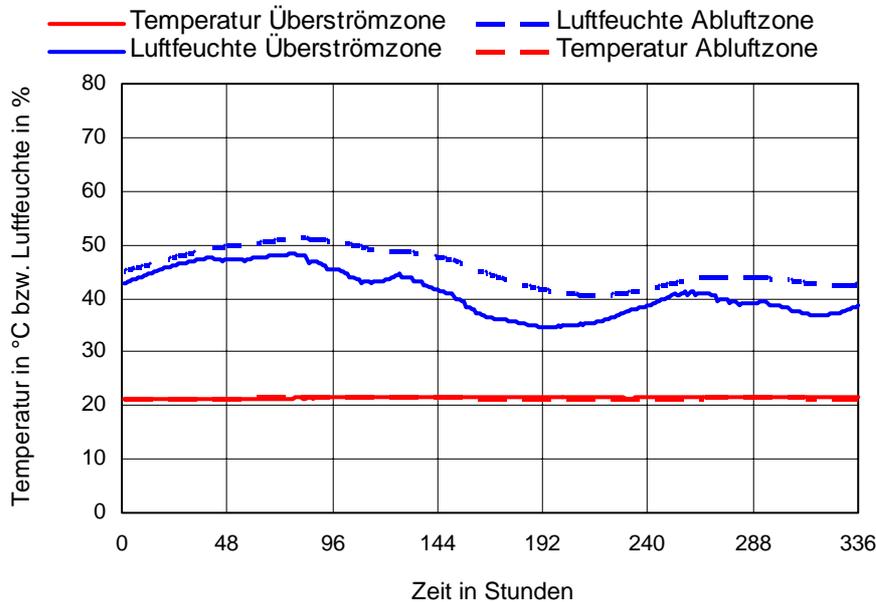


Abb. 74. Überström- und Abluftzone

Auch in diesen Zonen bleibt der Mittelwert der Lufttemperatur praktisch unbeeinflusst und die Luftfeuchte sinkt im Mittel um ca. 2 %.

Die Lufttemperatur wird im Vergleich zur Variante Winter A am Abluffilter im Schlafrum im Mittel um ca. 0,8 °C und die Luftfeuchte im Mittel um ca. 9 % verringert. Die weiteren Bauteile im Abluftstrang verhalten sich in abgeschwächter Form ähnlich.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfeuchtigkeiten vom 1. bis zum 14. April in den Abluffiltern der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

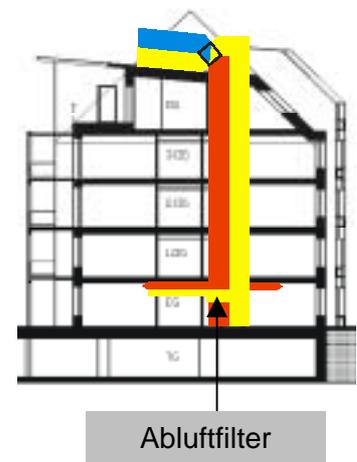
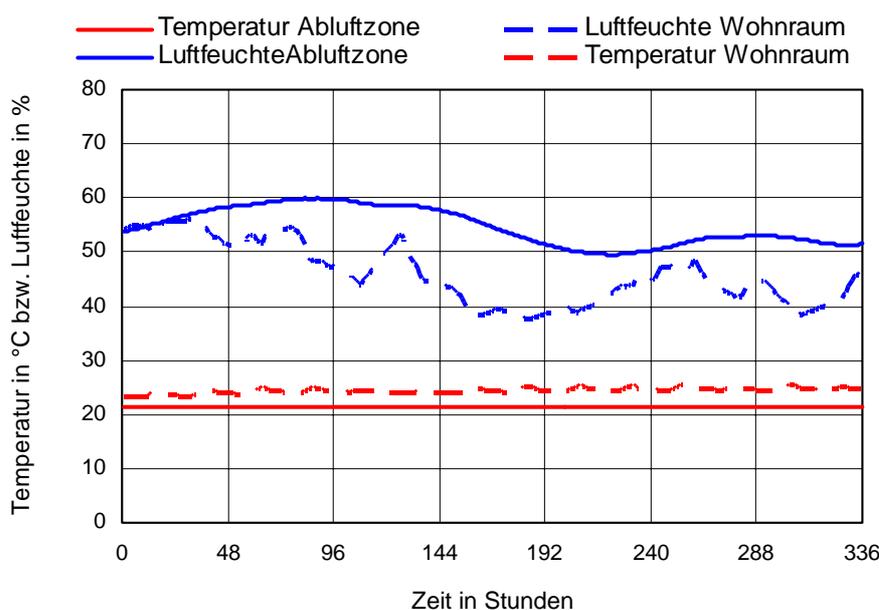


Abb. 75. Abluffilter der Überström- und Abluftzone

Im Abluffilter der Abluftzone steigt die Luftfeuchtigkeit in dieser Variante auf im Mittel ca. 54,8 % an.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April des Schalldämpfers der Wohnung im Abluftstrang dargestellt.

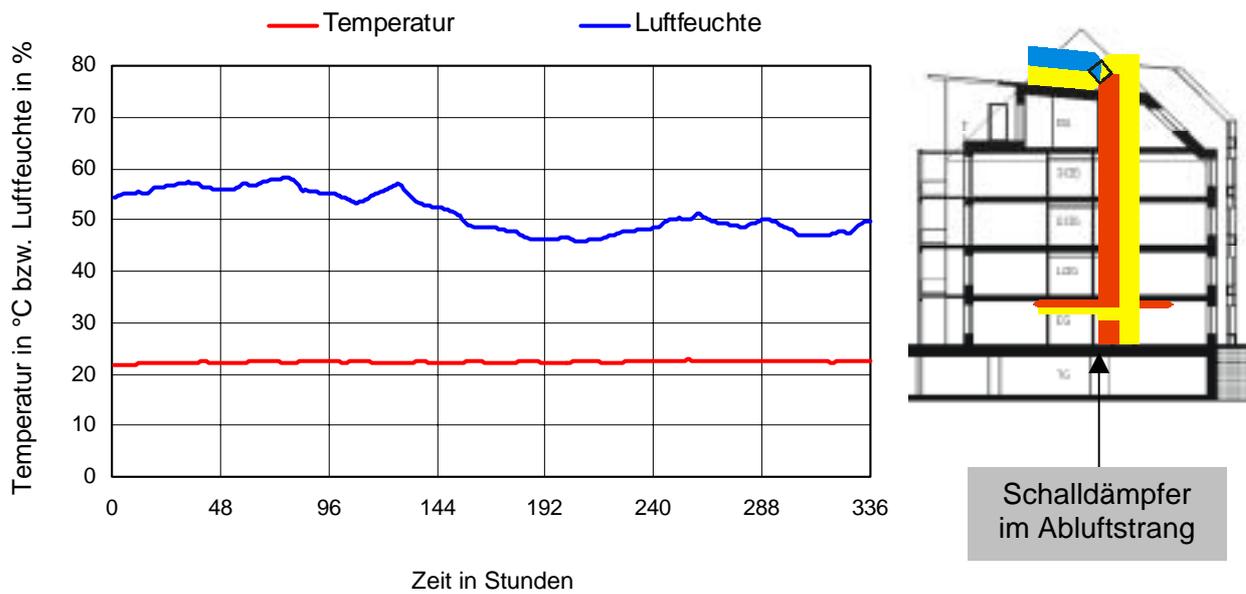


Abb. 76. Schalldämpfer im Wohnungsabluftstrang

Im Abluftschalldämpfer stellt sich eine mittlere Luftfeuchtigkeit von 51,5 % ein.

### 6.1.3.6 Übergang C

Bei Variante Übergang C erfolgt die Be- und Entlüftung über die Lüftungsanlage mit einem Luftwechsel von 0,4 /h und ein Fenster im Schlafraum wird viermal am Tag für jeweils 15 Minuten gekippt. In den Nachtstunden von 23.00 bis 6.00 Uhr wird die Lüftungsanlage im Schlafraum ausgeschaltet.

Die Verhältnisse in den Bauteilen des Zuluft- und des Abluftstranges unterscheiden sich von der Variante Übergang A, wo nicht über die Fenster gelüftet wird und die Lüftungsanlage ohne Unterbrechung betrieben wird, praktisch nicht.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April im Wohn- und im Schlafraum dargestellt.

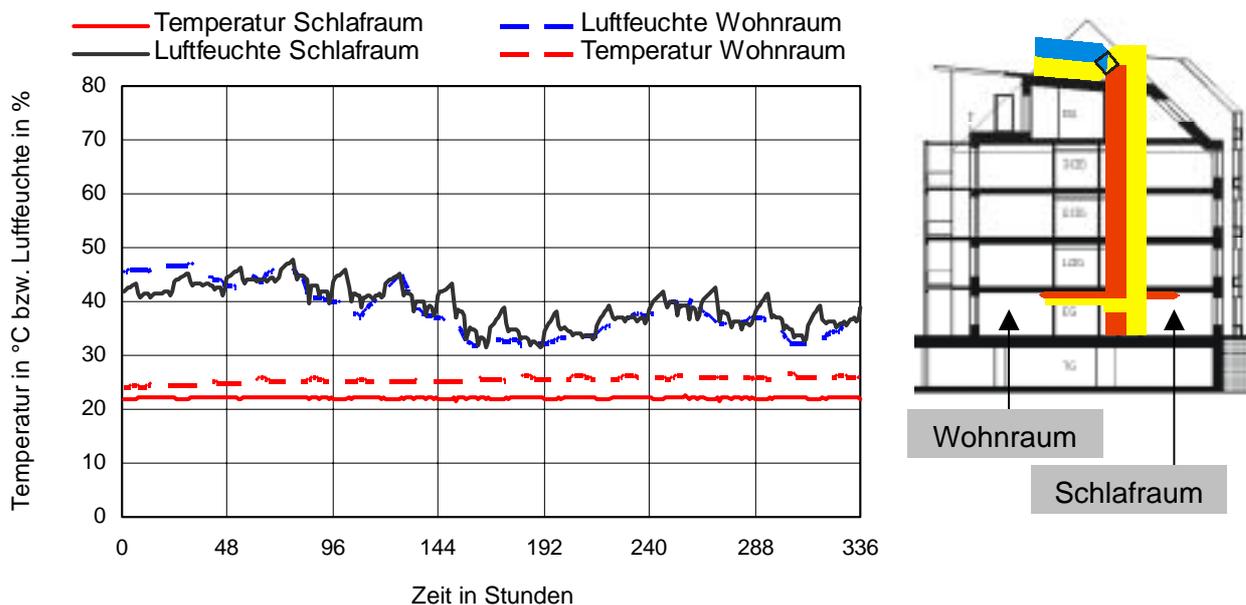


Abb. 77. Wohn- und Schlafraum

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. April in der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

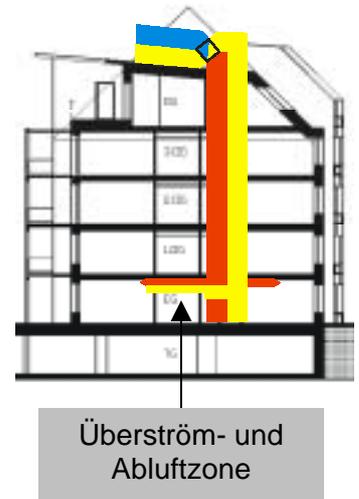
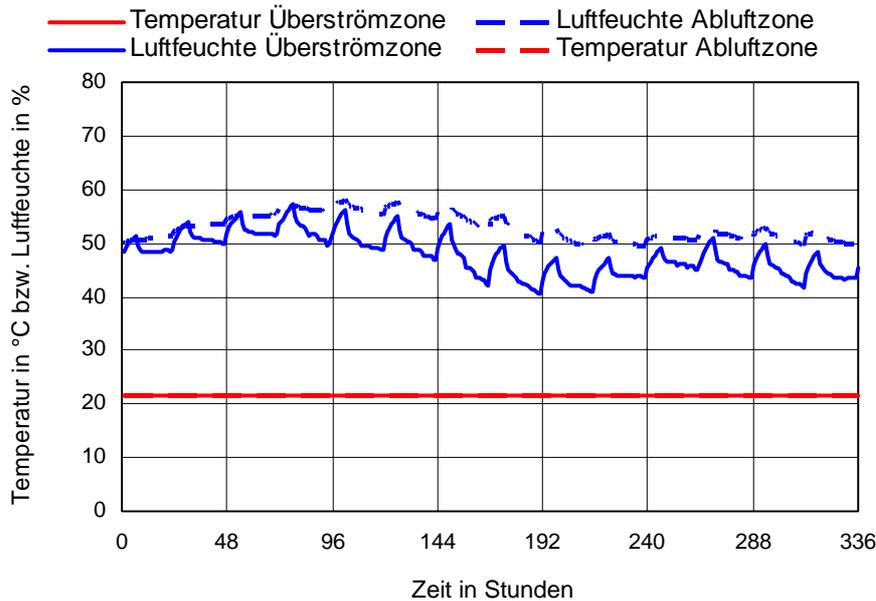


Abb. 78. Überström- und Abluftzone

### 6.1.3.7 Sommer A

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten des Außenbereichs vom 1. bis zum 14. Juni dargestellt. Die Bedingungen am Frostschutzregister und am Zulufffilter sind identisch.

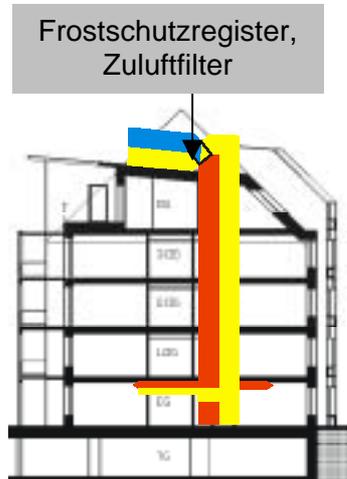
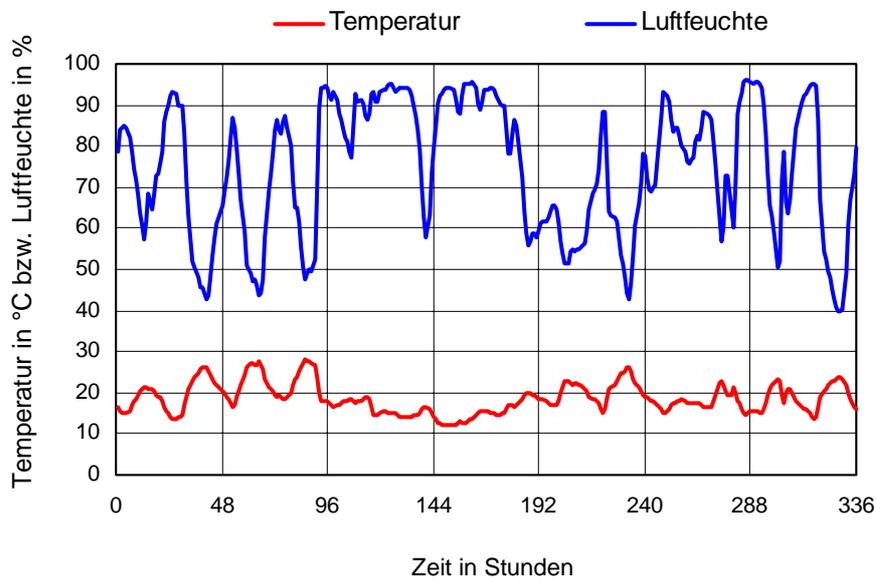


Abb. 79. Außenverhältnisse, Frostschutzregister und Zulufffilter

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Juni im Zuluft Hauptstrang dargestellt.

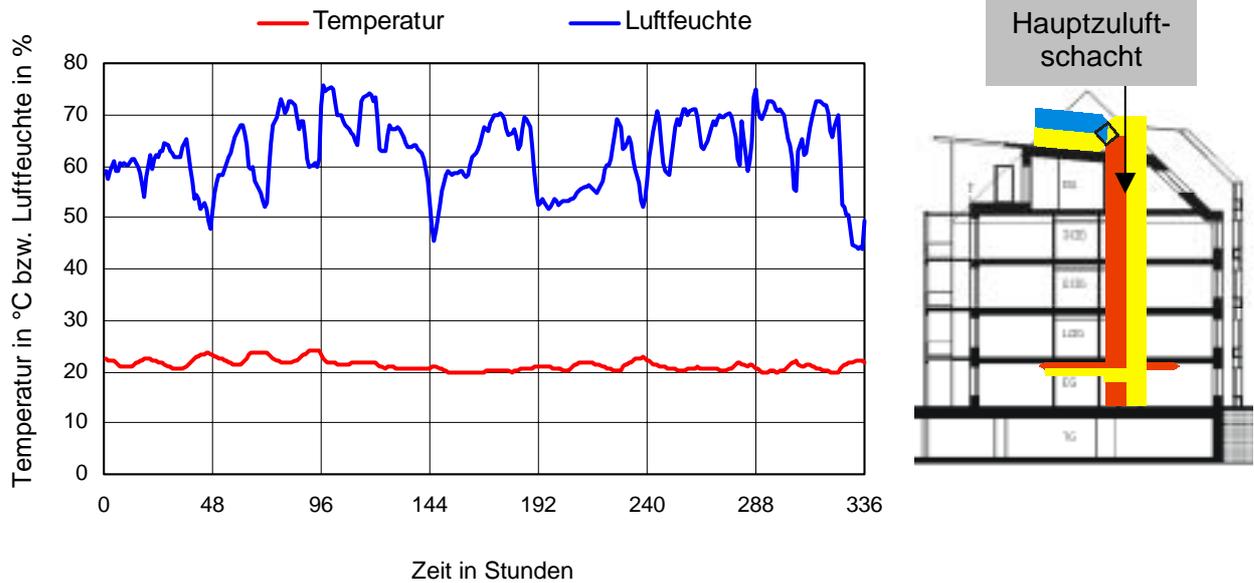


Abb. 80. Zuluft Hauptstrang

In der Zuluftleitung im Hauptschacht stellt sich wie auch aus vorhergehender Grafik ersichtlich eine Temperatur von ca. 21,3 °C ein und in der Abluftleitung ca. 21,7 °C. Die berechnete Temperatur im Haustechnikschacht liegt in dieser Sommerperiode bei ca. 21 °C.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Juni im Schalldämpfer des Zuluftstranges in der Wohnung dargestellt.

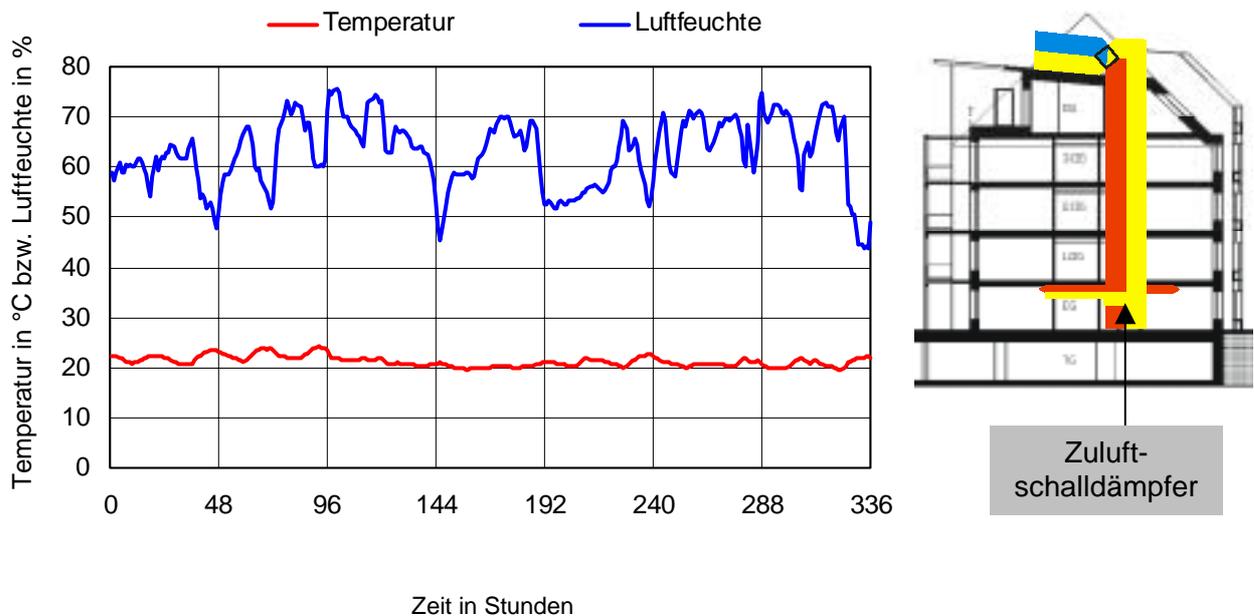


Abb. 81. Schalldämpfer des Zuluftstranges in der Wohnung

Die Temperatur im Schalldämpfer beträgt im Mittel bei 21,3 °C.

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Juni im Wohn- und im Schlafräum dargestellt.

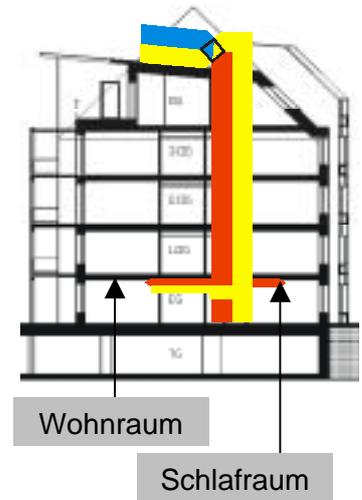
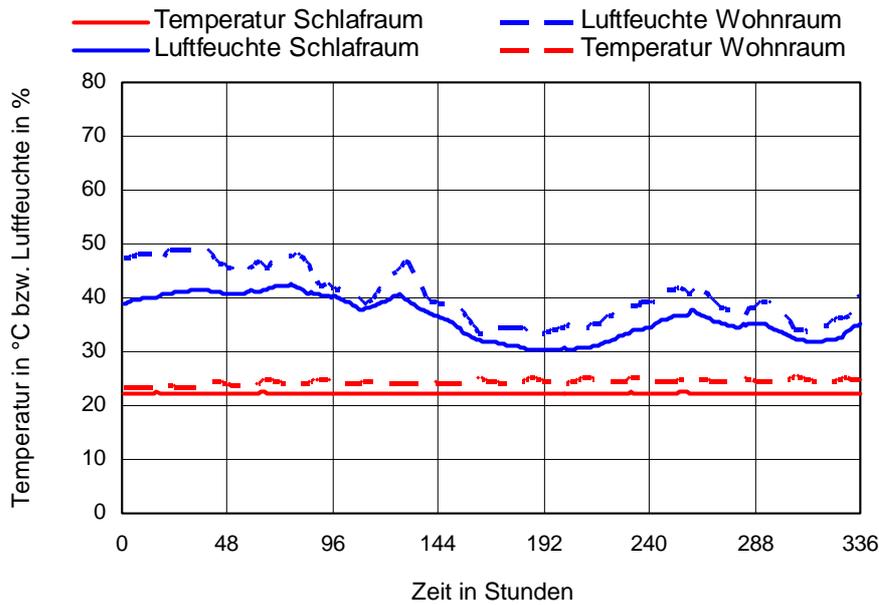


Abb. 82. Wohn- und Schlafräum

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Juni in der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

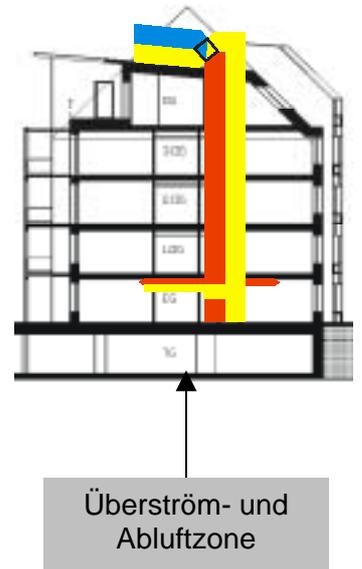
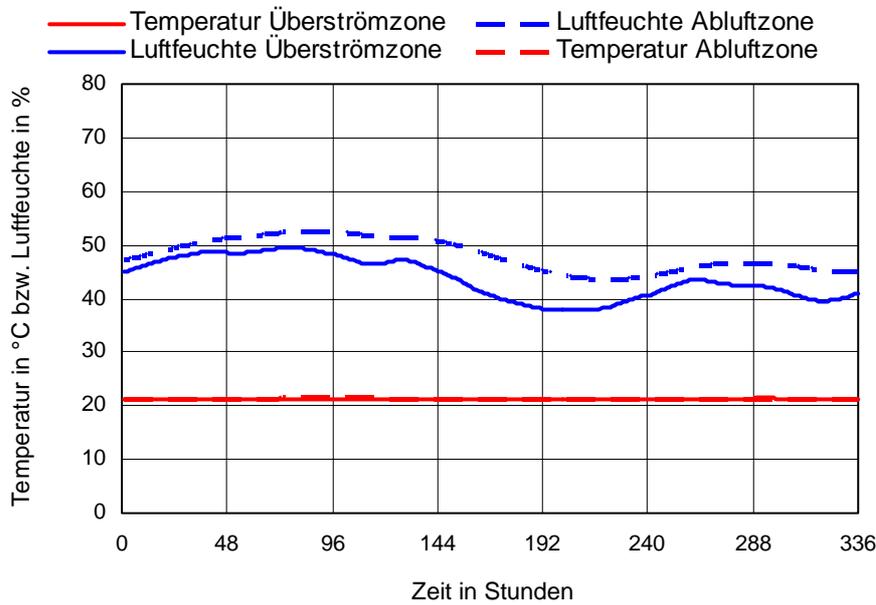


Abb. 83. Überström- und Abluftzone

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Juni in den Abluftfiltern der Überström- und der Abluftzone dargestellt.

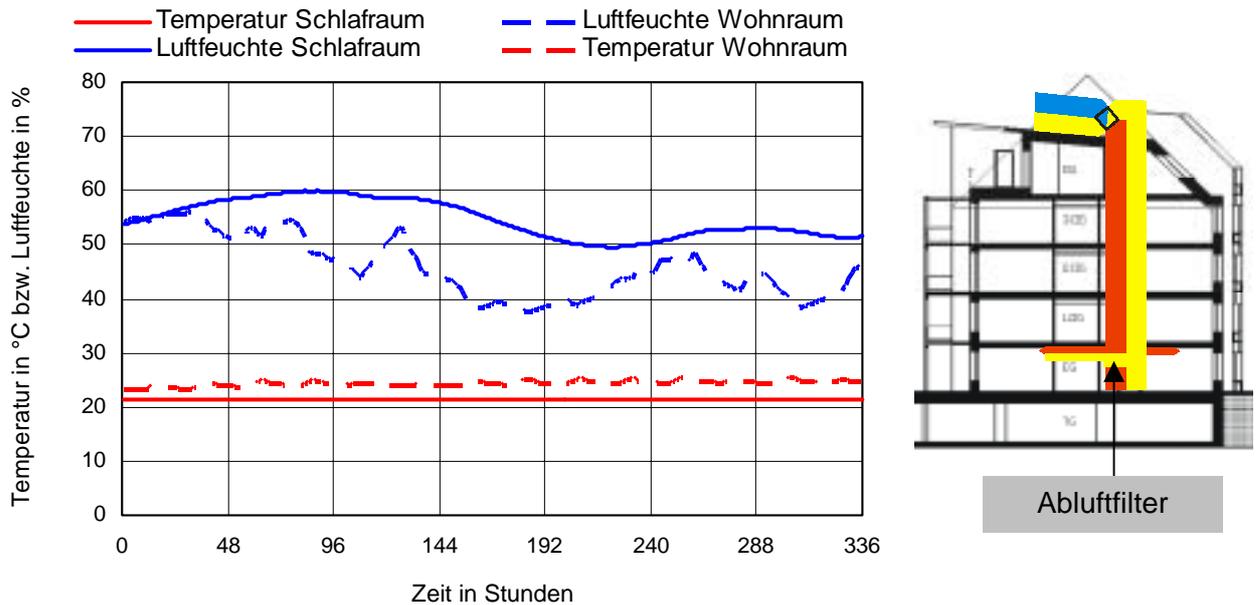


Abb. 84. Abluftfilter der Überström- und Abluftzone

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Juni im Schalldämpfer der Wohnung im Abluftstrang dargestellt.

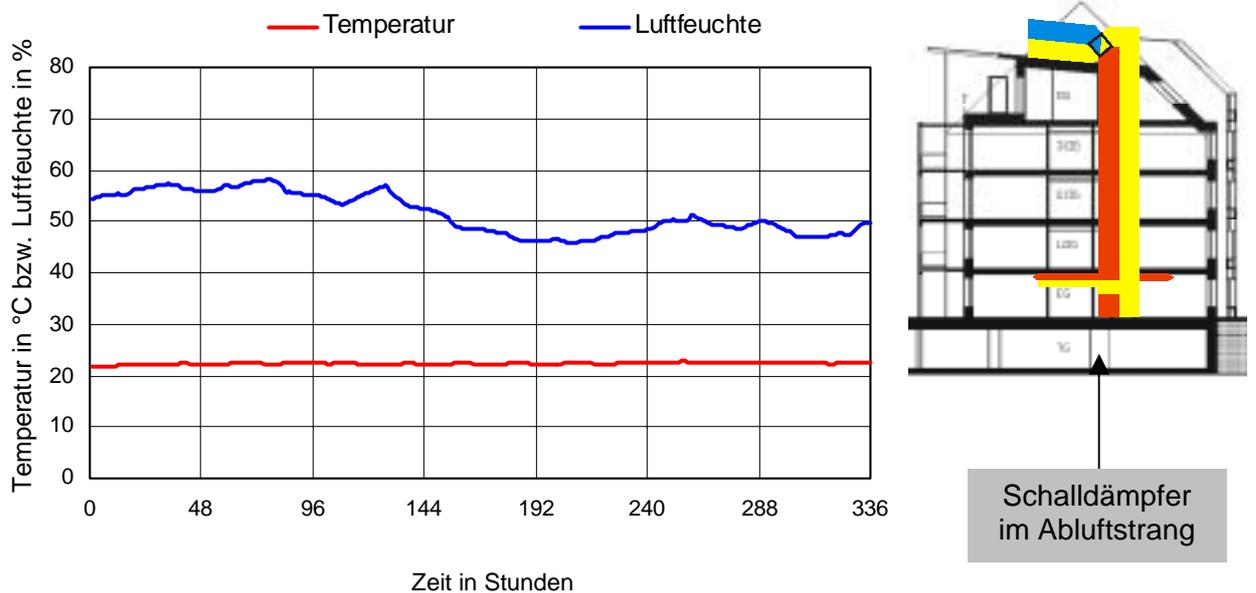


Abb. 85. Schalldämpfer im Wohnungsabluftstrang

In der folgenden Abbildung sind die Lufttemperaturen und die Luftfechtigkeiten vom 1. bis zum 14. Juni des Filters im Abluftstrang vor dem Wärmetauscher dargestellt.

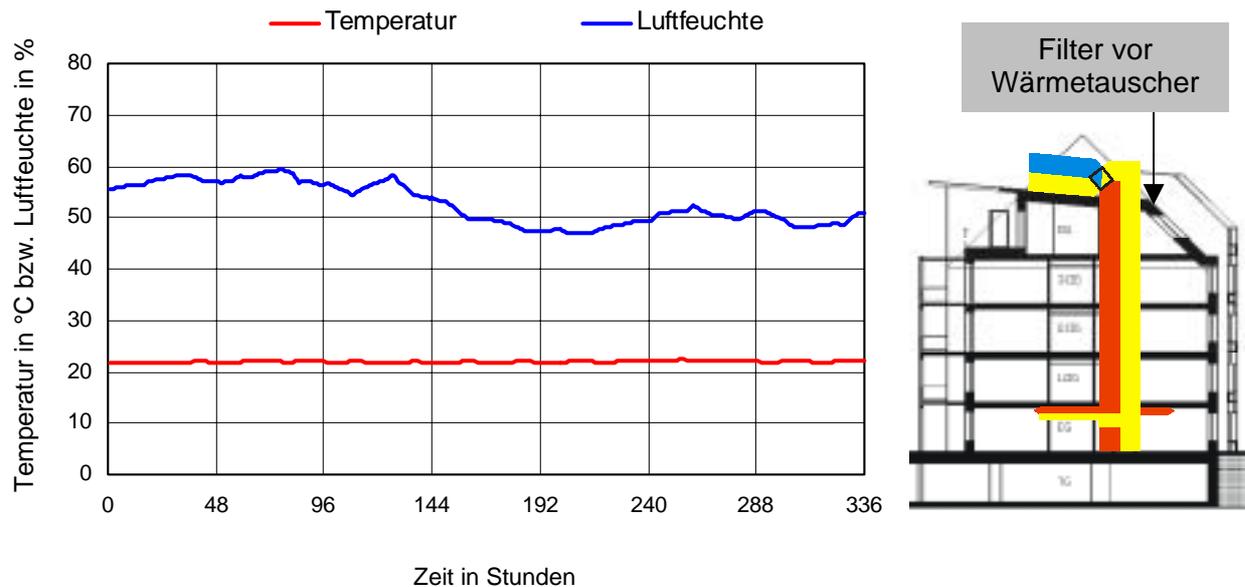


Abb. 86. Filter vor Wärmetauscher

### 6.1.3.8 Ergebnis

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass die thermisch hygrischen Zustände in den Anlagenkomponenten den Anforderungen der VDI 6022-3 [VDI02] entsprechen, wenn zusätzlich zum Filter vor dem Wärmetauscher ein weiterer Filter hinter dem Wärmetauscher angeordnet wird.

## 6.2 Zonensteuerung und Energiespardisplay

### 6.2.1 Zonensteuerung

Um die, wie bereits in Kapitel 2.1 ausgeführt, häufig gewünschten niedrigen Temperaturen in Schlafzimmern zu erreichen, muss eine Möglichkeit zur separaten Regelung der Temperatur in diesen Zimmern geschaffen werden.

Da im Passivhaus die benötigte Heizwärme über die Luft eingebracht wird und auf ein konventionelles Heizsystem verzichtet wird, kann dies einerseits durch eine Reduktion der eingebrachten Zuluftmenge oder durch eine Reduktion der Zulufttemperatur erfolgen. Im Folgenden sind zwei Varianten dargestellt, wie dies erfolgen könnte. Zu bedenken ist, dass die angrenzenden Räume bei Absenkung der Temperatur im Schlafzimmer dann eine höhere Raumtemperatur als das Schlafzimmer aufweisen und somit über die Zwischenwände zur Beheizung des Schlafzimmers beitragen. Aus diesem Grund sind dem Absenken der Raumtemperatur im Schlafzimmer Grenzen gesetzt.

#### Variante A:

In der Variante A wird die ins Schlafzimmer eingebrachte Luftmenge und somit die eingebrachte Heizlast reduziert, während die Zulufttemperatur gleich wie die Zulufttemperatur in den anderen zu versorgenden Räumen bleibt. Zu diesem Zweck wird im Zuluftkanal des Schlafzimmers eine Regelklappe installiert. Die Regelung der Klappe erfolgt über einen Thermostaten, der im Schlafzimmer angebracht. Um den hygienischen Mindestluftwechsel zur gewährleisten muss bei der Regelklappe eine minimale Luftmenge vorgegeben sein. Aus dieser minimalen Luftmenge ergibt sich auch eine minimal eingebrachte Heizleistung, wodurch die minimal erreichbare Temperatur nach unten hin begrenzt wird (unabhängig von geöffneten Fenstern).

**Variante B:**

Bei der Variante B wird nicht die eingebrachte Luftmenge, sondern die Zulufttemperatur verringert. Da im vorliegenden Konzept die gesamte Zuluft einer Wohneinheit durch ein einzelnes Nachheizregister auf dieselbe Temperatur erhitzt wird, besteht nur die Möglichkeit, die Zuluft des Schlafzimmers vor dem Nachheizregister abzuziehen und somit ohne Nacherwärmung ins Schlafzimmer einzublasen. Durch die hocheffiziente Wärmerückgewinnung liegt die minimale Temperatur der Zuluft auch ohne Nachheizung bei etwa 17 °C. Aufgrund der niedrigen Luftgeschwindigkeiten (< 0,1 m/s) sind diese Zulufttemperaturen durchaus zulässig, ohne dass Probleme mit Zuglufterscheinungen auftreten. Zum Einbringen der Heizwärme, für die die Zuluft nun nicht mehr zur Verfügung steht, wird eine Wandflächenheizung oder ein konventioneller Heizkörper vorgesehen. Der Anschluss der Wandflächenheizung oder des Heizkörpers erfolgt an das für das Nachheizregister sowieso vorgesehene Heizungsnetz.

Bei dieser Variante sind niedrigere Temperaturen als bei Variante A möglich, da die Heizwärmezufuhr durch Abdrehen des Heizkörpers oder der Flächenheizung komplett unterbunden werden kann.

Die Regelung des Heizkörpers oder der Flächenheizung kann über einen Thermostaten oder über Thermostatventile erfolgen.

Die zusätzlichen Kosten für die zusätzlichen Heizflächen und den By-Pass der Zuluft des Schlafzimmers liegen bei etwa 350 Euro/Wohneinheit.

**6.2.2 Energiespardisplays**

Auf den Energiespardisplays können die Verbräuche der einzelnen Medien von den jeweiligen NutzerInnen abgelesen werden. Dadurch soll versucht werden, einen bewussteren Umgang mit der Energie zu ermöglichen und somit die Motivation zur Reduktion der Energieverbräuche zu erhöhen. In Tab. 31 sind mögliche Anzeigen am Display aufgelistet. Für die NutzerInnen besteht die Möglichkeit durch geeignete Menüführung die einzelnen Parameter am Display abzurufen.

Parameter	Einheit
Allgemeine Parameter	
Außentemperatur	°C
relative Feuchte der Außenluft	% rel. Feuchte
Raumtemperatur	°C
Zulufttemperatur	°C
Zuluftvolumenstrom	m <sup>3</sup> /h
Heizwärmeverbrauch	
Aktuelle bezogene Heizwärme	W
Heizenergieverbrauch	kWh
Heizkosten	Euro
Warmwasserverbrauch	
Warmwasserverbrauch	m <sup>3</sup>
Kosten für Warmwasser	Euro
Kaltwasserverbrauch	
Kaltwasserverbrauch	m <sup>3</sup>
Kosten für Kaltwasser	Euro
Haushaltsstromverbrauch	
Aktuell bezogener Strom	kW
Haushaltsstromverbrauch	kWh
Kosten für Haushaltsstromverbrauch	Euro

Tab. 31. Mögliche Anzeigen am Energiespardisplay

Zur Auswahl für die Energiespardisplays stehen einerseits Displays die über Tasten bedient werden können und andererseits Touchdisplays zur Verfügung. Die Bedienung der Displays erfolgt bei der Wahl von Touchdisplays dann nicht über Tasten, sondern durch Berühren des Displays bzw. „Bildschirms“.

Beim Einbau von Energiespardisplays ist es sinnvoll das Steuergerät für das Display nicht nur zur Datenerfassung für die Anzeige am Display und zur statistischen Auswertung (z.B. Betriebszeiten der Ventilatoren) zu verwenden, sondern gleichzeitig zur Steuerung bzw. Regelung der Ventilatoren und des Heizregisters einzusetzen.

Sinnvoll ist der Einsatz einer zentralen Steuer- und Regelungseinheit für alle Wohneinheiten. An diese zentrale Steuer- und Regelungseinheit sind die einzelnen Wohneinheiten über einen Feldbus angeschlossen. Der Vorteil der zentralen Steuer- und Regelungseinheit und der Vernetzung der einzelnen Wohneinheiten über den Feldbus liegt darin, dass bestimmte Daten, wie z. B. die Außentemperatur, nur einmal erfasst werden müssen und dann an alle Wohneinheiten weitergeleitet werden können. Zusätzlich sind die Kosten bei einer eigenen Steuer- und Regelungseinheit pro Wohneinheit höher als bei einer zentralen Steuer- und Regelungseinheit für alle Wohneinheiten.

Aus der Sicht der energiesparenden Verbräuche und der Motivation zu einem bewussteren Umgang betreffend Energie- bzw. Wasserverbrauch ist die Installation von Energiespardisplays jedenfalls zu empfehlen, wobei jedoch letztendlich auch die zusätzlichen Investitionskosten zu berücksichtigen sind.

## 6.3 Warmwasserbereitung und Heizwärmeversorgung

### Einleitung

Im Passivhaus stellt der Energieverbrauch zur Warmwasserbereitung den höchsten Einzelposten dar. In [FE196a] sind die folgenden Maßnahmen angeführt, mit denen sich der Energiebedarf zur Warmwasserbereitung spürbar senken lässt.

- Alle warmwasserführenden Leitungen sollten grundsätzlich innerhalb des beheizten Raumes verlegt sein und das Warmwasserleitungsnetz sollte insgesamt möglichst kurze Leitungslängen aufweisen.
- Nach Möglichkeit sollten auch die Warmwasserspeicher in beheizten Räumen liegen.
- Sollten Leitungen bzw. Speicher außerhalb der wärmegeämmten Hülle verlegt werden, müssen diese sehr gut wärmegeämmmt werden.
- Auch Warmwasserleitung und Brauchwasserspeicher innerhalb der geämmten Hülle müssen wärmegeämmmt werden, um einerseits Wärmeverluste zu verringern und andererseits ein Aufheizen des Gebäudes im Sommer zu verhindern.

Neben einer energieoptimierten Auslegung und Dimensionierung der Warmwasserbereitung ist natürlich auch eine aus hygienischer Sicht optimierte Ausführung notwendig. Insbesondere muss bei der Warmwasserbereitung die Legionellenproblematik berücksichtigt werden.

## Untersuchung

Im Gegensatz zum Heizwärmebedarf lässt sich der Warmwasserbedarf in Passivhäusern verglichen mit Standardhäusern kaum reduzieren. Ein weiterer wesentlicher Unterschied ist, dass der Warmwasserwärmebedarf über das ganze Jahr annähernd konstant ist (leichte Abnahme im Sommerhalbjahr), während der Heizwärmebedarf ausschließlich im Winter auftritt.

Der Tagesverlauf des Warmwasserverbrauchs ist individuell stark unterschiedlich, da der Kurz-Zeit-Hauptverbraucher Dusche/Bad stark in den Tagesverbrauch eingeht. Aus diesem Grund ist kaum eine sichere Prognose möglich, was für die Planung der Anlagen bedeutet, dass diese in der Regel überdimensioniert sind [FEI96d].

Je größer die Anzahl der von einer zentralen Anlage versorgten Wohneinheiten ist, umso geringer wird die Bedeutung dieser Entnahmespitzen bei der Auslegung der Anlage. Die Anzahl der Wohneinheiten, die von einer zentralen Warmwasserbereitung versorgt wird, wird bei der Dimensionierung durch den Gleichzeitigkeitsfaktor berücksichtigt.

Warmwasserzapftemperaturen liegen im Allgemeinen je nach Verwendungszweck bei 35 bis 45 °C (z. B. Duschen 35 - 38 °C; Küche 45 °C). Daraus ergibt sich, unter der Voraussetzung, dass die mindestens durch die Anlage bereitzustellende Temperatur der maximalen Zapftemperatur entspricht, eine minimale Warmwassertemperatur von 45 °C. Der Warmwasserverbrauch pro Person und Tag liegt bei etwa 55 Litern mit 45 °C oder 40 Litern bei 60 °C.

In Bezug auf die Trinkwarmwasserbereitung muss, wie bereits oben angeführt, auf jeden Fall die Legionellenproblematik berücksichtigt werden.

## Varianten zur Bereitstellung

Als Wärmequellen kommen in Passivhäusern alle gängigen Brennstoffe in Frage. Beispielsweise können Gasbrennwertthermen, Holzpelletsöfen oder auch Fernwärme eingesetzt werden. Besonders geeignet ist die gruppenweise Versorgung mehrerer Wohneinheiten, da dadurch die zur Brauchwassererwärmung notwendige Spitzenleistung reduziert wird, weil nicht alle Parteien gleichzeitig Warmwasser benötigen. Ein weiterer Vorteil der gruppenweisen Versorgung liegt in der kostengünstigen Möglichkeit Solarenergie einzukoppeln.

Theoretisch ist auch eine direktelektrische Heizung bzw. Warmwasserbereitung denkbar. Derartige Anlagen zeichnen sich durch sehr niedrige Investitionskosten im Vergleich zu den anderen Systemen aus, können aber in den meisten Fällen in Passivhäusern nicht eingesetzt werden, weil aufgrund des hohen Primärenergiefaktors von Strom das primärenergetische Kriterium für Passivhäuser (Primärenergieverbrauch < 120 kWh/m<sup>2</sup>.a) nicht erfüllt werden kann.

Speicher [FEI96e]:

1. Das klassische System zur Bereitstellung besteht aus einem Warmwasserspeicher, der durch die Heizung aufgeheizt wird. Im Gegensatz zum Einsatz dieses Konzeptes in Einfamilienhäusern ist im Geschosswohnungsbau eine Zirkulationsleitung erforderlich, die nahezu ständig in Betrieb sein muss. Eine Unterbrechung ist meist nur in den Nachtzeiten möglich und muss von den Nutzern akzeptiert werden. Um die Speicherverluste zu begrenzen sollten die Speichertemperaturen auf möglichst niedrige Temperaturen (45 - 55 °C) eingestellt werden. Um den Anforderungen bezüglich der Legionellenproblematik gerecht zu werden müssen die Speicher und auch die Zirkulationsleitung jedoch regelmäßig auf 60 - 65 °C aufgeheizt werden, da bei diesen Temperaturen die Legionellen abgetötet werden können.

Als Speicher können verschiedene Varianten zum Einsatz kommen:

- A Standspeicher mit eingebautem Wärmetauscher
- B Standspeicher mit Ladewärmetauscher
- C Standspeicher Einströmröhre/Schichtentladung mit externem Wärmetauscher

2. Als Alternative zu Variante 1 kann ein Warmwasserspeicher unter Einbeziehung von Solarenergie eingesetzt werden.
3. Eine weitere Variante stellt ein System mit Durchlaufwärmetauschern dar. Die Warmwassererwärmung erfolgt in diesem Fall bedarfsweise je Wohneinheit über einen Plattenwärmetauscher, der von einem Heizkreislauf mit Wärme versorgt wird. Im Gegensatz zu den oben beschriebenen Trinkwasserspeichersystemen enthält der Pufferspeicher in dieser Variante Heizungswasser. Um eine Entnahmetemperatur von 45 °C nach dem Wärmetauscher sicherzustellen, ist im Vorlauf des Heizkreises eine Temperatur von ca. 65 °C erforderlich. Bezüglich der Legionellenproblematik ist diese Variante als günstig einzustufen.

### Warmwasserverteilung

Die Wärmeverteilung (Heizung und Warmwasser) innerhalb des Gebäudes kann einerseits durch ein so genanntes Zweileitersystem erfolgen, an das in jeder Wohneinheit das Nachheizregister und ein Gegenstromwärmetauscher zur Brauchwassererwärmung angeschlossen sind.

Eine andere Variante besteht in einem Vierleitersystem (Heizungsvor- und rücklauf, Warmwasser- und Zirkulationsleitung) mit zentralem Brauchwarmwasserspeicher vgl. [FEI98].

Der Vorteil des Zweileitersystems besteht darin, dass die Investitionskosten etwas geringer sind, weil statt vier (gedämmten) Rohrleitungen nur zwei benötigt werden. Zusätzliche Investitionen sind die Plattenwärmetauscher, die in jeder Wohneinheit notwendig sind.

Durch die Notwendigkeit dieser Plattenwärmetauscher ergibt sich die Anforderung, dass die Temperatur im Heizungsvorlauf ganzjährig mindestens 65 °C beträgt. Durch diese höheren Vorlauftemperaturen erhöhen sich einerseits die Wärmeverluste in den Rohrleitungen und Speichern und andererseits verringert sich der Wirkungsgrad der Brennkessel. Je niedriger die Rücklauftemperaturen sind, desto vollständiger läuft die Kondensation und damit kann der volle Brennwert des Gases ausgenutzt werden. Bezüglich der Legionellenproblematik ist diese Variante als günstig einzustufen.

Unterschiede bei den Investitionskosten ergeben sich einerseits dadurch, dass beim Zweileitersystem statt vier (gedämmten) Rohrleitungen nur zwei benötigt werden. Demgegenüber steht die zusätzliche Investition für die Wärmetauscher zur Brauchwassererwärmung in jeder Wohneinheit. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kostenvergleiche für die beiden Varianten einerseits für die Summe der 38 Wohneinheiten und andererseits pro m<sup>2</sup> dargestellt, wobei nur die Kosten für die jeweils unterschiedlichen Komponenten angegeben sind.

	Kosten für 38 WE	Kosten pro m <sup>2</sup>
2 – Leiter System (Wärmetauscher zur Brauchwassererwärmung)	5.700 Euro	2,06 Euro/m <sup>2</sup>
4 – Leiter System (zusätzliche Rohrleitung inkl. Dämmung etc.)	6.000 Euro	2,17 Euro/m <sup>2</sup>
Kostendifferenz	300 Euro	0,11 Euro/m <sup>2</sup>

Tab. 32. Kostenvergleich Warmwasserbereitung

Wie aus der Tabelle ersichtlich wird, sind die Kostenunterschiede (etwa 300 Euro für das gesamte Objekt) insbesondere im Vergleich zu den Gesamtbaukosten vernachlässigbar.

Da im vorliegenden Projekt ein Brennwertkessel eingesetzt wird und, wie oben gezeigt, die Erhöhung der Investitionskosten vergleichsweise gering ist, wurde das Vierleitersystem gewählt.

### **Ergebnis Warmwasserbereitung / -verteilung:**

*Zur zentralen Wärmeerzeugung für Heizung und Brauchwarmwasserbereitung wird ein gemeinsamer Gasbrennwertkessel mit Brauchwarmwasserspeicher verwendet. Die Brauchwarmwasserverteilung erfolgt über die Zirkulationsleitung und Zirkulationspumpe (gesteuert über Zeitschaltuhr). Mit dem Heizungswarmwasser (Pumpenwarmwasser) erfolgt die Versorgung der dezentralen Nachheizregister.*

### **Übersicht von Gasbrennwertthermen**

In der nachfolgenden Tabelle wird eine Zusammenstellung von Gasbrennwertkesseln bzw. Gasbrennwertthermen verschiedener Hersteller gegeben. Mittlerweise ist die Zahl der Hersteller derartiger Anlagen schon recht groß, sodass die nachfolgende Tabelle keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Anbieter	Modell	Leistungsbereich	Normnutzungsgrad <sup>21</sup>
Buderus	Logano plus Sb 315 <sup>22</sup>	20,3 – 50 kW	~ 108 %
Brötje Heizung	Eurocodens SGB 40	16 – 40 kW	≤ 109 %
	Eurocodens SGB 65	26 – 65 kW	≤ 109 %
	Eurocodens SGB 90	36 – 90 kW	≤ 109 %
Giersch	GigaStar 30	8,4 – 28 kW	≤ 109,9 %
	GigaStar 45	8 – 40 kW	≤ 110 %
Hoval	Ultra Gas UG-M		≤ 109 %
Hydrotherm	HZA 25	5,3 – 25,4 kW	≤ 108 %
Intercal	Ecoheat Plus GWT 28	7 – 28 kW	107 %
	Ecoheat GW 24	12,2 – 26,3 kW	
Junkers	Suprapur	11 – 42 kW	~ 108 %
MAN Heiztechnik	Midimat MD 120	11 – 120 kW	≤ 109 %
	Midimat HT	44 – 329 kW	≤ 109 %
Rapido	GAK 110 E	8,7 – 23,9 kW	
	Ecompact 45	15,1 – 50,5 kW	~ 109 %
Therma-Tec	Therma-Nova 2025	8 – 25 kW	≤ 108 %
Vaillant	Ecovit VKK 476	16,6 – 47,6 kW	≤ 109 %
	Ecovit VKK 376	12,7 – 36,9 kW	≤ 109 %
Viessmann	Vitocrossal 300	9 – 71 kW	≤ 109 %
Windhager	Genio 400	8,9 – 43 kW	≤ 109 %
	Genio 600	13,3 – 65 kW	≤ 110 %
Wolf	TopCom TGB-60	21,9 – 55,4 kW	
	TGB-K20	8 – 25 kW	

Tab. 33. Auswahl von Anbietern von Gasbrennwertkesseln bzw. Gasbrennwertthermen

Ein Maß für die Ausnutzung der im Brennstoff enthaltenen Energie ist der in der vorigen Tabelle angegebene Normnutzungsgrad. Der Normnutzungsgrad wird auf einem Prüfstand

<sup>21</sup> Die Nutzungsgrade sind unter anderem sehr stark von den tatsächlichen Betriebsbedingungen (Abgastemperatur, Heizungsvor- bzw. Heizungsrücklauftemperatur) abhängig und sollen nur einen Anhaltspunkt liefern.

<sup>22</sup> Kesselgröße 50

aus fünf Teillastnutzungsgraden (12,8%, 30,3%, 38,8%, 47,6% und 62,6%) ermittelt. Er ist für Brennwertkessel größer als 100 %, da er auf den unteren Heizwert des zugeführten Brennstoffs bezogen ist. Die wasserseitige Spreizung der Vor- und Rücklauftemperatur ist bei der Bestimmung des Normnutzungsgrades für Brennwertkessel mit 40/30 °C festgelegt.

Weitere wesentliche Punkte, die außer dem Normnutzungsgrad bei der Auswahl des Kessels bzw. Speichers berücksichtigt werden müssen, sind beispielsweise der Bereitschaftswärmeaufwand des Kessels und die Bereitschaftsenergieverluste des Speichers.

### **Vorschläge zur Nutzung der Fernwärme**

Bei der Versorgung von Passivhäusern mit Energie aus leitungsgebundenen Netzen wie Erdgas und vor allem Fernwärme besteht das Problem, dass hohe Investitionskosten zur Errichtung der Fernwärmeanschlüsse niedrigen Verbräuchen gegenüberstehen.

Eine Möglichkeit zur optimierten Nutzung der Fernwärme besteht darin, nicht den Fernwärmeverlauf mit dem für Passivhäuser unnötig hohen Temperaturniveau, sondern den Fernwärmerücklauf zu nutzen.

Für genauere Überlegungen zur Nutzung der Wärme des Rücklaufstranges muss das Temperaturniveau bekannt sein. Dieses Temperaturniveau ist abhängig vom Standort. Für den Fall, dass die Temperatur des Fernwärmerücklaufs über das gesamte Jahr ausreichend hoch ist (d.h. mindestens 70 - 75 °C, siehe unten) ist die Verwendung der Wärme aus dem Rücklauf für den Betreiber des Fernwärmenetzes und damit auch für die Energieversorgung eines Passivhauses eine kostengünstige Variante.

Ein wesentliches Kriterium für das Temperaturniveau ist, dass durch die Temperatur im Fernwärmerücklauf ein zumindest kurzzeitiges Aufheizen des Warmwassers auf 65 °C ermöglicht wird, um hygienische Probleme bei der Warmwasserbereitung, insbesondere betreffend die Legionellenproblematik, zu vermeiden bzw. zu unterbinden. Um dies sicherzustellen muss das Temperaturniveau im Fernwärmerücklauf zumindest bei 70 bis 75 °C liegen.

Im konkreten Projekt „Utendorfgasse“ kann keine Fernwärme genutzt werden, da in diesem Gebiet keine Fernwärmeanschlussmöglichkeit besteht.

### **Wärmedämmung der Rohrleitungen**

Jene Rohrleitungen, die warmes Wasser führen (Warmwasserleitung, Warmwasserzirkulationsleitung und Heizungsvor- und Rücklauf), müssen auf jeden Fall gedämmt werden, auch wenn sie zum Großteil im gedämmten Bereich des Hauses verlaufen.

Der Grund dafür liegt nicht nur darin, dass die Verluste reduziert werden sollen, sondern auch um eine Aufheizung des Gebäudes im Sommer zu vermeiden. Zusätzlich wird bei der Auslegung des Warmwassernetzes und der Zirkulationsleitung darauf geachtet, die Leitungslängen so kurz wie möglich zu halten.

In Abb. 87 sind beispielhaft die spezifischen Wärmeverluste in W/K und Meter Rohrleitung in Abhängigkeit von der verwendeten Dämmstärke für eine Warmwasserrohrleitung DN 32 dargestellt. Es wird ersichtlich, dass zunächst durch eine Vergrößerung der Dämmstärke die Wärmeverluste sehr stark reduziert werden können. Die Abnahme der Verluste wird ab einer bestimmten Dämmstärke immer geringer. Beispielsweise hat eine Verdoppelung der Dämmstärke von 50 auf 100 mm nur mehr eine geringfügige Abnahme der spezifischen Wärmeverluste zur Folge.

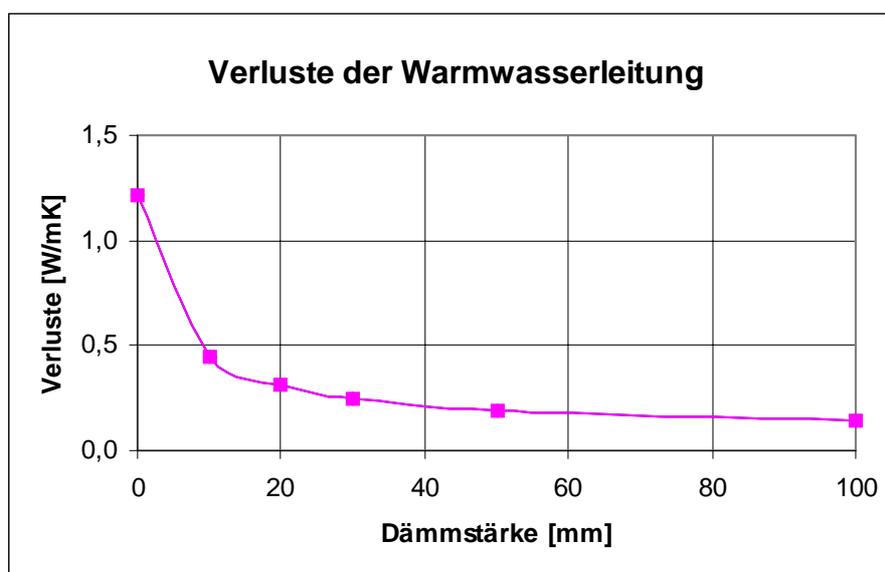


Abb. 87. Wärmeverluste der Warmwasserleitung

Als Faustregel kann für die optimale Dämmstärke etwa der doppelte Rohrdurchmesser angesehen werden, wobei Abweichungen im konkreten Fall natürlich zulässig sind.

**Ergebnis Dämmstärke Warmwasserleitungen:**

Die optimale (Verhältnis Wärmeverluste zu Kosten) Dämmstärke für die Warmwasserleitungen liegt im konkreten Fall (DN 32) somit bei etwa 50 mm.

## 6.4 Elektrische Energie

Durch den stark reduzierten Verbrauch an Heizwärme wird der Bedarf an elektrischer Energie zum größten Endenergiebedarf.

Zur Reduktion des Stromverbrauchs in Lüftungsanlagen werden hocheffiziente Ventilatoren mit elektronisch kommutierten Gleichstrommotoren eingesetzt. Außerdem wird bei der Auslegung des Rohrleitungsnetzes inkl. der Einbauten und Formstücke versucht, den Druckverlust so gering wie möglich zu halten, wodurch ebenfalls der Stromverbrauch der Lüftungsanlagen begrenzt wird.

Zusätzlich können Warmwasseranschlüsse für Wasch- und Spülmaschinen vorgesehen werden, wodurch zwar der Warmwasserverbrauch erhöht wird, der Stromverbrauch jedoch deutlich reduziert wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduktion des Stromverbrauchs liegt im Einsatz von energieeffizienten Haushaltsgeräten und energiesparender Beleuchtungstechnik. Da die elektrischen Geräte im Allgemeinen von den Nutzern selbst angeschafft werden, sollten Anreize geschaffen werden, um den Erwerb energieeffizienter Haushaltsgeräte zu forcieren.

Auf jeden Fall sollte eine qualifizierte Beratung und entsprechendes Informationsmaterial zu den Vorteilen effizienter Haushaltsgeräte angeboten werden (z. B. Liste mit besonders effizienten Haushaltsgeräten). Eine weitere Möglichkeit besteht darin, für den Mieter finanzielle Anreize zu schaffen, um die Anschaffung energieeffizienter Geräte zu forcieren.

Quellen für energieeffiziente Geräte:

<http://www.energiesparende-geraete.de>

<http://www.impulsprogramm.de/html/haushalt/haushalt1.htm>

<http://www.energielabel.de> (speziell für Bürogeräte)

## 6.5 Primärenergiebedarf

Eines der Kriterien für Passivhäuser ist der Primärenergiebedarf. Als Grenzwert für den spezifischen Primärenergieeinsatz<sup>23</sup> für alle Energieaufwendungen wie Heizung, Warmwasser, Hilfsstrom für die Lüftungsanlage und Haushaltsstrom wird vom Passivhaus Institut der Wert von 120 kWh/(m<sup>2</sup>a) angegeben.

Der Primärenergiebedarf gibt an, welcher Gegenwert an Energieträgern, z.B. Rohgas, Braunkohle, etc. insgesamt gefördert werden muss, um die betrachtete Dienstleistung, beispielsweise 1 kWh elektrische Energie beim Endverbraucher, zu erbringen.

In der nachfolgenden Tabelle ist der zu erwartende Primärenergiebedarf für die Utendorf-gasse zusammengestellt. Die, für die Berechnung verwendeten Primärenergiefaktoren stammen aus dem Cepheus-Endbericht [SCH01]. Die angeführten Primärenergiefaktoren sind mittlere Werte. Im Einzelfall können diese Werte von den tatsächlichen Gegebenheiten, z.B. Energiemix des lokalen Energieversorgungsunternehmens, deutlich abweichen.

Verbraucher	Medium	Verbrauch kWh/m <sup>2</sup> .a	Primärenergiefaktor kWh <sub>Prim</sub> /kWh <sub>End</sub>	Primärenergieverbrauch kWh <sub>Prim</sub> /m <sup>2</sup> .a
Wärme für Heizung	Gas	14,49	1,15	16,70
Wärme für Warmwasserbereitung	Gas	30	1,15	34,50
Elektrische Energie für Hilfsstrom Lüftung, Heizung und Warmwasser	Strom	6	2,5	15,00
Elektrische Energie für Haushaltsstrom	Strom	21	2,5	52,50
<b>Gesamtprimärenergiebedarf</b>				<b>118,70</b>

Tab. 34. Primärenergiebedarf Utendorf-gasse

Aus der Tab. 34 ist ersichtlich, dass der Stromverbrauch für mehr als die Hälfte des Primärenergiebedarfs verantwortlich ist. Voraussetzung zur Erreichung der oben angegebenen Stromverbräuche und somit auch des berechneten Primärenergiebedarfs ist der Einsatz von energieeffizienten Geräten in den Haushalten.

### Ergebnis

*Der spezifische Primärenergieeinsatz von  $\leq 120$  kWh / (m<sup>2</sup>a), ein Kriterium für Passivhäuser, wird beim Projekt Utendorf-gasse eingehalten.*

<sup>23</sup> Primärenergiebedarf bezogen auf die Energiebezugsfläche.

## 7 Thermische und Akustische Qualität

### 7.1 Thermische Qualität

#### 7.1.1 Konstruktionsaufbauten

In der folgenden Tabelle sind die für das Passivhaus in der Utendorfgasse verwendeten Konstruktionen aufgelistet.

Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Außenwand</b>	Dünnputz	0,5	0,129
	Wärmedämmung ( $\lambda = 0,04$ W/mK)	30	
	Stahlbeton	20	
<b>Oberste Geschossdecke</b>	Dachhaut	-	0,098
	Z-Pfetten u. Wärmedämmung	45	
	Stahlbeton	18	
<b>Decke unter Dachterrassen</b>	Plattenbelag u. Abdichtung	7	0,129
	Wärmedämmung ( $\lambda = 0,04$ W/mK)	30	
	Stahlbeton	20	
<b>Wohnungstrennendecke</b>	Bodenbelag, Estrich 5 cm	7	0,770
	Trittschalldämmung	4	
	Ausgleichschicht u. Stahlbeton	20	
<b>Wohnungstrennwand und Stiegenhaustrennwand</b>	Gipskartonplatte	1,5	0,623
	Wärmedämmung ( $\lambda = 0,04$ W/mK)	5	
	Stahlbeton	20	
<b>Decke zur Tiefgarage</b>	Estrich 10 cm, Bodenbelag	12	0,124
	Wärmedämmung ( $\lambda = 0,04$ W/mK)	35	
	Stahlbeton	20	
<b>Tiefgaragenwand- und -decke gegen Erdreich</b>	Stahlbeton	30	3,660
<b>Tiefgaragendecke gegen Außenluft</b>	XPS ( $\lambda = 0,035$ W/mK)	5	0,660
	Stahlbeton	30	

Tab. 35. Aufbauten des Gebäudemodells

#### 7.1.2 Fenster und Türen

Das verwendete Kunststofffenster von Anbieter C weist das von der Bauordnung für Wien [BOW03] geforderte Schalldämmmaß von 38 dB auf. Die Verglasung weist einen U-Wert von 0,5 W/m<sup>2</sup>K auf, wobei in der Berechnung ein Sicherheitszuschlag von 0,1 W/m<sup>2</sup>K für eventuellen altersbedingten Gasverlust etc. berücksichtigt wurde. Der Gesamtenergiedurchlassgrad beträgt 0,42. Der Rahmen hat einen U-Wert von 1,3 W/m<sup>2</sup>K und ist innen ca. 11 cm breit. Der  $\Psi$ -Wert des Randverbundes ist 0,053 W/Km. Die Fenster sind mit einem Stahlwinkel an der Brüstung und am Sturz befestigt. Die Wärmebrückenbeiwerte sind entsprechend Kapitel 5.3.3 mit 0,057 W/Km angesetzt. Die Laibung wurde ohne Anschlusswinkel angesetzt, was einem Beiwert von 0,046 W/mK entspricht.

Die Dachflächenfenster „VELUX GGL-64“ der Firma Velux haben Wärmedurchgangskoeffizienten  $U_w$  von 0,91 W/m<sup>2</sup>K und einen g-Wert von 0,52. [VEL01]

Da im derzeitigen Planungsstand keine genaue Spezifikation für die einzelnen Türtypen vorliegt, wurde der gesamte U-Wert für die Türen mit 0,75 W/m<sup>2</sup>K angesetzt.

In der folgenden Tabelle sind die Orientierungen und Abmessungen der in Haus 2 eingebauten Fenster und Türen angeführt.

Geschoss	Anzahl	Ausrichtung nach bzw. Beschreibung	Architekturlichte [cm]	
			Breite	Höhe
Erdgeschoss	4	Süden	100	230
	2	Süden	200	170
	1	Norden	100	50
	1	Norden	150	160
	1	Norden	100	160
1. bis 3.Obergeschoss	6	Süden	200	170
	15	Süden	100	230
	3	Osten	100	130
	5	Osten	100	65
	4	Norden	150	160
	8	Norden	100	160
Dachgeschoss	4	Süden	100	210
	1	Süden	125	110
	1	Süden	300	170
	1	Süden	100	170
	1	Osten	100	210
	3	DFF nach Norden <sup>1)</sup>	100	185
Stiegenhaus und Eingang	5	Norden	250	60
	5	Norden	55	60
Türen	1	Eingang	160	220
	3	Tiefgarage	90	220
	1	Fahrradraum	100	220

<sup>1)</sup> Dachflächenfenster in einer Dachfläche nach Norden

Abb. 88. Fenster und Türen im Haus 2

Die Verschattung wird nach den jeweiligen Sommerverhältnissen in den Wohnungen gewählt. Innenliegende Verschattungen sind mit einem Verschattungsgrad von 0,85 und außenliegende mit 0,25 angesetzt.

### 7.1.3 Heizwärmebedarf

In der Heizperiode wurde der Luftwechsel mit 0,4 /h und der Wärmerückgewinnungsgrad mit 0,8 festgelegt. Der Infiltrationsluftwechsel wurde mit 0,02 /h abgeschätzt, womit ergibt sich ein energetisch wirksamer Luftwechsel von 0,1 /h ergibt. Der notwendige Luftwechsel im Eingangsbereich, im Stiegenhaus und im Fahrradabstellraum beträgt 0,1 /h. Der Luftwechsel im Sommer ist in allen Zonen mit 1,5 /h festgelegt. In der Tiefgarage ist ein Frischluftvolumen von 3.500 m<sup>3</sup>/h notwendig, was einem Luftwechsel von 0,64 /h entspricht.

Die Innentemperatur in den Wohnräumen ist mit 22 °C angesetzt. Die inneren Lasten wurden mit 2,1 W/m<sup>2</sup> für die Berechnung des Heizwärmebedarfes und mit 1,6 W/m<sup>2</sup> für die Berechnung der Heizlast gewählt [FEI00]. Die Stiegenhäuser, der Windfang und der Fahrradraum sind unbeheizt. Für die Berechnung wird das Klima des Jahres 1997 von Wien verwendet. Die Erdoberflächtemperatur wurde konstant mit 5 °C angesetzt.

In der folgenden Tabelle sind die Heizwärmebedarfswerte in kWh/a und die bruttogeschossflächen- und wohnnutzflächebezogenen Heizwärmebedarfswerte in kWh/m<sup>2</sup>a von Haus 2 aufgelistet.

Geschoss	Einheit	Verbrauch [kWh/a]	BGF <sup>2)</sup> [m <sup>2</sup> ]	HWB/BGF [Wh/m <sup>2</sup> a]	WNF <sup>3)</sup> [m <sup>2</sup> ]	HWB/WNF [kWh/m <sup>2</sup> a]
EG	Stiegenhaus TG	- <sup>1)</sup>	35,43	-	-	-
	Wohnung 2.1	1809	111,30	16,25	86,22	20,98
	Wohnung 2.2	1654	87,94	18,81	73,96	22,36
	Fahrradraum	-	29,44	-	-	-
	WF u. Stiegenh. EG	-	35,43	-	-	-
1.OG	Wohnung 2.3	1127	87,94	12,81	73,64	15,30
	Wohnung 2.4	258	62,10	4,15	44,36	5,81
	Wohnung 2.5	860	87,94	9,78	73,96	11,63
	Stiegenhaus 1.OG	-	44,73	-	-	-
2.OG	Wohnung 2.6	767	87,94	8,73	73,64	10,42
	Wohnung 2.7	251	62,10	4,04	44,36	5,65
	Wohnung 2.8	825	87,94	9,39	73,96	11,16
	Stiegenhaus 2.OG	-	35,43	-	-	-
3.OG	Wohnung 2.9	876	87,94	9,96	73,64	11,89
	Wohnung 2.10	247	62,10	3,98	44,36	5,57
	Wohnung 2.11	963	87,94	10,95	73,96	13,02
	Stiegenhaus 3.OG	-	35,43	-	-	-
DG	Wohnung 2.12	2130	127,83	16,66	96,32	22,11
	Wohnung 2.13	1034	65,73	15,73	50,91	20,31
	Stiegenhaus DG	-	35,43	-	-	-
<b>Summe bzw. flächen- gewichteter Mittelwert</b>		<b>12800</b>	<b>1358,01</b>	<b>9,43</b>	<b>883,29</b>	<b>14,49</b>
<sup>1)</sup> unbeheizte Räumlichkeiten, <sup>2)</sup> Bruttogeschossfläche, <sup>3)</sup> Wohnnutzfläche						

Tab. 36. Heizwärmebedarf in Haus2

Im Mittel liegt der Heizwärmebedarf bezogen auf die Wohnnutzfläche unter den angestrebten 15 kWh/m<sup>2</sup>a. In den Wohnungen im Erd- und im Dachgeschoss kann diese Grenze nicht eingehalten werden.

Im Haus 2 ergibt sich ein Gesamtverbrauch von 12.800 kWh/m<sup>2</sup>a. Bezogen auf die Energiebezugsfläche von 942,18 m<sup>2</sup> im Haus 2 ergibt sich ein Heizwärmeverbrauch von 13,59 kWh/m<sup>2</sup>a und bezogen auf die Nettogeschossfläche von 981,44 m<sup>2</sup> ergeben sich 13,04 kWh/m<sup>2</sup>a.

Die Grenze des Heizwärmebedarfes für den Entfall von Notkaminen von 15 kWh/m<sup>2</sup>a Nettogeschossfläche wird mit der oben beschriebenen Konfiguration des Gebäudes erreicht.

### 7.1.4 Heizlast

In der folgenden Tabelle sind die Heizlasten in  $W/m^2$  und die bruttogeschossflächen- und wohnnutzflächebezogenen Heizlasten in  $kWh/m^2a$  der Wohnungen und sonstigen Räumlichkeiten in Haus 2 aufgelistet.

Gescho ss	Einheit	Heizlast [W]	BGF [m <sup>2</sup> ]	Heizlast / BGF [W/m <sup>2</sup> ]	WNF [m <sup>2</sup> ]	Heizlast / WNF [W/m <sup>2</sup> ]
EG	Stiegenhaus TG	-	35,43	-	-	-
	Wohnung 2.1	920	111,30	8,27	86,22	10,67
	Wohnung 2.2	806	87,94	9,17	73,96	10,90
	Fahrradraum	-	29,44	-	-	-
	WF u. Stiegenh. EG	-	35,43	-	-	-
1.OG	Wohnung 2.3	626	87,94	7,12	73,64	8,50
	Wohnung 2.4	305	62,10	4,91	44,36	6,87
	Wohnung 2.5	582	87,94	6,62	73,96	7,87
	Stiegenhaus 1.OG	-	44,73	-	-	-
2.OG	Wohnung 2.6	521	87,94	5,92	73,64	7,07
	Wohnung 2.7	305	62,10	4,91	44,36	6,87
	Wohnung 2.8	582	87,94	6,62	73,96	7,87
	Stiegenhaus 2.OG	-	35,43	-	-	-
3.OG	Wohnung 2.9	567	87,94	6,45	73,64	7,71
	Wohnung 2.10	305	62,10	4,91	44,36	6,87
	Wohnung 2.11	621	87,94	7,06	73,96	8,39
	Stiegenhaus 3.OG	-	35,43	-	-	-
DG	Wohnung 2.12	1315	127,83	10,29	96,32	13,65
	Wohnung 2.13	608	65,73	9,25	50,91	11,94
	Stiegenhaus DG	-	35,43	-	-	-
<b>Summe bzw. flächen- gewichteter Mittelwert</b>		<b>8062</b>	<b>1358,01</b>	<b>5,94</b>	<b>883,29</b>	<b>9,13</b>

Tab. 37. Heizlast in Haus 2

Die Heizlast liegt bezogen auf die Wohnnutzfläche im Mittel bei  $9,13 W/m^2$ . In den Erd- und Dachgeschosswohnungen wird die zusätzlich benötigte Heizwärme über extra Heizflächen (Heizkörper oder Wandflächenheizungen) eingebracht.

Die Gebäudeheizlast beträgt  $8.062 W$ . Bezogen auf die Energiebezugsfläche von  $942,18 m^2$  im Haus 2 ergibt sich eine Gebäudeheizlast von  $8,56 W/m^2$  und bezogen auf die Nettogeschossfläche von  $981,44 m^2$  ergeben sich  $8,21 W/m^2$ .

Die Grenze der Heizlast für den Entfall von Notkaminen ist  $10 W/m^2$  Nettogeschossfläche, wobei der Nachweis der Heizlast nach dem einschlägigen Regelwerk, sprich ÖNORM M 7500, vorzunehmen ist. [EDE03]

Bei der Berechnung nach ÖNORM M 7500 ergibt sich eine Gebäudeheizlast von  $10,69 W/m^2$  Nettogeschossfläche und somit sind bei dieser Konfiguration Notkamine notwendig.

Bei Verwendung des Kunststofffensters von Anbieter B mit einem U-Wert der Verglasung von  $0,6 W/m^2K$  und einem U-Wert des Rahmens von  $0,71 W/m^2K$  ergibt sich eine Gebäudeheizlast von  $9,98 W/m^2$ , womit Notkamine nicht mehr notwendig sind. Eine Erhöhung der Dachdämmstärke um  $5 cm$  würde nicht ausreichen, um die Grenze zu unterschreiten.

### 7.1.5 Sommerverhalten

In der folgenden Tabelle sind die normierten, nicht nutzbaren Gewinne  $Q_{NN}$  der Wohnungen und sonstigen Räumlichkeiten in Haus 2, die Übertemperaturgradstunden H26 in % bezogen auf ein Jahr und die notwendigen Verschattungseinrichtungen aufgelistet.

Geschoss	Einheit	BGF [m <sup>2</sup> ]	WNF [m <sup>2</sup> ]	Zus. Versch. <sup>1)</sup>	QNN [Kh]	H26 [%]
EG	Stiegenhaus TG	35,43	-	-	-	-
	Wohnung 2.1	111,30	86,22	-	50	0,07
	Wohnung 2.2	87,94	73,96	-	109	0,14
	Fahrradraum	29,44	-	-	-	-
	WF u. Stiege EG	35,43	-	-	-	-
1.OG	Wohnung 2.3	87,94	73,64	-	46	0,06
	Wohnung 2.4	62,10	44,36	-	81	0,11
	Wohnung 2.5	87,94	73,96	-	128	0,17
	Stiegehaus 1.OG	44,73	-	-	-	-
2.OG	Wohnung 2.6	87,94	73,64	-	47	0,06
	Wohnung 2.7	62,10	44,36	-	81	0,11
	Wohnung 2.8	87,94	73,96	-	162	0,21
	Stiegehaus 2.OG	35,43	-	-	-	-
3.OG	Wohnung 2.9	87,94	73,64	-	55	0,07
	Wohnung 2.10	62,10	44,36	-	81	0,11
	Wohnung 2.11	87,94	73,96	-	128	0,17
	Stiegehaus 3.OG	35,43	-	-	-	-
DG	Wohnung 2.12	127,83	96,32	Ja	54	0,07
	Wohnung 2.13	65,73	50,91	Ja	17	0,02
	Stiegehaus DG	35,43	-	-	-	-
<b>Summe</b>		<b>1.358</b>	<b>883</b>		<b>1.860</b>	

1) Im EG sowie im 1., 2. und 3. OG sind keine Verschattungsmaßnahmen notwendig. Im Dachgeschoss werden zur Verhinderung der sommerlichen Überwärmung bei den südseitigen Fenstern Außenverschattungen mit einem Verschattungsgrad von 0,25 vorgesehen. Bei den Dachflächenfenstern wird eine Innenverschattung mit einem Verschattungsgrad von 0,85 installiert.

**Tab. 38. Nachweis der Einhaltung der Normanforderung zur Vermeidung sommerlicher Überwärmung in Haus2 unter Berücksichtigung der notwendigen zusätzlichen Verschattungseinrichtungen**

Die errechneten Werte für die Übertemperaturgradstunden liegen aufgrund der jeweils gewählten Verschattungseinrichtung unter der Grenze zur sommerlichen Überwärmung, wobei Werte bis 0,25 % akzeptabel sind.

Die Ergebnisse stimmen mit den Anforderungen der derzeit gültigen ÖNORM B 8110-3 [ONO99] überein. Um den Normnachweis für den Wohnraum der Wohnung 2.13 im Dachgeschoss von Haus 2 zu erfüllen, ist ebenfalls eine Außenverschattung vorzusehen, während für den Schlafraum mit nordorientiertem Dachflächenfenster eine Innenverschattung genügt.

## 7.2 Akustische Qualität der Lüftungsanlage

### 7.2.1 Berechnungsgrundlagen

Die von einer raumluftechnischen Anlage erzeugten Geräusche gelangen überwiegend über das Leitungssystem als Luftschall in angeschlossene Räume. Die schalltechnische Berechnung erfolgt nach [VDI01] und gliedert sich in folgende Teile:

- Festlegung der zulässigen Schalldruckpegel im angeschlossenen Raum
- Ventilatorgeräusche aus Messungen der Hersteller übernehmen
- Ermittlung der Strömungsgeräusche im Luftleitungssystem
- Ermittlung der Pegelsenkung im Luftleitungssystem
- Ermittlung des Schallpegels im Raum
- Schalldämpfer auf zulässigen Schalldruckpegel dimensionieren

### 7.2.2 Bauteile

Die schallschutztechnische Auslegung der Lüftungsanlage wurde am Zuluftstrang des Wohnraumes der 88,50 m<sup>2</sup> großen Wohnung 1.2 im 1. Obergeschoss von Haus 1, die den kritischsten Fall darstellt, vorgenommen. In der folgenden Tabelle sind die von Seiten der Haustechnik vorgegebenen Bauteile des Zuluftstranges aufgelistet.

Bauteil	Volumenstrom in m <sup>3</sup> /h	Länge in m	Durchmesser in mm	Geschwindigkeit in m/s
Wohnraum	60	-	-	2,17
Weitwurfdüse	60	-	98,8	2,17
Kanal 1	60	1	98,8	2,17
Schalldämpfer 1	60	1,5	98,8	2,17
Kanal 2	60	1,85	98,8	2,17
Umlenkung	60	-	98,8	2,17
Kanal 3	60	1,85	98,8	2,17
Verzweigung	130	0,4	123,8	3
Kanal 4	130	0,2	123,8	3
Schalldämpfer 2	130	1,5	123,8	3
Rückschlagklappe	130	0,13	123,8	3
Nachheizregister	130	0,6	123,8	3
Ventilator	130	-	123,8	3
Kanal 5	130	2,3	123,8	3
Umlenkung	130	-	123,8	3
Brandschutzklappe	130	-	123,8	3
Abzweigung im EG	130	-	123,8	3
Kanal und Verzweigungen im EG	300	1	398,6	0,67
Kanal und Verzweigungen im 1.OG	560	2,5	398,6	1,25
Kanal und Verzweigungen im 2.OG	821	2,5	398,6	1,83
Kanal und Verzweigungen im 3.OG	1082	2,5	398,6	2,41
Kanal und Verzweigungen im DG	1279	3,5	398,6	2,85
Schalldämpfer 3	1279	1,5	398,6	2,85
Ventilator	1279	-	398,6	2,85
Wärmerückgewinnung	1279	-	398,6	2,85
Frostschutzregister	1279	-	398,6	2,85
Filter	1279	-	398,6	2,85

Tab. 39. Bauteile der Lüftungsanlage

In schalltechnischer Hinsicht sind insbesondere die Ventilatoren, die Schalldämpfer und die Weitwurfdüse relevant. Der Luftkanal ist so zu dimensionieren, dass die Bauteile nach dem Sekundärschalldämpfer den zulässigen Schallpegel nicht übersteigen.

### Weitwurfdüsen

Die verwendete Weitwurfdüse der Firma Trox [TRO02] hat einen A-bewerteten Schallpegel von unter 20 dB(A). In der Rechnung wurden die folgenden oktavbandabhängigen Schalleistungspegel  $L_w$  verwendet:

	fm [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
<b>L<sub>w</sub></b>	dB	<24.4	<25.4	<25.4	<24.4	<19.4	<10.4	<1.4

Tab. 40. oktavbandabhängige Schalleistung der Weitwurfdüse

### Schalldämpfer

Die verwendeten Schalldämpfer 1 und 2 der Firma Schako [SCH02] haben die folgenden oktavbandabhängigen Einfügungsdämpfungsmaße  $\Delta L_w$ :

	fm [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
<b><math>\Delta L_w</math></b>	dB	8	22	44	50	50	50	46

Tab. 41. oktavbandabhängige Einfügungsdämpfungsmaße des Primär- und Sekundärschalldämpfers

Der verwendete Schalldämpfer im Hauptstrang (Schalldämpfer 3) der Firma Schako [SCH02] hat das folgende oktavbandabhängige Einfügungsdämpfungsmaße  $\Delta L_w$ :

	fm [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
<b><math>\Delta L_w</math></b>	dB	3	8	15	25	33	29	18

Tab. 42. oktavbandabhängige Einfügungsdämpfungsmaße des Schalldämpfers im Hauptstrang

### Ventilatoren

Der verwendete Ventilator im Zuluftstrang der betrachteten Wohnung der Firma Gebhardt [GEB02] hat die folgenden oktavbandabhängigen Schalleistungspegel  $L_w$ :

	fm [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
<b>L<sub>w</sub></b>	dB	30	39	47	50	52	47	38

Tab. 43. Schalleistung des Ventilators für die Wohneinheit

Der verwendete Ventilator im Hauptstrang der Firma Gebhardt [GEB02] hat die folgenden oktavbandabhängigen Schalleistungspegel  $L_w$ :

	fm [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000
<b>L<sub>w</sub></b>	dB	65	64	64	60	57	52	46

Tab. 44. oktavbandabhängige Schalleistung des Ventilators im Hauptstrang

### 7.2.3 Restgeräusche im Wohnraum

Ausgehend vom Wohnraum erfolgt abschnittsweise die Berechnung des Restgeräusches in Oktavbändern. Dabei wurden unterschiedliche Schalldämpferanordnungen untersucht. Die jeweils entstehenden Restgeräusche sind in der folgenden Tabelle aufgelistet.

Schalldämpferanordnung	Restgeräusch im Wohnraum in dB (A)
ohne Schalldämpfer	41
mit Schalldämpfer 3	40
mit Schalldämpfer 1	18
mit Schalldämpfer 1 und 2	17

Tab. 45. Restgeräusche bei unterschiedlichen Schalldämpferanordnungen

Ohne Schalldämpfer kann das maximal zulässige Restgeräusch im Wohnraum von 25 dB(A) laut ÖNORM B 8115-2 [ÖNO01] nicht eingehalten werden. Auf Schalldämpfer 3 wird verzichtet, da dieser weitgehend ohne Einfluss auf das Restgeräusch im Wohnraum ist. Die Anordnung des Schalldämpfers 1 ist ausreichend, um den zulässigen Pegel im Wohnraum zu unterschreiten. Ein zweiter Schalldämpfer im Zuluftstrang der Wohnung brächte eine Verbesserung von ca. 1 dB(A).

Der Einbau der Komponenten der Lüftungsanlage hat mit den entsprechenden Schalldämmmaßen zu erfolgen, damit die Einleitung von Körperschall in die Wohnräume verhindert wird.

In der folgenden Tabelle sind die durch jeden Bauteil entstehenden Restgeräusche im Wohnraum bei Verwendung von Schalldämpfer 1 angegeben.

Bauteil	Oktavbandmittelfrequenzen in Hz						
	63	125	250	500	1000	2000	4000
Wohnraum							
Weitwurfdüse	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal 1	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Schalldämpfer 1	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal 2	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Umlenkung	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal 3	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Verzweigung	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal 4	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Schalldämpfer 2	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Rückschlagklappe	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Nachheizregister	21,3	21,4	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Ventilator	22,5	21,7	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal 5	22,5	21,7	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Umlenkung	22,5	21,7	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Brandschutzklappe	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Abzweigung im EG	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal und Verzweigung EG	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal und Verzweigungen 1.OG	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal und Verzweigungen 2.OG	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal und Verzweigungen 3.OG	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Kanal und Verzweigungen DG	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Schalldämpfer 3	23,4	21,9	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Ventilator	36,3	23,2	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Wärmerückgewinnung	36,3	23,2	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Frostschutzregister	36,3	23,2	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
Filter	36,3	23,2	20,3	18,3	12,1	2,3	0,0
<b>A-Bewertung</b>	<b>-26,2</b>	<b>-16,1</b>	<b>-8,6</b>	<b>-8,6</b>	<b>0,0</b>	<b>1,2</b>	<b>1,0</b>
<b>A-Bewerteter Oktavpegel</b>	<b>10,1</b>	<b>7,1</b>	<b>11,7</b>	<b>9,7</b>	<b>12,7</b>	<b>3,5</b>	<b>1</b>

Tab. 46. Restgeräusche im Wohnraum

Die Weitwurfdüse verursacht den wesentlichen Anteil des Schallpegels im Raum. Die weiteren Bauteile mindern den Schallpegel bei den Oktavbandmittelfrequenzen von 250 bis 4000 Hz mehr, als sie ihn erhöhen, wodurch die errechneten Restgeräusche jeweils gleich sind. Bei der Oktavbandmittelfrequenz von 63 Hz erhöht sich das von der Weitwurfdüse verursachte Restgeräusch im Raum von 21,3 dB durch die nachfolgenden Komponenten auf 36,3 dB und bei 125 Hz von 21,4 auf 23,2 dB.

Die Addition der A-bewerteten Oktavschaallpegel ergibt einen A-Schallpegel im Wohnraum von 18 dB(A), welcher jedenfalls unter der Grenze von 25 dB(A) für erhöhten Schallschutz gemäß ÖNORM B 8115-2 [ÖNO01] liegt.

#### 7.2.4 Ergebnisse akustisches Verhalten Lüftungsanlage

Die schallschutztechnische Auslegung der Lüftungsanlage wurde am Zuluftstrang des Wohnraumes der 88,50 m<sup>2</sup> großen Wohnung 1.2 im 1. Obergeschoss von Haus 1, die den kritischsten Fall darstellt, vorgenommen. In schalltechnischer Hinsicht sind insbesondere die Ventilatoren, die Schalldämpfer und die Weitwurfdüse relevant.

Mit einem Schalldämpfer für das Ventilatorengeräusch kann das maximal zulässige Restgeräusch im Wohnraum von 25 dB(A) gemäß ÖNORM B 8115-2 [ÖNO01] eingehalten

werden. Der A-Schallpegel im Wohnraum der untersuchten Wohnung beträgt 18 dB(A), daher können gemäß Norm Weitwurfdüsen zur Lufteinbringung im Wohnraum verwendet werden.

## 7.2.5 Schritte zur unhörbaren Lüftungsanlage

Das akustische Verhalten der Lüftungsanlage stellt gemäß Norm beim vorliegenden Konzept kein Problem dar. Obwohl der A-bewertete Schalldruckpegel bei 18 dB(A) liegt, wird insbesondere bei 500 Hz die Hörschwelle überschritten.

Wesentliche Schritte zur Unterschreitung der Hörschwelle in allen Frequenzbereichen sind:

- Auslegung der Schalldämpfer bis zum Luftdurchlass auf Absenkung der Anlagengeräusche unter die Hörschwelle
- Verwendung eines Luftdurchlasses dessen Schalleistung den Schalldruckpegel im Raum nicht über die Hörschwelle bringt

Erschwerend ist, dass geringe Schalleistungen mit geringen Strömungsgeschwindigkeiten verbunden sind und das bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten eventuell eine vollständige Durchströmung des Raumes nicht mehr erfolgt. Erste Untersuchungen zum Luftaustauschwirkungsgrad in solchen Situationen haben gezeigt, dass bei Räumen mit 24 m<sup>3</sup> und einem Volumenstrom von 30m<sup>3</sup>/h der Wirkungsgrad nicht wesentlich unter 0.5 liegt und damit eine vollständige Durchmischung der Raumluft mit der Zuluft erfolgt [HAA03].

### Maximale Schalleistung der Zuluftöffnung

In [ENI98] wird eine Bezugshörschwelle für Terzrauschen bei binauralem Hören im diffusen Schallfeld angegeben. Bleibt der durch die Anlage erzeugte Schalldruckpegel unter der Hörschwelle, dann ist dieser unhörbar.

In der folgenden Tabelle sind die Werte der Hörschwelle für die Oktavbänder und der maximale Schalleistungspegel für Unhörbarkeit angegeben. Bei der Berechnung ist angenommen, dass die Absorptionseigenschaft des Raumes üblichen Wohnräumen entspricht.

Oktavbandmittelfrequenzen in Hz	63	125	250	500	1000	2000	4000
Hörschwelle in dB	45	28	17	9	5	3	0
Maximaler Schalleistungspegel für Unhörbarkeit des Lufteinlasses	33	30	22	15	12	11	1

Tab. 47. Hörschwelle und maximal zulässige Schalleistung des Lufteinlasses

Der maximale Schalleistungspegel für Unhörbarkeit ist der Grenzwert für den Lufteinlass, damit die Anlage für die BewohnerInnen unhörbar ist. Im Zuge der Ausschreibung ist es ratsam, dies zu berücksichtigen.

## 8 Kostenanalyse

### 8.1 Marktanalyse Fenster

#### 8.1.1 Aktuelle Marktpreise

##### Bauvorhaben Utendorfasse

Um die Kosten für Fenster gering zu halten, wurde versucht den Anteil der Fensterfläche mit etwa 17,5 % der Netto-Wohnnutzfläche zu begrenzen. Ein  $U_w$  - Wert bis ca. 0,85 war zulässig. Die Materialien wurden nicht eingeschränkt. Auch die Art des Einbaues war frei gestellt, nur passivhaustauglicher Einbau war gefordert.

##### Umfang

Es wurden alle Hersteller von Passivhaus Institut Darmstadt Deutschland (PHI) zertifizierten Fenster im deutschen Sprachraum, renommierte Hersteller aus Österreich und Deutschland, sowie Fensterlieferanten aus dem Wiener Raum angeschrieben. Von den 66 angefragten sendeten 16 Firmen 26 Angebote inkl. Varianten zurück. 12 Firmen waren aus Österreich, 4 sendeten ihre Angebote aus Deutschland.

##### Angebotene Fenster

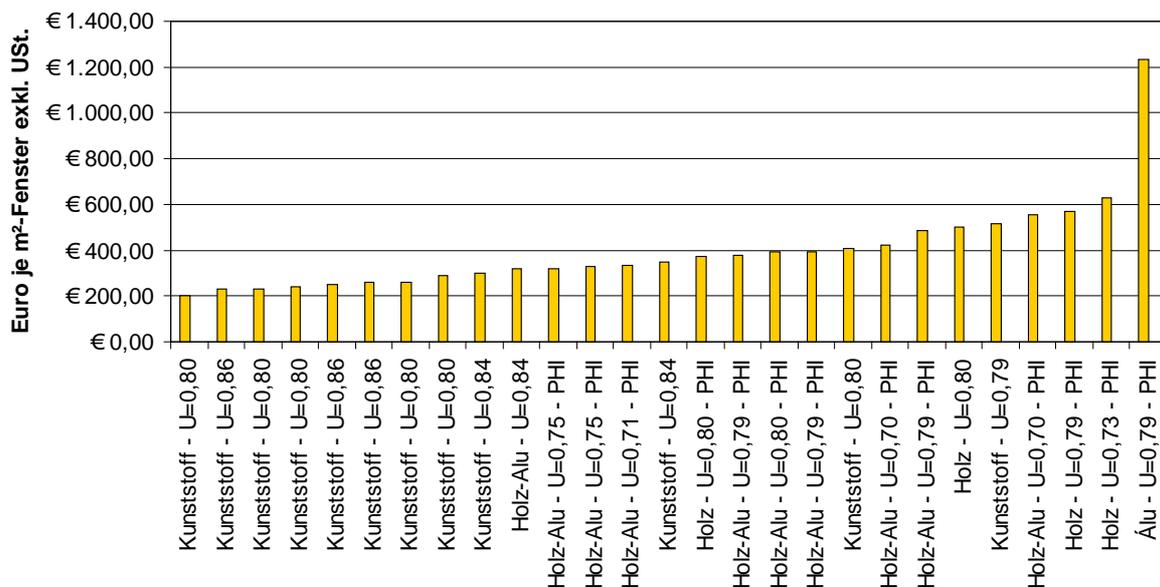


Abb. 89. Übersicht Angebotspreise (PHI = Fenster mit Zertifikat des Passivhausinstituts), Stand Mai 2002

Nur regionale Anbieter waren preislich interessant. Einige Anbieter boten trotz geforderter Passivhaustauglichkeit den Fenstereinbau in der Leibung an. Nur teilweise wurde der in der lokalen Bauordnung geforderte Schallschutzwert  $R_w$  von 38dB eingehalten. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass für die im unteren Preissegment angesiedelten Kunststofffenster kaum PHI-zertifizierte Produkte angeboten wurden.

##### Ergebnis Billigstbieter:

Nur Fenster mit Einbau in der Dämmebene wurden berücksichtigt.

- Kunststofffenster ca. 250 Euro/m<sup>2</sup>-Fenster exkl. USt.  
 $U_w = 0,86$ ,  $R_w = 38$  dB, nicht PHI-zertifiziert
- Holz-Alu-Fenster ca. 330 Euro/m<sup>2</sup>-Fenster exkl. USt.  
 $U_w = 0,75$ ,  $R_w = 38$  dB, PHI-zertifiziert

## 8.1.2 Quantifizierung von Einsparungspotentialen

Die Kostenfaktoren Fensterflügel, Fixverglasungen und Fenstereinbau wurden untersucht und mittels Kostenvergleichen die Einsparungspotentiale ermittelt.

### Mehr-/Minderkosten Fixverglasung

Dieser Vergleich soll das Einsparungspotential bei Verwendung von Fixverglasungen anstatt beweglicher Fensterflügeln aufzeigen.

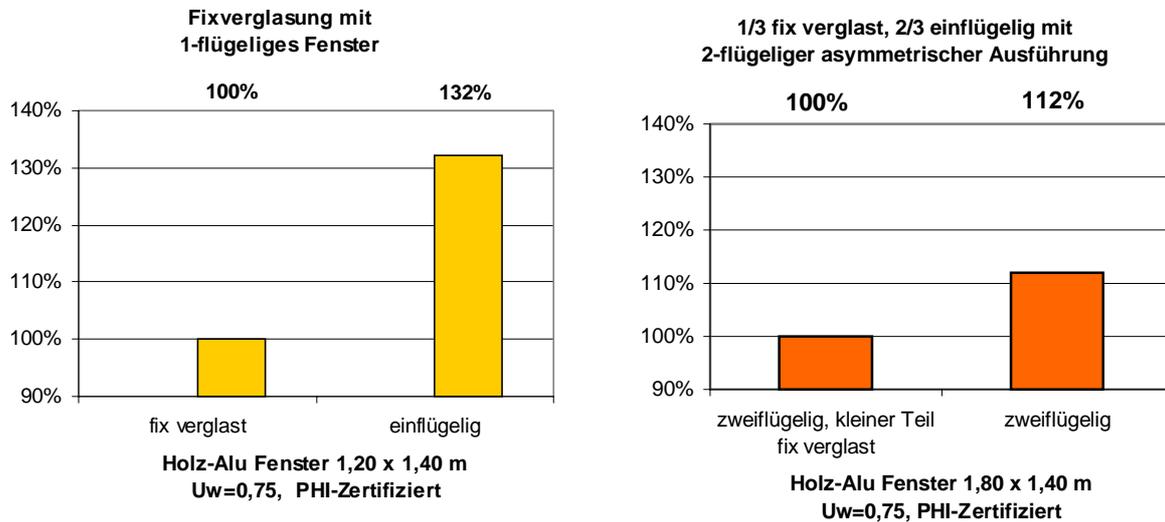


Abb. 90. Kostenvergleiche Fixverglasungen

Für fix verglaste Elemente kann ein Preisvorteil von ca. 30 % erreicht werden. Bei Fixverglasung eines Flügels eines dreiteiligen Fensterelementes kann ein Preisvorteil von ca. 10 % erreicht werden.

Abschätzung für Bauvorhaben Utendorfgasse: Bei teilweisem Einsatz von Fixverglasungen sollte gegenüber ausschließlicher Verwendung von öffentbaren Fensterflügeln im Mittel über das gesamte Gewerk Fenster eine theoretische Einsparung von ca. 10 % erreicht werden können.

### Mehr-/Minderkosten Fensterflügel

Dieser Detailvergleich soll das Einsparungspotential bei Verwendung von größeren Fensterflügeln aufzeigen. Dazu wurden für die 1,2x1,4 m<sup>2</sup> Fenster zwischen zwei- und einflügelig, beziehungsweise für die 1,8x1,4 m<sup>2</sup> Fenster zwischen drei- und zweiflügelig variiert.

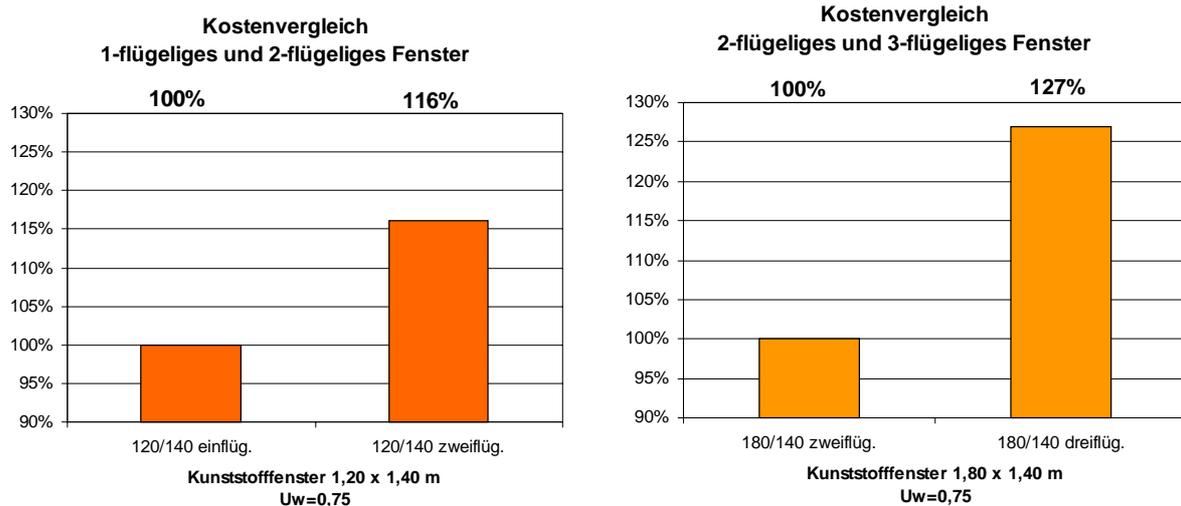


Abb. 91. Kostenvergleiche Variation Anzahl der Fensterflügel

Für Elemente die statt zweiflügelig mit nur einem Flügel ausgeführt werden, kann ein Preisvorteil von ca. 15% erreicht werden. Für Elemente die statt dreiflügelig mit nur zwei Flügel ausgeführt werden, kann ein Preisvorteil von bis zu ca. 25 % erreicht werden.

**Kostenvergleich Verringerung Anzahl Fensterflügel  
Gemittelt für gesamtes Bauvorhaben**

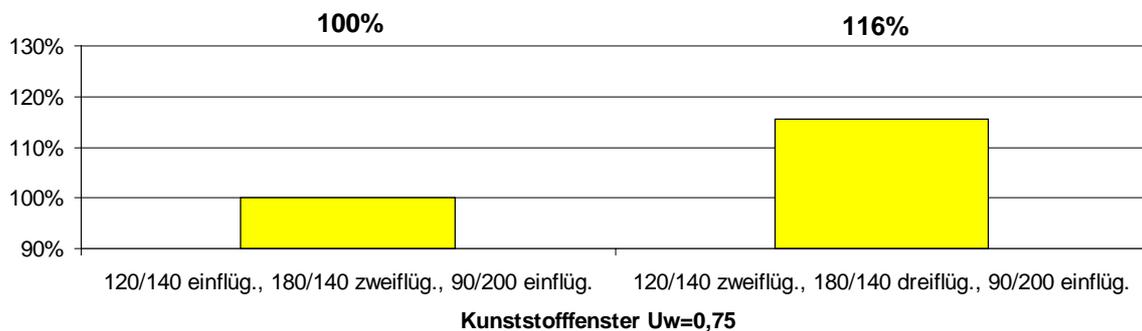


Abb. 92. Kostenvergleich Variation Anzahl der Fensterflügel für Gesamtobjekt Utendorfasse

Abschätzung für Bauvorhaben Utendorfasse: Bei Reduktion der Fensterflügel gegenüber der Verwendung von Fenstern mit kleineren und daher zahlreichen Flügeln, sollte für das gesamte Gewerk Fenster eine theoretische Einsparung von ca. 15 % erreicht werden können.

Das hohe Gewicht der 3-fach Verglasung ist bei der Dimensionierung der Flügelgrößen zu beachten, da laut Herstellerangaben bei großen Fensterflügeln (z.B.: Balkontüren) Probleme mit den Beschlägen auftreten können.

## Kosten für Fenstereinbau

Aus den Angeboten lässt sich abschätzen, dass die Kosten für den Einbau ca. 20 bis 30 % der Gesamtkosten des Fensters darstellen. Dies sind ca. 60 bis 85 Euro je m<sup>2</sup> Fensterfläche exkl. USt.

Die Kosten des Fenstereinbaues sollten für jedes Bauwerk gesondert untersucht werden, um Einsparungspotentiale nutzen zu können. Um die Kosten nachvollziehbar zu machen, sollten eigene Positionen für den Fenstereinbau ausgeschrieben werden.

## Gleichzeitigkeit der Sparpotentiale

Bei Kostenoptimierung auf Basis der oben angeführten Maßnahmen ist zu beachten, dass die gleichzeitige Ausnutzung der Sparpotentiale nur bedingt möglich ist.

### ***Ergebnis Quantifizierung von Einsparungspotentialen:***

- *Mehr-/Minderkosten Fixverglasung Einsparungspotential ca. 10 %*
- *Mehr-/Minderkosten Fensterflügel Einsparungspotential ca. 15 %*
- *Kosten für den Einbau ca. 60 bis 85 Euro je m<sup>2</sup> Fensterfläche*
- *gleichzeitige Ausnutzung der Sparpotentiale nur bedingt möglich*

## 8.1.3 Mehrkosten Passivhausfenster

### Verglichen werden:

- Preise Bauvorhaben Utendorfgasse (Passivhaus)
- Preise vergleichbares Standardobjekt (Niedrigenergiehaus)  
U<sub>w</sub>-Wert von 1,4, R<sub>w</sub> von 38 dB, Ausschreibung Mai 2002, Wien, sozialer Wohnbau, Fenstergrößen ein-, zwei- und dreiteilig, Balkontüren ein-, zwei- und dreiteilig

### Vergleich Billigstbieter Kunststofffenster

Der unterpreisbereinigte Billigstbieter liegt bei 190 Euro je m<sup>2</sup>-Fensterfläche. Die nächst teureren liegen bei 200 und 210 Euro je m<sup>2</sup>, was in etwa den normalen unverhandelten Anbotspreisen entspricht.

### Mehrkosten Kunststofffenster

Der Mehrpreis für ein Passivhausfenster liegt bei ca. 30 % (Kunststoff 190 Euro/m<sup>2</sup> zu 250 Euro/m<sup>2</sup>).

### Vergleich Holz/Alu Fenster einzelner Anbieter

Die Firma A hat bei beiden Ausschreibungen Holz-Alu Fenster angeboten. Bei Vergleich der beiden Angebote ergibt sich ein Mehrpreis für Passivhausfenster von ca. 35 % (Holz-Alu 210 Euro/m<sup>2</sup> zu 280 Euro/m<sup>2</sup>).

### Mehrkosten Holz-Alu Fenster

Tendenziell kann derzeit von etwa 30 - 35 % Mehrkosten für Passivhausfenster gesprochen werden.

## Mehrkosten je m<sup>2</sup>-Wohnnutzfläche

Bei Kunststofffenstern ( $U_w$  0,86,  $R_w$  38 dB, nicht PHI-zertifiziert) und etwa 17,5 % Fensteranteil ergeben sich folgende voraussichtliche Mehrkosten:

Preis Kunststofffenster je m <sup>2</sup> - Fensterfläche	Preis Kunststoff-Passivhausfenster je m <sup>2</sup> - Fensterfläche	Mehrkosten je m <sup>2</sup> Fensterfläche	Fensteranteil * <sup>1</sup>	<b>Mehrkosten</b> je m <sup>2</sup> -Wohnnutzfläche
ca. 190 Euro	ca. 250 Euro	ca. 60 Euro	17,5 %	<b>ca. 12 Euro</b>

\*<sup>1</sup> Der Fensteranteil ist auf die Nettowohnnutzfläche bezogen

Tab. 48. Mehrkosten passivhaustaugliche Fenster je m<sup>2</sup>-Wohnnutzfläche

### **Ergebnisse Mehrkosten Passivhausfenster:**

- Mehrkosten Kunststofffenster ca. 30 %
- Mehrkosten Holz-Alu Fenster ca. 30 –35 %
- Mehrkosten je m<sup>2</sup>-Wohnnutzfläche ca. 12 Euro/m<sup>2</sup>

## 8.1.4 Probleme

### Umfang und Qualität der Angebotsunterlagen

Die Angebote waren in ihrer Qualität sehr unterschiedlich. Renommierete Anbieter von PHI-zertifizierten Fenstern stellten durchwegs sehr aussagekräftige und umfangreiche Angebote her. Die technischen Daten und zugehörigen Prüfberichte waren komplett oder wurden nach Rückfrage sofort ergänzt.

Speziell die Angebote der regionalen Fensterlieferanten mit geringer Erfahrung im Passivhausbau lieferten nur mangelhafte technische Informationen, eigene Einbauvorschläge wurden, wenn überhaupt, sehr mangelhaft geliefert. Um die Gleichwertigkeit mit den detaillierten Angeboten herzustellen mussten weitere Unterlagen angefordert werden.

### Schallschutz

Die PHI-zertifizierten Fenster hatten Schallschutzwerte von  $R_w$  33 bis 36 dB. Um den in der Wiener Bauordnung geforderten Schallschutzwert  $R_w$  von mind. 38 dB zu erreichen, sind Zusatzmaßnahmen erforderlich. Die beiden grundlegenden Vorschläge, um einen besseren Schallschutz zu erreichen, waren:

Erhöhung der Glasstärken auf z.B. 6+6+8mm, was zu erheblichem Mehrgewicht und damit verbundenen Einschränkungen in der Elementgröße führt. Die Hersteller meldeten Bedenken hinsichtlich der langfristigen Gebrauchstauglichkeit an, da die Gefahr der wiederholten Verstellung der Beschläge durch das hohe Eigengewicht gegeben ist. Erhöhung der Lufträume zwischen den einzelnen 3 Glasflächen. Dies wiederum führt vor allem bei den Herstellern der Kunststofffenster zu Problemen, da die zurzeit verfügbaren Kunststoffrahmen teilweise für den Einbau solch starker Isolierverglasungen nicht geeignet sind.

### Passivhaustauglicher Einbau

Einige der Anbieter, durchwegs der günstigeren, nicht zertifizierten Kunststofffenster, sahen einen Standardeinbau im Bereich der Wandleibung vor. Dabei wurden keine zusätzlichen Dichtungsmaßnahmen vorgesehen. Auf Nachfrage und Zusendung von Einbaudetails für den Einbau der Fenster in der Dämmebene wurden Zusatzkosten für diese Einbauvariante angeboten.

## Kunststofffenster

Für die üblicherweise im unteren Preissegment angesiedelten Kunststofffenster wurden keine PHI-zertifizierten Produkte angeboten. Speziell in Einsatzbereichen, die unter hohem Kostendruck stehen, wie dem Sozialen Wohnbau, wären derartige Produkte notwendig.

### 8.1.5 Angaben für kostenoptimierte Ausschreibungen

Der Einsatz von Fenstern ohne Zertifizierung durch das Passivhausinstitut kann eine Reduktion der Fensterkosten bringen. Für die Verwendung solcher Fenster sind zur Beurteilung und zum Nachweis der angestrebten Energiekennzahlen umfangreiche bauphysikalische Untersuchungen erforderlich. Zu beachten ist das noch sehr mangelnde Fachwissen vieler Fensteranbieter hinsichtlich der technischen Erfordernisse beim Einbau von Passivhausfenstern. Die Angaben für Wärme- und Schallschutz sind eindeutig zu definieren. Vor allem hohe Schallschutzanforderungen, z.B.  $R_w \geq 38$  dB der Wiener Bauordnung, können zurzeit nur von einigen Anbietern mit passivhaustauglichen Fenstern erfüllt werden.

#### **Ergebnisse Angaben für kostenoptimierte Ausschreibungen:**

- *Nicht PHI-zertifizierte Fenster zulassen (erfordert detaillierte und umfangreiche bauphysikalische Nachweise)*
- *Ausreichende Anzahl von Firmen anfragen und dabei nicht auf spezialisierte Unternehmen beschränken*
- *Fensterflächen gering halten (max. 20 % der Wohnnutzfläche)*
- *Fixverglasungen wo möglich verwenden (Einsparungspotential ca. 10 %)*
- *Anzahl der Fensterflügel gering halten (Einsparungspotential ca. 10 %)*
- *Detailzeichnungen / Leitdetail der Einbausituation beilegen.*
- *Fenstereinbau in eigenen Positionen ausschreiben (Die Einbaukosten machen 20 - 30 % der Fensterkosten aus)*
- *Maximalen U-Wert definieren (z.B. inkl. Einbau oder nur Fenster)*
- *Schallschutz- und Luftdichtheitsanforderung genau definieren*
- *Das Passivhausinstitut hat neben der Passivhauszertifizierung für Fenster auch eine „Eingeschränkte Zertifizierung“ eingeführt. Wenn nur zertifizierte Fenster zugelassen werden ist zu definieren, ob auch Produkte mit „eingeschränkter Zertifizierung“ zugelassen werden.*

## 8.2 Kostenvergleich Brandschutzriegel bei hohen Dämmstoffdicken

Die in Kapitel 5.1 „Brandschutz bei hohen Dämmstoffdicken“ beschriebenen Brandschutzriegel im Sturzbereich werden in den folgenden Kapiteln kostenmäßig bewertet.

### 8.2.1 Kalkulationsgrundlagen

In den Kalkulationsgrundlagen sind die Kalkulationsansätze und die Umlegung der Kosten auf den Quadratmeter Fassade ersichtlich.

#### **Fassade:**

Fassadenfläche	2.336 m <sup>2</sup>
Fensterfläche inkl. Balkontüren	315 m <sup>2</sup>
Fensteranteil der Fassade	13,49 %
Fensteranteil der Wohnnutzfläche	11,34 %

**Fenster:**

Leibungsstärke	30 cm
Fensterbreite (Rechenansatz)	1,00 m

**Verhältnis:**

Das Verhältnis Brandschutzriegel zu Fassadenfläche beträgt 1 Laufmeter Sturzansichtsfläche des Brandschutzriegels, das heißt ohne allfällige seitliche Überstände, zu 12 m<sup>2</sup> Fassadenfläche.

**Material (inkl. Zuschlag):**

Expandierter Polystyrol Schaumstoff (EPS-F)	65,37	Euro/m <sup>3</sup>
Mineralwolle (MW)	149,18	Euro/m <sup>3</sup>
Polyurethan (PUR)	229,07	Euro/m <sup>3</sup>
Bluelad (1 cm dick)	19,75	Euro/m <sup>2</sup>
Masterclima (5 cm dick)	22,49	Euro/m <sup>2</sup>
Klebspachtelmasse	0,59	Euro/kg
Textilglasgitter	2,28	Euro/m <sup>2</sup>
Grundierung	1,51	Euro/kg
Silikatputz (bzw. kunstharzgebundener Putz)	1,01	Euro/kg
Arbeit generell	32,20	Euro/Std.

**8.2.2 Kalkulationsergebnisse**

Es wurden 6 Varianten kalkuliert. Die Kalkulation erfolgte in K7-Blätter, welche im Anhang ersichtlich sind. Die Ergebnisse finden sich in folgender Zusammenstellung.

Variante 1 MW-Riegel	2,43 Euro je m <sup>2</sup> Fassade
Variante 2 PUR-Riegel	3,04 Euro je m <sup>2</sup> Fassade
Variante 3 MW-Riegel mit EPS-Überdeckung	2,45 Euro je m <sup>2</sup> Fassade
Variante 4 PUR-Riegel mit EPS-Überdeckung	3,03 Euro je m <sup>2</sup> Fassade
Variante 5 Sturzplatte „Blueclad“	1,52 Euro je m <sup>2</sup> Fassade
Variante 6 Sturzplatte „Masterclima“	1,59 Euro je m <sup>2</sup> Fassade

Zur Abschätzung der Mehrkosten für den Passivhausstandard wird, da die konkrete Ausführung offen ist, ein Mittelwert verwendet.

Mittelwert	2,34 Euro je m <sup>2</sup> Fassade
------------	-------------------------------------

**Ergebnis Kostenvergleich Brandschutzriegel:**

*Die Kosten der Brandschutzriegel belaufen sich je nach Ausführung zwischen 1,52 und 3,04 Euro je Quadratmeter Fassade. Am kostengünstigsten sind Ausführungen mit Sturzplatten.*

**8.2.3 Matrix für verschiedene Dämmstoffdicken**

Im Folgenden werden die Kosten der Brandschutzlösungen für unterschiedliche Dämmstoffdicken angegeben. Die Kosten wurden auf einen Quadratmeter Fassadefläche umgerechnet.

	Dämmstoffdicken			
	15 cm	20 cm	25 cm	30 cm
Variante 1 MW-Riegel	1,81	2,00	2,21	2,43
Variante 2 PUR-Riegel	2,12	2,41	2,73	3,04
Variante 3 MW-Riegel mit EPS-Überdeckung	1,82	2,04	2,25	2,45
Variante 4 PUR-Riegel mit EPS-Überdeckung	2,09	2,40	2,72	3,03
Variante 5 Sturzplatte „Blueclad“	0,75	1,02	1,25	1,52
Variante 6 Sturzplatte „Masterclima“	0,78	1,06	1,31	1,59

Tab. 49. Mehrkosten der Brandriegellösungen bei verschiedenen Dämmstoffdicken, Euro/m<sup>2</sup> Fassade, exkl. USt., Preisbasis 2003

### 8.3 Kostenvergleich Holz- und Massivaußenwand

Die am häufigsten ausgeführte Holzbauvariante mit TJI-Träger wurde im Kapitel 5.4 dargestellt und eine „Sparholzlösung“ in Hinblick auf Kostenminimierung für nichttragende Außenwände entwickelt. Im Folgenden werden diese Holzbauvarianten mit dem Massivbau unter Berücksichtigung eines Nutzflächengewinns verglichen.

Eine untersuchte 17 bzw. 20 cm Ziegelausmauerung erfüllt die Schallschutzanforderungen der [BOW03] aufgrund von der in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Verschlechterung des Schalldämmmaßes bei dickeren Dämmstoffstärken und dem Fensterflächenanteil nicht. Würde ein 25 cm Mauerstein die Schallschutzanforderungen erfüllen, würde sich folgender Kostenvergleich ergeben.

	Baukosten	Minderkosten	Bauteil- dicke	Gewinn Wohn- nutzfläche	Baukosten	Neue Wohn- nutzfläche
	Euro/m <sup>2</sup> Bauteil	Euro/m <sup>2</sup> Bauteil	m	m <sup>2</sup>	Euro/m <sup>2</sup> WNFL	m <sup>2</sup>
<b>Stahlbeton</b> 20 cm mit 30cm Vollwärmeschutz	141,84	0,00	0,500	0	<b>1.055</b>	2.778
<b>Ziegel</b> 25 cm mit 30cm Vollwärmeschutz	121,76	20,08	0,550	-24,83	<b>1.047</b>	2.753
<b>TJI-Träger</b> mit Installations- ebene, TJI 301	135,35	6,49	0,445	27,32	<b>1.039</b>	2.805
<b>TJI-Träger</b> mit Installations- ebene, TJI 241 + 4 cm Däm.	135,85	5,99	0,394	52,64	<b>1.030</b>	2.831
<b>Sparholzlösung</b>	104,63	37,21	0,445	27,32	<b>1.014</b>	2.805

Tab. 50. Kostenvergleich Holz- und Ziegelaußenwände in Passivbauweise, exkl. USt., Preisbasis 2003<sup>24</sup>

Eine 20 cm Stahlbetonwand erfüllt die Schallschutzanforderungen. Für die nichttragenden Außenwände der Utendorfgasse wäre die Stahlbetonwand statisch nicht erforderlich.

Eine Ziegelausmauerung mit 20 cm würde, durch den Nutzflächengewinn, um ca. 10 Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche unter dem 25 cm Mauerstein liegen, wenn es die Schallschutzanforderungen erfüllte.

<sup>24</sup> Die Wandfläche der Außenmauer beträgt 2.336 Quadratmeter.

**Ergebnis Kostenvergleich Holz- und Massivaußenwand**

Die gebräuchlichste Passivholzaußenwand aus TJI-Trägern bringt unter den getroffenen Rahmenbedingungen gegenüber Massivwänden einen kostenmäßigen Vorteil. Allfällige höhere Baukosten der Holzwand können durch einen Nutzflächengewinn kompensiert werden.

Die entwickelte Sparholzlösung hat gegenüber den Massivwänden einen signifikanten Nutzflächengewinn und deutlich geringere Baukosten, ist allerdings noch unerprobt.

**8.4 Kostenvergleich semizentrales und dezentrales Lüftungskonzept**

Der in der Folge dargestellte Kostenvergleich (siehe auch Kapitel 6.1.2) geht von den konkreten Voraussetzungen des Projekts Utendorfgasse aus. In der nachfolgenden Abbildung und Tabelle sind die Gesamtkosten für die Lüftungsanlage (inkl. aller Kosten für Luftrohrleitungen, Dämmung etc.) für die beiden angeführten Varianten dargestellt.

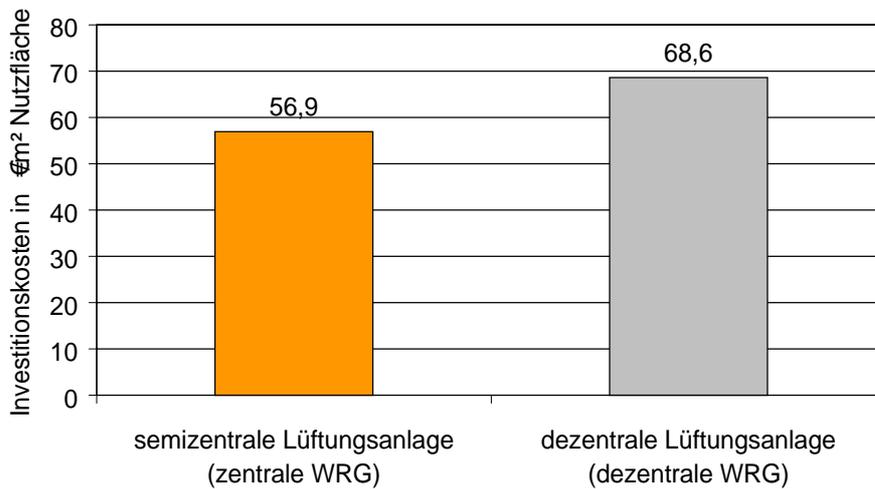


Abb. 93. Kostenvergleich semizentrales und dezentrales Lüftungskonzept

Es wird ersichtlich, dass die Kosten im konkreten Projekt für dezentrale Lüftungsanlagen deutlich höher sind als das gewählte semizentrale Konzept. Ein wesentlicher Grund für die hohe Differenz liegt darin, dass der Vorteil der normalerweise geringeren Rohrleitungslängen bei der Verwendung des dezentralen Konzeptes im konkreten Projekt aufgrund der Grundrisse der einzelnen Wohneinheiten nicht realisiert werden kann.

	Gesamtkosten	Kosten pro m²
Semizentrale Lüftungsanlage (zentrale WRG <sup>*1</sup> )	158.200 Euro	56,9 Euro/m²
Dezentrale Lüftungsanlage (dezentrale WRG <sup>*1</sup> )	189.600 Euro	68,6 Euro/m²
Mehrkosten bei dezentraler Lüftungsanlage	31.400 Euro	11,7 Euro/m²

<sup>\*1</sup> Wärmerückgewinnung (WRG)

Tab. 51. Kostenvergleich semizentrales und dezentrales Lüftungskonzept

## 8.5 Kostenvergleich Wärmeverteilung

Zur Wärmeverteilung (Heizung und Warmwasser) innerhalb des Gebäudes kann das Zweileitersystem oder das Vierleitersystem verwendet werden (siehe Kapitel 6.3). Beim Vierleitersystem mit zentralem Brauchwarmwasserspeicher gibt es getrennten Heizungsvor- und -rücklauf, sowie die Warmwasserleitung und Zirkulationsleitung. Beim Zweileitersystem sind in jeder Wohneinheit das Nachheizregister zur Erzeugung der Raumwärme und ein Gegenstromwärmetauscher zur Warmwassererzeugung angeschlossen.

Unterschiede bei den Investitionskosten ergeben sich einerseits dadurch, dass beim Zweileitersystem statt vier (gedämmten) Rohrleitungen nur zwei benötigt werden. Demgegenüber steht die zusätzliche Investition für die Wärmetauscher zur Brauchwarmwassererwärmung in jeder Wohneinheit. In der nachfolgenden Tabelle sind die Kostenvergleiche für die unterschiedlichen Verteilsysteme dargestellt, wobei nur die Kosten für die jeweils unterschiedlichen Komponenten, nicht aber die Gesamtkosten des Verteilsystems angegeben sind.

	Kosten für 38 WE	Kosten pro m <sup>2</sup> WNFL
2 – Leiter System (Wärmetauscher zur Brauchwarmwassererwärmung)	5.700 Euro	2,06 Euro/m <sup>2</sup>
4 – Leiter System (zusätzliche Rohrleitung inkl. Dämmung etc.)	6.000 Euro	2,17 Euro/m <sup>2</sup>
Kostendifferenz	300 Euro	0,11 Euro/m <sup>2</sup>

Tab. 52. Kostenvergleich Warmwasserbereitung

Aus der Tabelle geht hervor, dass die Kostenunterschiede insbesondere im Vergleich zu den Gesamtbaukosten vernachlässigbar sind. Aus diesem Grund wurde, aufgrund der in Kapitel 6.3 beschriebenen Vorteile des Vierleitersystems im konkreten Projekt dieses System verwendet.

## 8.6 Baukosten

### 8.6.1 Höhe der baulichen Mehrkosten

Im Folgenden werden die relevanten Mehrkosten durch Bauteilverbesserungen zur Erreichung des Passivhausstandards angeführt. Alle angeführten Kosten sind exklusive Umsatzsteuer. Die Preisbasis ist 2003. Basis für die Mehrkosten, insbesondere der Dämmstoffstärken, ist der Wiener Niedrigenergiestandard. [MA02]

Auftretende Fälle, wie Wohnnutzflächenverlust beispielsweise durch hohe Dämmstärken der Außenwand, im Falle einer Einschränkung durch Bauflechtlinien<sup>25</sup> werden hier nicht diskutiert. Ansätze hierzu finden sich in Kapitel 8.3 Kostenvergleich Holz- und Massivaußenwände. Bei der Utendorfgasse liegt eine Einschränkung durch Bauflechtlinien vor.

#### Außenwände

Eine Erhöhung der Dämmstoffstärke der Vollwärmeschutzfassade ist notwendig. Gewählt wurde ein Wärmedämmverbundsystem mit 30 cm expandiertem Polystyrol-Partikelschaumstoff (EPS-F) und vollflächiger Verklebung. Die vollflächige Verklebung wurde im Kapitel 5.2.1 Befestigung diskutiert. Durch die dicken Dämmstoffstärken sind Brandschutzriegel im Sturzbereich der transparenten Bauteile wie im Kapitel 5.1 beschrieben notwendig. [MA03]

<sup>25</sup> „Bauflechtlinien sind die Grenzen, über die mit einem Gebäude oder Gebäudeteil mit Ausnahme der gemäß § 84 zulässigen Vorbauten nicht vorgerückt werden darf“; § 5 der Wiener Bauordnung

Die Kalkulation der 30 cm starken Vollwärmeschutzfassade ohne Gerüst ergab 61,24 Euro pro Quadratmeter Fassade (siehe Anhang). Hinzu kommen 2,34 Euro pro Quadratmeter Fassade für die, auf die Gesamfläche umgelegten Brandschutzriegel (vgl. Kalkulation Brandschutzriegel Kapitel 8.2 Kostenvergleich Brandschutzriegel bei hohen Dämmstoffstärken). Die Kalkulation einer 10 cm starken Vollwärmeschutzfassade auf einer Stahlbetonwand zur Erreichung des Wiener Niedrigenergiestandards ohne Gerüst und ebenfalls ohne Verdübelung ergab 46,22 Euro pro Quadratmeter Fassade (siehe Anhang). Das ergibt Mehrkosten von **17,36 Euro pro Quadratmeter Fassade**. Die Mehrkosten ergeben sich aus der zusätzlicher Dämmschicht von 20 cm (13,73 Euro/m<sup>2</sup>), einem angenommenen höheren Arbeitsaufwand (1,29 Euro/m<sup>2</sup>) und den Brandschutzriegeln (2,34 Euro/m<sup>2</sup>)<sup>26</sup>. Das sind Mehrkosten von 14,60 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche.<sup>27</sup>

### Dach

Der passivhaustaugliche Dachaufbau, siehe Kapitel 5.3.6 Dach, besteht im Kern aus 45 cm expandiertem Polystyrol-Partikelschaumstoff (EPS-W).

Üblicherweise würden 20 cm Dämmung verwendet werden. Die zusätzliche Dämmstärke beträgt daher 25 cm. 25 cm mal 55 Euro pro Kubikmeter Dämmung plus 9 Euro für die Verlegung, weil mehrlagig, ergibt Mehrkosten für das Passivhaus von **16 Euro je Quadratmeter Dachfläche**. Das sind Mehrkosten von 4,40 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche.

### Unterste Geschossdecke

Eine Bodendämmung zur „kalten“ Tiefgarage ist notwendig. Die Dämmebene kann unter- oder oberhalb der Tiefgaragendecke liegen. Aus Kostengründen wird die Dämmebene auf die Tiefgaragendecke gelegt. Der Aufbau, vergleiche Kapitel 5.3.4 Unterste Geschosdecke, besteht aus 35 cm expandiertem Polystyrol-Partikelschaumstoff (EPS-W) und einer 10 cm Betonplatte zur Lastverteilung, die gleichzeitig als Estrich dient. Eine gesonderte Trittschalldämmung ist aufgrund der hohen Dämmstärke nicht notwendig. Die Bewehrung der Lastverteilungsplatte (Estrich) besteht aus einer oben- und untenliegenden Baustahlmatte CQS 7 (ca. 10 kg/m<sup>2</sup>). Zur Erreichung des Wiener Niedrigenergiestandards wären 6 cm Dämmung notwendig.

Die Kosten für den gewählten Aufbau ergeben sich aus 18,56 Euro für die zusätzlichen 29 cm Dämmung (64 Euro pro Kubikmeter inkl. Verlegung) plus 14,38 Euro für 10 cm Beton (143,89 Euro pro Kubikmeter Beton) und plus 8 Euro für den Baustahl (0,80 Euro je Kilogramm). Das sind 40,95 Euro je Quadratmeter Boden für den passivhausgerechten Bodenaufbau der warmen Hülle. Dieser Aufbau ersetzt den üblichen Estrich und die übliche Trittschalldämmung. Zur Ermittlung der Mehrkosten werden daher 18,90 Euro je Quadratmeter Fußboden für Estrich und Trittschalldämmung abgezogen. Das ergibt Mehrkosten für den Passivhausboden von **22,05 Euro je Quadratmeter Boden**. Das sind Mehrkosten von 6,78 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche.

### Wärmebrückenreduktion

Zur Wärmebrückenreduktion ist kostenmäßig der Fußpunkt der tragenden Wände zur „kalten“ Tiefgarage entscheidend. Unter den tragenden Wänden sind zwei Reihen Porenbeton (z.B. Ytong Mauerstein P2, Steinhöhe 20 cm) zur Wärmebrückenreduktion (vgl. Kapitel 5.3.4 Unterste Geschosdecke).

Der Porenbeton mit seiner Höhe von 40 cm wird mit **32,69 Euro pro Laufmeter Wand** angenommen. 32,69 Euro pro Laufmeter Porenbeton mal 396 Laufmeter Wand ergibt 12.945,24 Euro Mehrkosten für die Passivhausanlage. Das sind 4,66 Euro je Quadratmeter Wohnnutzfläche.

Die im Kapitel 5.3.4 Unterste Geschosdecke angeführte Lösung mittels Stahlaufleger würde voraussichtlich kostenmäßig zwei- bis dreifach so hoch wie die oben angeführte Lösung

<sup>26</sup> Berechnung siehe Kapitel 8.2.2.

<sup>27</sup> Wohnnutzfläche 2.778 m<sup>2</sup>.

sein, ist energetisch schlechter, jedoch bei Zuglasten erforderlich. Die Stahlbetonlager wären aus derzeitiger Sicht für Zuglasten eine kostensparende Alternative.

Durch die zusätzliche Wärmedämmung und den geänderten Aufbau des Bodens auf der Tiefgarage wird das Gebäude höher oder es muss tiefer in den Boden gebaut werden. Bei der Utendorfgasse beträgt die zusätzliche Mauerhöhe 35 cm. Dies ergibt sich aus 45 cm des im vorigen Punkt angeführten Aufbaus minus 10 cm für einen üblichen Aufbau. Durch den Porenbeton mit 40 cm ist dieser zusätzliche Mauerstreifen schon in die Mehrkosten eingeflossen.

Ein allfälliger zusätzlicher Aushub ist zu vernachlässigen, weil 2,14 Euro pro Kubikmeter Aushub mal ca. 727 Quadratmeter mal 35 cm Tiefe 544,52 Euro ergeben. Das sind 0,20 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche.

### **Exkurs Kostenberechnung der Wärmebrückenreduktion bei dünnen Dämmstoffen**

Alternativ zum Porenbeton kann wie beispielsweise in Kassel Marchbachshöhe (D) Purenit eingesetzt werden. [FIN00] Beim mechanisch hoch belastbaren und dennoch über einen hohen Wärmedämmwert<sup>28</sup> verfügenden Dämmstoff wie Purenit muss die unterschiedliche Höhe des Dämmstoffes berücksichtigt werden. Die Purenitschicht ist nur 11,2 cm hoch ist. Daher muss der noch fehlende Mauerstreifen noch hinzugerechnet werden.

Die Mehrkosten errechnen sich mit 22,86 Euro pro Laufmeter für 11,2 cm hohes und 17,5 cm breites Purenit [PFL01a] mal 396 Laufmeter Wand. Das ergibt 9.052,56 Euro. Der fehlende Mauerstreifen berechnet sich mit 65,70 Euro pro Quadratmeter Stahlbetonmauerwerk mal der oben angeführten zusätzliche Mauerhöhe von 35 cm minus den 11,2 cm Purenit mal 396 Laufmeter Wand. Das ergibt 6.192,09 Euro. In Summe wären dies Mehrkosten von 15.244,65 Euro. Das wären 5,49 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche.

Weitere Maßnahmen zur Wärmebrückenreduktion, soweit nicht in anderen Mehrkostenpunkten berücksichtigt, sind meist kostenneutral zu planen oder sind kostenmäßig im Sinne der 80/20-Regel<sup>29</sup> für die Mehrkosten zweitrangig.

### **Fenster mit Dreischeibenverglasung**

Für die Mehrkosten wird das billigste Fenster, welches passivhauszertifiziert<sup>30</sup> ist gemäß Kapitel 8.1 Marktanalyse Fenster, genommen.

Die Mehrkosten werden daher mit 330 Euro je Quadratmeter Fensterfläche minus 190 Euro je Quadratmeter Fensterfläche berechnet. Das ergibt Mehrkosten von **140 Euro je Quadratmeter Fensterfläche**. Bezogen auf die Wohnnutzfläche sind das 15,87 Euro.

In der Utendorfgasse wird eines der billigsten nicht passivhauszertifizierten Fenster zum Einsatz kommen. Durch detaillierte bauphysikalische Berechnungen konnten die bauphysikalischen Kompensationsmaßnahmen bestimmt und der Ausschluss kritischer Zustände nachgewiesen werden.

Die Mehrkosten würden mit 250 Euro je Quadratmeter Fensterfläche minus 190 Euro je Quadratmeter Fensterfläche berechnet werden. Das ergibt Mehrkosten von 60 Euro je Quadratmeter Fensterfläche. Bezogen auf die Wohnnutzfläche sind das 6,80 Euro.

### **Lüftungsanlagen und Heizwärmeverteilung (Haustechnik)**

In Tab. 53 sind die geschätzten Gesamtkosten für die Haustechnik und die Aufteilung auf die einzelnen Bereiche dargestellt. Hierbei werden die Gesamtkosten für die Utendorfgasse, die durchschnittlichen Kosten pro Wohneinheit und die Kosten pro m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche<sup>31</sup> angegeben.

<sup>28</sup> Wärmeleitfähigkeit 0,060 bis 0,075 W/(m·K)

<sup>29</sup> Die 20 Prozent der größten Kostenpositionen machen 80 % der Gesamtkosten aus, die restlichen 80 Prozent machen nur mehr 20 % der Gesamtkosten aus.

<sup>30</sup> vom Passivhaus Institut Dr. Wolfgang Feist (D) zertifiziert

<sup>31</sup> Wohnnutzfläche 2.778 m<sup>2</sup>.

	Gesamtkosten	Kosten/WE	Kosten/m <sup>2</sup>
Wärmeversorgungsanlagen	98.200,-- Euro	2.580,-- Euro/WE	35,3 Euro/m <sup>2</sup>
Klima-/Lüftungsanlagen	158.200,-- Euro	4.160,-- Euro/WE	56,9 Euro/m <sup>2</sup>
Stark-/Schwachstromanlagen	179.500,-- Euro	4.720,-- Euro/WE	64,6 Euro/m <sup>2</sup>
Sanitär-/Gasanlagen	97.800,-- Euro	2.570,-- Euro/WE	35,2 Euro/m <sup>2</sup>
<b>Gesamt</b>	<b>533.700,-- Euro</b>	<b>14.040,-- Euro/WE</b>	<b>192 Euro/m<sup>2</sup></b>

Tab. 53. Geschätzte Errichtungskosten für die haustechnischen Anlagen ohne Lift gemäß ÖNORM B 1801-1, exkl. USt. Preisbasis 2003

Alle Leitungswege außerhalb des Gebäudes für Wasser und Abwasser sind in der Kostenschätzung des Rohbaus beinhaltet. Ebenso wurde die Abgasleitung berücksichtigt und der Kamin bauseits zugerechnet. Nicht in der Haustechnikkostenschätzung enthalten sind diverse Anschlussgebühren für Gas, Wasser und Abwasser. Diese wurden im Kostenbereich 1 „Aufschließung“ berücksichtigt.

Im Vergleich zu konventionellen Wohnbauten liegen die haustechnischen Kosten für ein Passivhaus naturgemäß etwas höher. Im Bereich der Stark- und Schwachstromanlagen bzw. der Sanitär- und Gasanlagen liegen keine wesentlichen Unterschiede zwischen Passivhäusern und dem konventionellen Wohnbau vor. Der wesentliche Unterschied liegt in der Wärmeeinbringung in die Wohnungen. Während im konventionellen Wohnbau meist Radiatoren bzw. Fußbodenheizungen zum Einsatz kommen, erfolgt die Wärmezufuhr im Passivhaus über die Lüftungsanlage. Somit liegen einerseits durch die Einsparung eines konventionellen Heizsystems Minderkosten beim Passivhaus vor, die mit den Mehrkosten für die Lüftungsanlage verglichen werden müssen.

Die Mehrkosten der Lüftungsanlage betragen gemäß Tab. 53 **158.200 Euro für die gesamte Wohnhausanlage**. Bezogen auf die Wohnnutzfläche sind das 56,9 Euro/m<sup>2</sup>.

Der Entfall der klassischen Heizwärmeverteilung errechnet sich aus dem Richtwert von 2.340 Euro pro Wohneinheit mal 38 Wohneinheiten<sup>32</sup>. Das sind **88.920 Euro für die gesamte Wohnhausanlage**. Bezogen auf die Wohnnutzfläche sind das 32,0 Euro/m<sup>2</sup>.

### Türen

An die Wohnungseingangstüren wird, da das Stiegenhaus in der warmen Hülle liegt, wärmetechnisch keine besondere Anforderung gestellt. Die Luftdichtheit muss bei den Wohnungseingangstüren beachtet werden. Gemäß Wiener Bauordnung ist für Passiv- und nicht Passivbauten eine T30- Ausführung vorgeschrieben. [BOW03]

Die drei Hauseingangstüren in der Utendorfgasse sind kompakt gehalten um allfällige Mehrkosten für Luftdichtheit und Wärmeschutz kompensieren zu können. Dennoch wird von Mehrkosten von **1.743,51 Euro je Hauseingangstür** ausgegangen. [PFL01a] 3 mal 1.743,51 Euro ergibt 5.230,53 Euro. Bezogen auf die Wohnnutzfläche sind das 1,88 Euro.

Als Schleusentüren, in der Ebene der in die Tiefgarage verlängerten warmen Hüllen, sind gemäß Wiener Bauordnung T30-Türen erforderlich. Bauphysikalisch ist ein hoher Luftdichtheitswert erforderlich. Die voraussichtlich zum Einsatz kommende handelsübliche Tür erfüllt 0,48 m<sup>3</sup>/hm bei 300 Pa gemäß ÖNORM B 5339. Im Handel kostet diese luftdichte Tür 1.371,60 Euro. Abzüglich 250 Euro einer Standardschleusentür ergibt dies Mehrkosten von **1.121,60 Euro je Schleusentür**. Bei drei Schleusentüren ergibt dies, bezogen auf die Wohnnutzfläche 1,21 Euro.

<sup>32</sup> In der angegebenen Summe ist auch der Entfall der im normalen sozialen Wohnbau vorgesehenen Abluftanlagen enthalten.

### Verschattung

Maßnahmen zur Verschattung sind kein Spezifikum eines Passivhauses. Auch für Niedrigenergiehäuser wären beispielsweise Verschattungsmaßnahmen notwendig. Es werden daher keine Mehrkosten angesetzt.

Das Passivhaus bietet gegenüber der Sonneneinstrahlung sogar zusätzliche Vorteile wie durch geringere g-Werte der 3-Scheibenverglasung im Gegensatz zur 2-Scheibenverglasung als auch durch die Nachtlüftung der kontrollierten Wohnraumbelüftung.

Theoretisch wären in der Utendorfgasse durch die Loggien und Balkonsituation nur mehr 31 Quadratmeter Fenster mal 137,27 für eine Außenjalousie aus Alu mit Motor zu verschatten. Das ergibt 4.209 Euro. [PAS01] Bezogen auf die Wohnnutzfläche sind das 1,51 Euro.

### Entfall der Notkamine

Die Notkamine können in Wien seit Februar 2003 für Passivhäuser entfallen. [LAN03], [BOW03] Dies führt zu Minderkosten und dem Entfall von Mehrkosten zur Wärmebrückenreduktion. Die Minderkosten wurden nicht berücksichtigt.

### Luftdichtheitsprüfung

Die Kosten für die Luftdichtheitsprüfung betragen ca. 300 Euro je Wohneinheit<sup>33</sup>. Die Luftdichtheitsprüfungen werden den Nebenkosten zugeordnet.

### Zusammenfassung der baulichen Mehrkosten

Bauteil	Bauteilspezifische Mehrkosten Euro/Einheit	Ausmaß je Bauteil Einheit	Summe Mehrkosten je Bauteil Euro	Mehrkosten je Quadratmeter Wohnnutzfläche <sup>34</sup> Euro/m <sup>2</sup>
Außenwand	17,36	2.336	40.551	14,60
Dach	16,00	765	12.237	4,40
Unterste Geschoßdecke	22,05	727	16.035	5,77
Wärmebrückenreduktion	32,69	396	12.939	4,66
Fenster	140,00	315	44.092	15,87
Lüftungsanlage	158.194,00	1	158.194	56,90
Heizwärmeverteilung	-88.920,00	1	-88.920	-32,00
Hauseingangstür	1.743,51	3	5.231	1,88
Schleusentür	1.121,60	3	3.365	1,21
Mehrkosten Summe			216.720	
Mehrkosten je m <sup>2</sup> WNFL				<b>73,33</b>

Tab. 54. Zusammenfassung der baulichen Mehrkosten für den Passivhausstandard im sozialen Wohnbau exkl. USt., Basis 2003

<sup>33</sup> für das konkrete Projekt Utendorfgasse 289,47 Euro je Wohneinheit, Projekt Kassel Marbachshöhe 351,61 Euro je Wohneinheit [PFL01a]

<sup>34</sup> Wohnnutzfläche 2.778 m<sup>2</sup>.

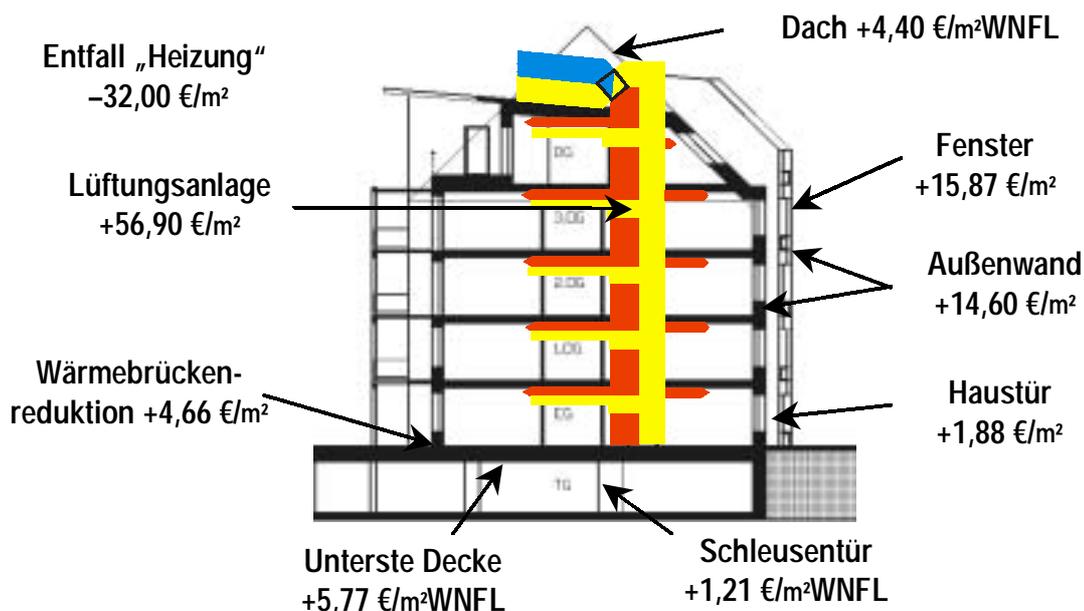


Abb. 94. Grafische Darstellung der baulichen Mehrkosten für den Passivhausstandard im sozialen Wohnbau je Quadratmeter Wohnnutzfläche, exkl. USt., Basis 2003

### Ergebnis

Die baulichen Mehrkosten zur Erreichung des Passivhausstandards im sozialen Wohnbau liegen gemäß Tab. 54 und Abb. 94 bei ca. 73 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche. In der Utendorfgasse sind das 6,3 % der Baukosten von 1.152 Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche. Bezogen auf den sozialen Wohnbau ergeben sich 7 % der Baukosten von 1.055 Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche.

### Bauliche Mehrkosten im internationalen Vergleich

Im internationalen Vergleich werden die Mehrkosten auf die Energiebezugsfläche bezogen, wie im Kapitel 8.8 „Internationaler Vergleich Bauwerkskosten“ dargestellt. Die Mehrkosten von 12 CEPHEUS-Projekten sind aus [SCH01] ersichtlich.

#### Ergebnis Internationaler Vergleich Mehrkosten

Die Mehrkosten Utendorfgasse betragen 72 Euro/m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche. Der Mittelwert der einzelnen CEPHEUS-Projekt-Mehrkosten liegt bei 129 Euro/m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche. Die Mehrkosten über die Projektsummen bei 91 Euro/m<sup>2</sup> Energiebezugsfläche.

### 8.6.2 Baukosten Utendorfgasse

Die Utendorfgasse repräsentiert aufgrund der eher geringeren Bebauungsdichte und der westseitigen Baulückenverbauung nicht den üblichen sozialen Wohnbau.

Dies führt zu höheren Baukosten, die von der Errichtung eines Passivhauses unabhängig sind. Diese setzen sich im Wesentlichen aus der Unterfangung der Nachbargebäude und einer überproportional teureren Tiefgarage zusammen.

Eine monetäre Bewertung der Kosten, die zu höheren Baukosten führen, könnte wie folgt vorgenommen werden: Die Baukosten der Tiefgarage betragen üblicherweise 8 bis 10 % der Baukosten<sup>35</sup>. In der Utendorfgasse ergab die Kalkulation der Tiefgarage 503.355 Euro. Das

<sup>35</sup> Laut Auskunft AR Burghard Bartl, Magistratabteilung 50, Wohnbauförderung, unter Bezugnahme auf eine interne Erhebung der wohnbauförderten Projekte. Gerechnet wurde mit dem Mittelwert von 9 %.

sind 16 % der Baukosten. Folglich ergeben sich Mehrkosten der Tiefgarage Utendorfsgasse von 7 % der Baukosten bzw. 215.275 Euro.

Tiefgarage Mehrkosten	215.275	Euro
Unterfangung Nachbargebäude gemäß Kostenschätzung	54.505	Euro
Summe Differenzkosten	269.780	Euro
Summe Differenzkosten je m <sup>2</sup> Wohnnutzfläche	97	Euro/m <sup>2</sup>

Tab. 55. Differenzkosten, die zu höheren Baukosten der Utendorfsgasse ohne Berücksichtigung des Passivhausstandards führen, exkl. USt., Basis 2003

Werden von den Baukosten der Utendorfsgasse (1.152 Euro je Quadratmeter Wohnnutzfläche) die Differenzkosten der Tab. 55 und die baulichen Mehrkosten durch den Passivhausstandard gemäß Tab. 54 abgezogen, führt dies in etwa zu üblichen Baukosten für sozialen Wohnbau „auf der grünen Wiese“ (981 Euro je Quadratmeter Wohnnutzfläche).

Beim Bauvorhaben Utendorfsgasse sind umfangreiche Ersatzpflanzungen, Auflagen durch die Flächenwidmung, wie Zerteilung eines Baukörpers und eine hohe Anzahl von Liften erforderlich. Da Auflagen und Notwendigkeiten dieser oder ähnlicher Art bei jedem Bauvorhaben auftreten können, wurden diese Aufwände nicht von den höheren Baukosten abgezogen.

Die zulässige Erhöhung der Gesamtbaukosten für Kleinbaustellen zur Erlangung der Wohnbauförderung würde gemäß [MA02a] für die Utendorfsgasse 151 Euro je Quadratmeter Wohnnutzfläche betragen. Diese Grenze wird mit 97 Euro je Quadratmeter Wohnnutzfläche deutlich unterschritten.

### 8.6.3 Baukosten sozialer Wohnbau

Die Baukosten für die Passivbauweise im sozialen Wohnbau in Wien liegen gemäß der untenstehenden Tabelle bei ca. 1.055 Euro/m<sup>2</sup> Wohnnutzfläche. Die Berechnung über die Mehrkosten als auch die „baulückenbereinigte“ Utendorfsgasse (Unterfangungen und Tiefgarage) führen zur selben Größenordnung.

Kostenbereich	Kurztext	Passivhaus Utendorfsgasse	<b>Passivhaus Sozialer Wohnbau</b>	Niedrig- energiehaus Sozialer Wohnbau
		Euro	Euro	Euro
1	Aufschließung	38.830	<b>38.830</b>	38.830
2	Bauwerk - Rohbau	1.538.869	<b>1.268.067</b>	1.255.123
3	Bauwerk - Technik	676.347	<b>676.347</b>	607.061
4	Bauwerk - Ausbau	855.825	<b>855.825</b>	732.548
5	Außenanlagen	91.016	<b>91.016</b>	91.016
	Baukosten inkl. TG	3.200.888	<b>2.933.861</b>	2.724.579
	Baukosten Euro / m <sup>2</sup> WNFL	1.152	<b>ca. 1.055</b>	981 <sup>36</sup>

- 97 Euro  
**Höhere  
Basisbaukosten**  
(Kapitel 8.6.2)
+ 73 Euro  
**Mehrkosten  
Passivhaus**  
(Kapitel 8.6.1)

Tab. 56. Baukosten Passivhaus gemäß ÖNORM B 1801, exkl. USt. Basis 2003

<sup>36</sup> Fiktives Bauvorhaben „auf der grünen Wiese“

**Ergebnis Baukosten Passivhaus sozialer Wohnbau**

Die verbesserte bauliche Qualität der Gebäudehülle und die hocheffiziente Lüftungstechnik bei Passivhäusern erfordern Mehrinvestitionen. Durch Optimierung der Baukomponenten, integrierter Performancesimulation und vernetzter Planung konnte das Planungsziel der Baukosten des sozialen Wohnbaus von 1.055 Euro pro Quadratmeter Wohnnutzfläche eingehalten werden.

**8.7 Betriebskosten****8.7.1 Betriebskosten Allgemein**

In der nachfolgenden Tabelle sind die zu erwartenden Betriebskosten dargestellt.

		Verbrauch	Verbrauch	Einheitspreis <sup>37</sup>	Kosten	Kosten
		kWh/m <sup>2</sup> .a	kWh/WE.a	Euro/kWh	Euro/m <sup>2</sup> .a	Euro/WE.a
Wärme	Heizung	14,49	1.086,75	0,062	0,90	67
	Warmwasser	30,00	2.250,00	0,062	1,86	140
	Gesamt	44,49	3.336,75	0,062	2,76	207
elektrische Energie		27,00	2.025,00	0,140	3,78	284
<b>Gesamtkosten</b>					<b>6,54</b>	<b>491</b>

Tab. 57. Durchschnittliche Betriebskosten Utendorfgasse, inkl. USt, Stand 10/2002

Die Kosten pro Wohneinheit sind exemplarisch für eine 75 m<sup>2</sup> Wohnung berechnet. Basis für die ermittelten Betriebskosten sind die durchschnittlichen Verbräuche des Gesamtobjekts. In den Wohnungen des Erd- und Dachgeschosses ist mit höheren, in den mittleren Wohnungen mit niedrigeren Verbräuchen und Kosten zu rechnen (Siehe auch Kapitel 9.2.3, Schema der Wohnungsanordnung und Heizwärmebedarf der Referenzvariante).

Der Verbrauch an elektrischer Energie enthält sowohl den Haushaltsstromverbrauch als auch den Verbrauch für die haustechnischen Anlagen. Voraussetzung zur Erreichung der angegebenen Stromverbräuche ist der Einsatz von energieeffizienten Geräten im Haushalt (Siehe auch Kapitel 6.4).

Verluste, die bei der Bereitung und Verteilung der Wärme (Rohrleitungsverluste, Speicher- verluste etc.) auftreten, wurden im Verbrauch berücksichtigt.

<sup>37</sup> Die Berechnung der Einheitspreise erfolgte auf Basis der Tarifangaben der Wienstrom GmbH und der Wiengas, Stand Oktober 2002

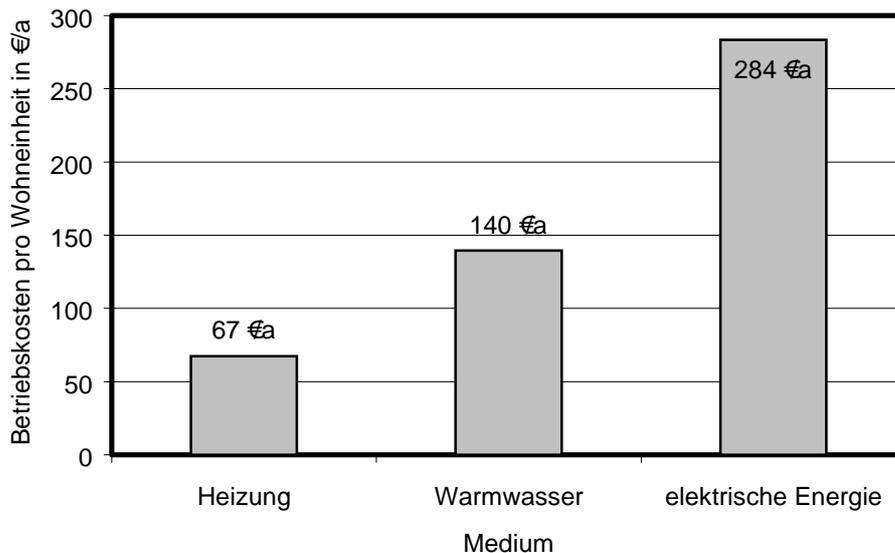


Abb. 95. Durchschnittliche Betriebskosten für Heizung, Warmwasser und elektrische Energie

Den wesentlichen Anteil an den Betriebskosten nimmt die elektrische Energie mit mehr als 60 % ein. Der zweitgrößte Anteil entfällt auf die Warmwasserbereitung, während für Heizung aufgrund der geringen Verbräuche nur etwa 15 % der Gesamtkosten anfallen.

In der nachfolgenden Tabelle ist die Reduktion der Betriebskosten des „Passivwohnbaus Utendorfsgasse“ verglichen mit einer Bauweise im Wiener Niedrigenergiehausstandard angegeben. Hierbei wird nur der Heizwärmebedarf berücksichtigt, da Maßnahmen zur Senkung der Betriebskosten für den Haushaltsstrom bzw. für die Warmwasserbereitung nicht auf Passivhäuser beschränkt sind und somit auch in Niedrigenergiehäusern umgesetzt werden können.

	Bedarf	Einheitspreis	Betriebskosten
	kWh/WE.a	Euro/kWh	Euro/WE.a
Heizwärmebedarf Passivhaus	1.086,75	0,062	67,4
Hilfsstromverbrauch Lüftung	300	0,14	42
Heizwärmebedarf Niedrigenergiehaus	3.375	0,062	209,25

Tab. 58. Vergleich des Heizwärmebedarfs und des Hilfsstromverbrauchs für Lüftung

Der für das Niedrigenergiehaus angesetzte Heizwärmebedarf von 45 kWh/ m<sup>2</sup>.a (bzw. 3.375 kWh für eine Wohneinheit mit einer Größe von 75 m<sup>2</sup>) ergibt sich aus dem Landesgesetzblatt für Wien 19/2000 [LAN00] aus der Anforderungsklasse F (beheiztes Volumen < 3.000 m<sup>3</sup>).

Aus den in Tab. 58 dargestellten Verbräuchen ergeben sich die in nachfolgender Tabelle dargestellten Betriebskosteneinsparungen im Passivhaus, verglichen mit dem Wiener Niedrigenergiehausstandard. [MA02]

Alle Angaben in Tab. 59 beziehen sich auf eine Wohneinheit mit einer Größe von 75 m<sup>2</sup>.

	Betriebskosteneinsparung	
ohne Berücksichtigung des Hilfsstroms für Lüftung	- 141,85 Euro/WE.a	- 67,8 %
unter Berücksichtigung des Hilfsstroms für Lüftung	- 99,85 Euro/WE.a	- 47,7 %

Tab. 59. Reduktion der Betriebskosten im Passivhaus bezogen auf den Wiener Niedrigenergiehausstandard

## 8.7.2 Betriebskostenvergleich Fernwärme - Gas

Im nachfolgenden Kapitel sind die zu erwartenden Betriebskosten für die Wärmebereitstellung (Heizung und Warmwasser) zusammengestellt. Dabei werden die Kosten einerseits für eine Wärmeversorgung mit Gas und andererseits für eine Wärmeversorgung mit Fernwärme dargestellt. Die Kosten pro Wohneinheit sind exemplarisch für eine 75 m<sup>2</sup> Wohnung berechnet. Die angegebenen Einheitspreise errechnen sich aus den Tarifbestimmungen der Fernwärme Wien bzw. der Wiengas<sup>38</sup>.

Die der Berechnung der Kosten zugrundegelegten Verbräuche sind in der Tab. 60 dargestellt. In Tab. 61 sind die entsprechenden Kosten für Versorgung mit Fernwärme bzw. Gas gegenübergestellt.

	Verbrauch pro m <sup>2</sup>	Verbrauch pro Wohneinheit
Heizung	14,49 kWh/m <sup>2</sup> .a	1.086,75 kWh/WE
Warmwasser	30 kWh/m <sup>2</sup> .a	2.250,00 kWh/WE
Gesamt	44,49 kWh/m <sup>2</sup> .a	3.336,75 kWh/WE

Tab. 60. Verbräuche zur Wärmebereitstellung, inkl. USt, Stand 10/2002

Aus der folgenden Tabelle wird ersichtlich, dass die Betriebskosten bei der Verwendung von Gas deutlich niedriger sind als bei der Verwendung von Fernwärme. Der Grund liegt im hohen Einheitspreis für Fernwärme (0,112 Euro/kWh), der sich vor allem aus den hohen Grundkosten (etwa 70 %) ergibt, der bei Haushaltskunden pro m<sup>2</sup> berechnet wird.

Versorgungsmedium	Einheitspreis	Kosten pro m <sup>2</sup>	Kosten pro WE
Fernwärme	0,112 Euro/kWh	4,98 Euro/m <sup>2</sup> .a	373,50 Euro/WE.a
Gas	0,062 Euro/kWh	2,76 Euro/m <sup>2</sup> .a	207,00 Euro/WE.a

Tab. 61. Kosten zur Wärmebereitstellung, inkl. USt, Stand 10/2002

Somit ist bei den derzeitigen Tarifen für Haushaltskunden der Einsatz von Fernwärme aufgrund der hohen Grundgebühr und niedrigeren verbrauchsabhängigen Kosten, verglichen zum Gas, nicht empfehlenswert. Eine geänderte Situation tritt ein, wenn mit der Fernwärme ein Vertrag gemäß Großkumentarif vereinbart werden kann, bei dem die Grundkosten niedriger und die verbrauchsabhängigen Kosten höher sind. Der amtlich festgesetzte Höchstpreis für Großkunden liegt bei 0,0654 Euro/kWh. Die Kosten würden dann für Fernwärme und Gas in etwa gleich hoch sein.

## 8.8 Internationaler Vergleich Bauwerkskosten

Die Ergebnisse der Baukosten werden im folgenden Kapitel in internationalen Kontext gestellt. Die CEPHEUS-Projekte werden hierfür herangezogen. [SCH01]

Die Bezugsdaten der CEPHEUS-Projekte beziehen sich auf:

- a) Bauwerkskosten (Kostenbereiche 2 bis 4 gemäß ÖNORM B 1801-1 bzw. Kostengruppe 300 und 400 gemäß DIN 276)<sup>39</sup>
- b) Energiebezugsfläche (TFA – Treated Floor Area) [SCH01]<sup>40, 41</sup>

<sup>38</sup> Stand Oktober 2002

<sup>39</sup> Baukosten: Kostenbereiche 1 bis 6 gemäß ÖNORM B 1801-1 bzw. Kostengruppe 200 bis 600 gemäß DIN 276

<sup>40</sup> Stimmt nicht mit der Flächenberechnung laut ÖNORM 1800 überein.

<sup>41</sup> Definition Energiebezugsfläche: Die Energiebezugsfläche ist definiert als die Wohnfläche nach der II. Berechnungsverordnung (D) innerhalb der thermischen Hülle. Weder Wintergärten, noch Terrassen und Balkone, noch sonstige Räume, die sich nicht innerhalb der thermischen Hülle befinden, werden berücksichtigt. Keller- und Nebenräume bzw. Räume, die nach den Landesbauordnungen nicht als Wohnraum gelten, die sich aber

Die Baukosten der Utendorfsgasse und des typischen Wiener sozialen Wohnbaus werden wie folgt umgerechnet.

	Baukosten je m <sup>2</sup> WNFL	Gesamtnutz- fläche (WNFL) m <sup>2</sup> WNFL	Gesamtnutz- fläche (TFA) m <sup>2</sup> TFA	Baukosten je m <sup>2</sup> TFA	Bauwerks- kosten je m <sup>2</sup> TFA
Wien sozialer Wohnbau	1.055	2.778	2.809	1.043	1.002
Wien Utendorfsgasse	1.152	2.778	2.809	1.139	1.103

Tab. 62. Umrechnung Baukosten je Wohnnutzfläche auf Bauwerkskosten je Energiebezugsfläche der Utendorfsgasse und des sozialen Wohnbaus, exkl. USt., Basis 2003

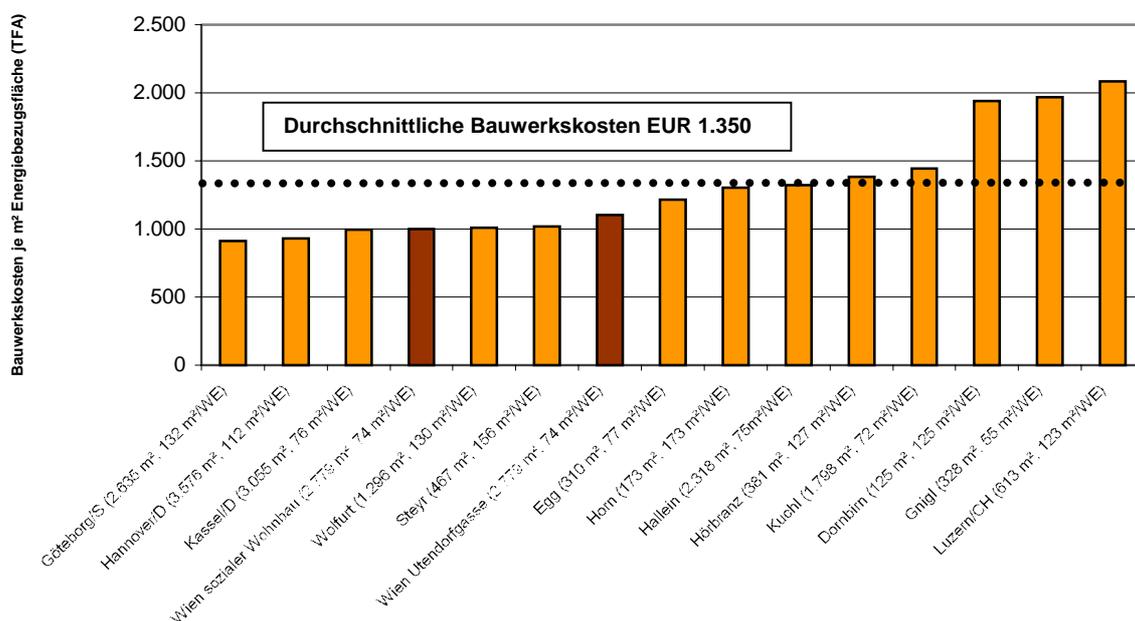


Abb. 96. Bauwerkskosten je Quadratmeter Energiebezugsfläche (TFA) aller CEPHEUS-Projekte, des Demonstrationsvorhabens Wien Utendorfsgasse und eines typischen sozialen Wiener Wohnbaus gemäß ÖNORM B 1801-1 (Kostenbereiche 2 bis 4) [KRA01], [PFL01a], [SCH01]

## Durchschnitt

Die durchschnittlichen Bauwerkskosten aller CEPHEUS-Projekte liegen bei ca. 1.350 Euro je Quadratmeter Energiebezugsfläche.

## Baukosteneinsparung durch eine Erhöhung der Heizlast?

Projekte mit erhöhter Heizlast (Egg, Dornbirn, Gnigl, Horn) sind dadurch nicht billiger als andere Projekte. Die Einhaltung der Heizlast hat keinen ablesbaren Einfluss auf die Baukosten.

innerhalb der thermischen Hülle befinden und mindestens 2 m Raumhöhe aufweisen, dürfen zu 60 % ihrer Fläche zur Energiebezugsfläche hinzugerechnet werden. Grundsätzlich nicht angerechnet werden Flächen über oder unter Treppen bzw. Flächen von Öffnungen in einem Boden, wie bei Galerien oder Luftgeschossen.

## Einfluss der Wohnungsgröße

Größere Wohneinheiten führen durch bessere Umlegung z.B. der Sanitärkosten, d.h. immer ein Bad je Wohneinheit, zu günstigeren Baukosten, wenn diese auf Quadratmeter bezogen werden. Die vergleichsweise günstigen Bauvorhaben Göteborg, Hannover, Wolfurt und Steyr werden durch große Wohnungen von ca. 110 bis 160 m<sup>2</sup> in der Umrechnung begünstigt.

## Sozialer Wohnbau

Der soziale Wohnbau hat immer geringe durchschnittliche Wohnungsgrößen. Ein direkter Baukostenvergleich des sozialen Wohnbaus mit Einfamilien- oder Reihenhäusern kann nur über Kosten pro Wohneinheit erfolgen. Dieser Vergleich ist in Abbildung 2 dargestellt.

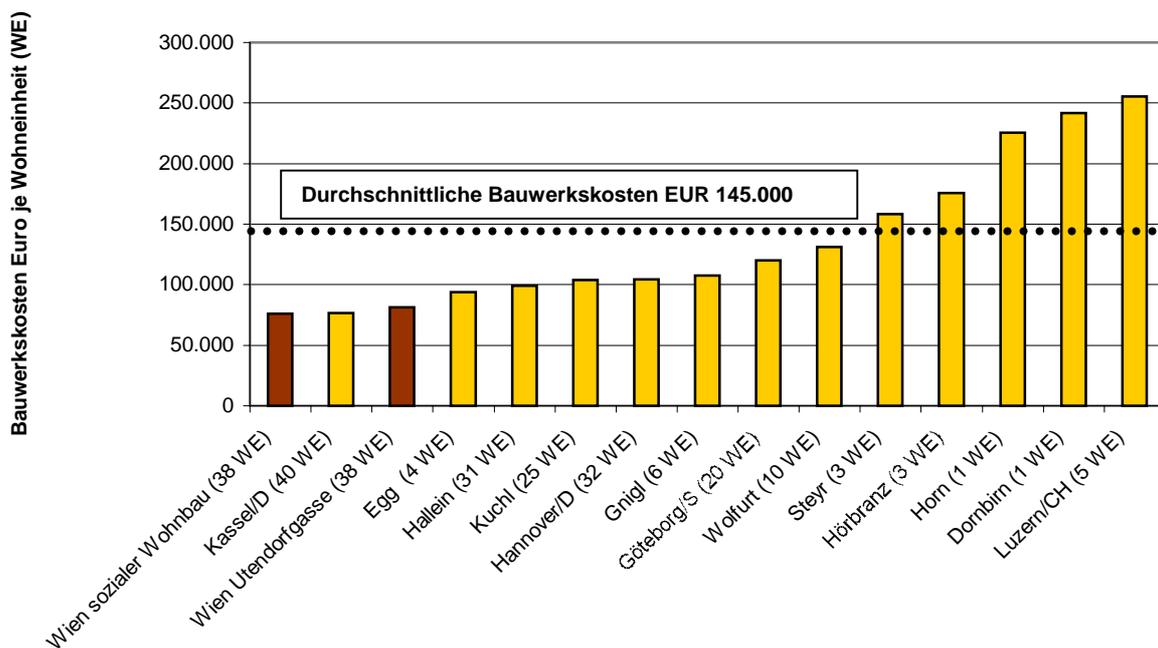


Abb. 97. Bauwerkskosten je Wohneinheit (WE) aller CEPHEUS-Projekte, des Demonstrationsvorhabens Wien Utendorfsgasse und eines typischen sozialen Wiener Wohnbaus gemäß ÖNORM B 1801-1 (Kostenbereiche 2 bis 4) [KRA01], [PFL01a], [SCH01]

Die durchschnittlichen Bauwerkskosten aller CEPHEUS-Projekte liegen bei ca. 145.000 Euro je Wohneinheit.

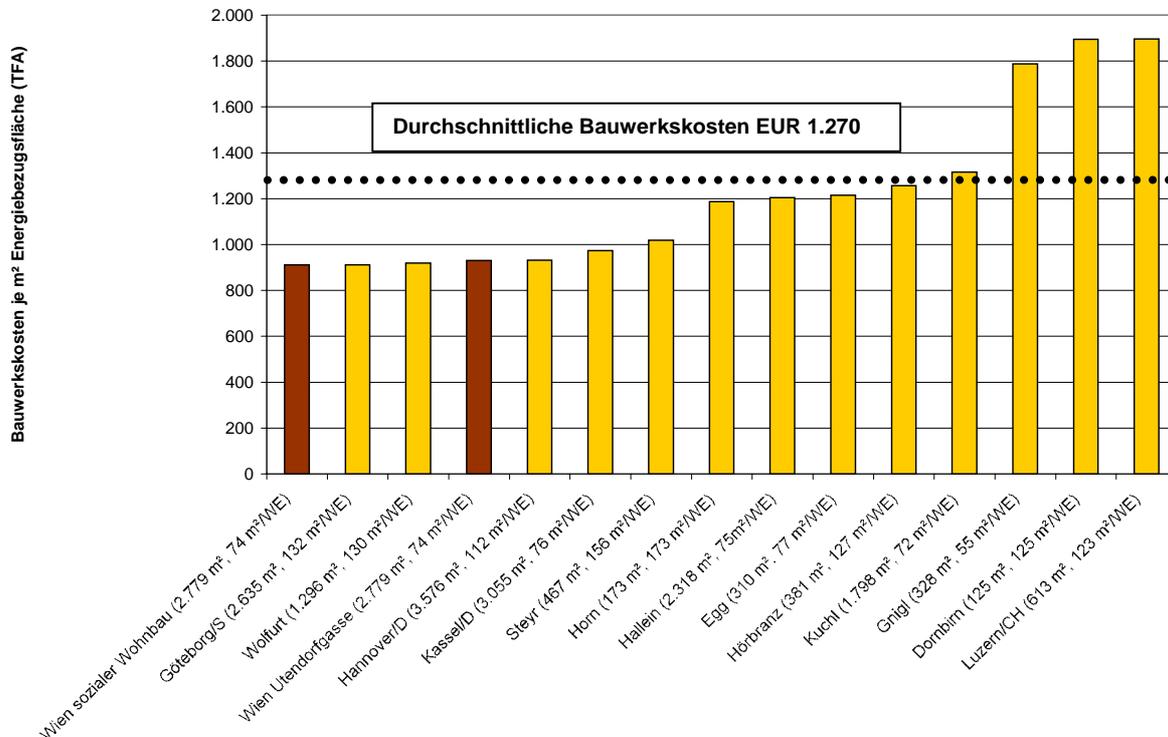
## Vergleich ohne Tiefgarage

Die obigen Vergleiche sind nur bedingt aussagekräftig. Ausstattung und insbesondere die kostenintensiven Tiefgaragen verzerren den Vergleich vor allem im unteren Preissegment.

Die Baukostenleistung der Passivhausprojekte kann nur über das reine Passivgebäude verglichen werden. Projekte mit nicht passivhauspezifischen Tiefgaragen oder Unterkellerung müssen in Relation zu Projekten mit kostengünstigsten ebenerdigen Stellplätzen auf eigenem oder öffentlichem Grund gesetzt werden.

In der folgenden Abbildung wird der Vergleich des eigentlichen Passivhauses, d.h. ohne Tiefgarage oder Unterkellerung, angeführt. Bei Vorliegen der Baukosten der Tiefgarage wurden diese abgezogen (Wien Utendorfsgasse und Wien sozialer Wohnbau). Bei Unkenntnis der Tiefgaragenkosten wurden 9 % der Bauwerkskosten für die Tiefgarage

abgezogen (Wolfurt, Hallein). Bei einer vollen Unterkellerung wurden ebenfalls 9 % der Bauwerkskosten abgezogen (Steyr, Horn, Hörbranz, Kuchl, Gnigl, Luzern). Die Teilunterkellerung wurde mit 25 % bewertet (Kassel, Dornbirn). Bei Projekten ohne Tiefgarage oder Unterkellerung blieben die Bauwerkskosten gleich (Göteborg, Hannover). Beim Sonderfall Egg mit dem „Carport“ wurden ebenfalls 9 % in Abzug gebracht.



**Abb. 98.** Bauwerkskosten des eigentlichen Passivhauses ohne Tiefgarage oder Unterkellerung je Quadratmeter Energiebezugsfläche (TFA) aller CEPHEUS-Projekte, des Demonstrationsvorhabens Wien Utendorfgasse und eines typischen sozialen Wiener Wohnbaus gemäß ÖNORM B 1801-1 (Kostenbereiche 2 bis 4) [KRA01], [PFL01a], [SCH01]

Die durchschnittlichen Bauwerkskosten des eigentlichen Passivhauses aller CEPHEUS-Projekte liegen bei ca. 1.270 Euro je Quadratmeter Energiebezugsfläche.

### **Ergebnis des internationalen Vergleichs**

*Im internationalen Kontext gehört die Utendorfgasse zu den Projekten mit den niedrigsten Baukosten. Im Baukostenvergleich des reinen Passivbaus, d.h. ohne Tiefgaragen oder Unterkellerung, ist Wien sozialer Wohnbau mit 76.000 Euro je Wohneinheit (1.055 Euro je Quadratmeter Wohnnutzfläche) das kostengünstigste Projekt.*

## 9 Analyse der Nutzungstoleranz

### 9.1 Abweichungen vom StandardnutzerInnenverhalten

Die Normverfahren verwenden zur Beschreibung der Situation im Inneren eines Gebäudes Standardnutzungsbedingungen, die von einem Nutzer ausgehen, der sich so verhält, wie das eine große Zahl von Bewohnern im Mittel tun würde. Das reale Verhalten der einzelnen Nutzer kann nun mehr oder weniger vom Standardbenutzerverhalten abweichen. Der quantitative Einfluss solcher Standardabweichungen im Nutzerverhalten wird durch die Reaktionssensitivität des Gebäudesystems bestimmt. So stellt sich die Frage, ob das Fehlverhalten eines oder mehrerer Nutzer das Gesamtsystem überdurchschnittlich beansprucht bzw. der gewünschte Passivhausstandard dadurch nicht mehr zu erreichen ist. Untypische und extreme Nutzungen können die Bausubstanz belasten und folglich auch das Schadensrisiko erhöhen und sind daher von besonderem Interesse. Mögliche Ursachen, dass beim Betrieb eines Gebäudes extreme Verhältnisse entstehen, können sein:

- Wunsch des Nutzers nach hohen oder niedrigen Innentemperaturen
- Übermäßiges Lüften
- Geringes Lüften, z.B. aufgrund von Lärmbelastung bei geöffnetem Fenster
- Geringes Lüften, wenig Heizen durch sparsames Verhalten, um Betriebskosten zu reduzieren
- Rauchen im Innenraum
- Hohe Feuchtelast durch Wäschetrocknen, Pflanzen, Aquarien,...
- Schadstofflast aus Möbeln, Boden, Anstrichen, Farben,...
- Schadstofflasten durch die Haltung von Tieren: Hunde, Katzen,...
- Unzureichende Reparatur und Service der Lüftungsanlage (Zugang in die Wohnung nicht gewünscht)

### 9.2 Grundlagen Risikoanalyse

#### 9.2.1 Begriffsdefinitionen [SRA02]

##### **Risk (Risiko)**

Das Potential für das Eintreten von unerwünschten und nachteiligen Konsequenzen bezüglich Leben und Gesundheit des Menschen, Vermögen oder Umwelt.

##### **Risk analysis (Risikoanalyse)**

ist eine detaillierte Untersuchung einschließlich Risikofestsetzung, -einschätzung und -management, durchgeführt, um die Natur der negativen, unerwünschten Konsequenzen in Bezug auf Leben und Gesundheit des Menschen, Vermögen und der Umwelt zu verstehen. Weiters ist es ein analytischer Prozess um Information im Hinblick auf unerwünschte Auswirkungen eines Ereignisses zu erhalten. Die Quantifizierung der Eintrittswahrscheinlichkeit von identifizierten Risiken und deren Auswirkungen wird erfaßt.

##### **Risk Assessment (Risikofestsetzung)**

Risk Assessment ist ein Prozess zur Festlegung von Risiken, begründet auf Informationen bezüglich der Akzeptierbarkeit von Risikoauswirkungen für eine Einzelperson, eine Gruppe, die Gesellschaft oder die Umwelt.

**Risk estimation (Risikoeinschätzung)**

Dies beinhaltet die Größe, den räumlichen Maßstab, die Dauerhaftigkeit und die Intensität von nachteiligen Konsequenzen und deren Eintrittswahrscheinlichkeit, sowie eine Beschreibung der Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangsparametern (Auswirkungen).

**Risk evaluation (Risikobewertung)**

Ein Teil der Risikofestsetzung, in welcher die Risikosignifikanz und Risikoakzeptanz festgelegt werden.

**Risk identification (Risikoidentifizierung)**

Das Erkennen einer Gefahr und deren Charakterisierung. Risikoidentifizierung kann einerseits auf einem analytischen Prozess beruhen, in welchem versucht wird alle möglichen Gefahren und deren Auswirkungen zu erkennen und andererseits durch einen experimentellen Ansatz begründet sein.

**9.2.2 Aufbau eines Risk assessment Systems****9.2.2.1 Allgemeine Vorgangsweise**

Die einfachste Möglichkeit der Sicherheitsprognose ist das Übertragen von Störfallhäufigkeiten und -arten aus der Vergangenheit auf die Zukunft ohne auf die Zusammenhänge bedacht zu nehmen, welche zum jeweiligen Störfall geführt haben. In einem qualitativen Modell lassen sich jedoch bereits Ursachen von Störfällen erkennen.

Ein wirklich geeignetes Prognoseinstrument ist eine Risikoanalyse, die alle Ursachen-Wirkungsbeziehungen qualitativ und quantitativ erfasst. Der Vorteil der einfachen Übernahme der Störfallauswertung aus der Vergangenheit liegt mit Sicherheit im vergleichsweise geringen Aufwand der Anwendung. Im Gegensatz dazu steht die quantitative Modellrechnung, welche umfangreiche Erhebungen und statistische Auswertungen erfordert (siehe nachstehende Abbildung).

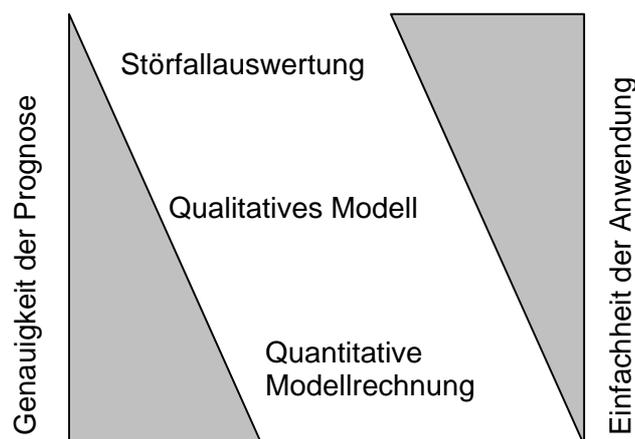


Abb. 99. Prognoseansätze

Das Prinzip der Risikoanalyse besteht darin, den Systemablauf zu modellieren, welcher zu einem Störfall führen kann. Ein Störfall sei wie folgt definiert:

„Ein Störfall im Passivhaussystem liegt dann vor, wenn durch ein bestimmtes Verhaltensmuster der Benutzer oder durch den Ausfall oder die Fehlfunktion von kritischen

Anlagenteilen (z.B. Lüftung) die Behaglichkeitsgrenzen in einer Wohneinheit oder im gesamten System über- bzw. unterschritten werden.“ Nicht jedes Fehlverhalten oder jede Fehlfunktion führt zu einem „Störfall“, d.h. das System reagiert auf diese Fehler nicht sensitiv und kann sie daher ohne jede Auswirkung für die Behaglichkeit der Nutzer abfedern.

Das Passivhaussystem stellt in seiner Gesamtheit ein umfangreiches und vielschichtiges dynamisches System dar. Es setzt sich aus mehreren Teilsystemen zusammen:

- NutzerInnen (BewohnerInnen, BesucherInnen in ihrer Altersstruktur und mit ihren psychischen und physischen Eigenschaften)
- Hausverwaltung einschließlich Personal, Regeln usw.
- Technische Anlagen (Lüftung, E-Geräte, Warmwasserbereitung usw.)
- Bauteile (Fenster, Türen, Wände usw.)
- Bruttofläche/-räume (Allgemeinflächen/-räume, Erschließungsflächen/-räume, Wohnflächen/-räume)
- Gesellschaft (Gruppen, Normen, Gesetze)

Alle Teilsysteme stehen untereinander in Wechselwirkung. Änderungen in einem Teilsystem bewirken Änderungen in den anderen Teilsystemen. Beispielsweise wirkt sich eine Änderung im Nutzerverhalten (z.B. Raucher) auf das Bauteil „Fenster“ (geöffnet), dieses sich wiederum auf die technische Anlage „Lüftung“ aus, und dies hat Folgen auf das Behaglichkeitsgefühl der Nutzer (geschlossener Regelkreis – außer wenn andere Nutzer als die „Raucher“ betroffen sind). Dagegen hat eine Änderung im Teilsystem Gesellschaft z.B. eine allgemein schlechte Wirtschaftslage mit hoher Arbeitslosigkeit nicht sofort zur Folge, dass alle Benutzer versuchen möglichst wenig Energie zu verbrauchen um Betriebskosten zu sparen oder auch umgekehrt.

Am Beispiel der erwähnten Teilsysteme, welche sich wiederum in einzelne Untersysteme differenzieren lassen, wird deutlich, wie umfangreich die Modellbildung werden müsste, will man alle nur denkbaren Einflüsse und Abhängigkeiten (Ursache-Wirkungsbeziehung) erfassen, die direkt oder indirekt den Prozessablauf bestimmen und zur endgültigen Situation führen. Die Modellierung wird also umso schwieriger, je spezieller das Systemverhalten dargestellt werden soll.

Im Interesse eines statistisch abgesicherten, aussagekräftigen Ergebnisses müssten eine große Anzahl spezieller Situationen im Ablauf simuliert und danach analysiert werden. Da dies vom wirtschaftlichen Aufwand her kaum möglich ist, bietet es sich an, statt mit Einzelwerten mit statistischen Verteilungen zu arbeiten. Statistische Verteilungen können die zahlreichen Ungewissheiten und Streuungen berücksichtigen.

### 9.2.2.2 Systemansatz theoretisch

Nach [LIP94] besteht eine Risikoanalyse aus 3 Phasen:

#### Qualitative Modellbildung

- Erfassen aller wichtigen Größen, die mit dem zu untersuchenden Problem direkt oder indirekt in Zusammenhang stehen (können). Alle Größen sollten sich zahlenmäßig beschreiben lassen (durch Einzelwerte oder Verteilungen siehe auch [BEC01]).
- Eingrenzen des Systemumfangs. Es wird überprüft, ob sich alle erfassten Größen sowohl quantitativ als auch qualitativ in die spätere Berechnung einbeziehen lassen. Ist das nicht möglich, sind entweder sinnvolle Annahmen zu treffen oder diese Teile vorerst bei der Risikoanalyse auszuklammern.
- Festlegen einer zweckmäßigen Gliederung des Systems. Bei Risikoanalysen wird es sich in der Regel um eine ablauforientierte Gliederung handeln.
- Ordnen der erfassbaren Größen nach Situationen und Abläufen. Hier ist festzulegen, ob sie Teile des „Systeminneren“ sind oder von „Außen“ als Randbedingung oder Störgrößen wirken.
- Logisches Zusammenfügen der Situationen und Abläufe hinsichtlich ihrer Ursache-Wirkungs-Beziehungen entsprechend der gewählten Systemgliederung.
- Überprüfen und Verbessern des Modells, z.B. nach Diskussion mit anderen Fachdisziplinen, indem verschiedene tatsächlich auftretende „Störfälle“ nachvollzogen werden.

#### Quantifizierung

- Belegen aller Situationen und Abläufe des Modells mit der Häufigkeit ihres Auftretens (Einzelwerte, Verteilungen)
- Modellrechnung mit bekannten Eingangsgrößen
- Überprüfen der Ergebnisse anhand von realistischen Vergleichswerten oder Erfahrungen. Bei Bedarf Korrektur einzelner Annahmen und Verfeinerung des Modells (Justierung, Eichung, Validierung der Simulation).

#### Auswertung

- Modellrechnung in mehreren Varianten mit jeweils unterschiedlicher Abhängigkeit, um den Einfluss einzelner Größen auf das Gesamtergebnis zu ermitteln (Sensitivitätsanalyse) und Beschränkung auf die wichtigsten Einflussgrößen
- Darstellen der Ergebnisse

### 9.2.3 Gebäudemodell in BSim2000

Das verwendete Klimasimulationsprogramm BSim2000 [BSI02] ist fähig, haustechnische Anlagen sowie Energie- und Massenströme in Gebäuden zu simulieren, insbesondere thermisches Innenklima, Tageslichtzustand, Luftfeuchtigkeit, Energieverbrauch, Kontrollfaktoren und Nutzung von passiver Solarenergie.

Die Zonen eines Gebäudes werden durch Geometrie, Konstruktion und Nutzerprofile, die das Verhalten der Benutzer idealisieren, beschrieben. Im gegenwärtigen Fall entsprechen die Zonen den Wohnungen bzw. dem Stiegenhaus des Bauwerkes.

## Grundvariante

In der folgenden Abbildung ist das BSim2000-Modell des Demonstrationsprojektes Wien Hütteldorf dargestellt.

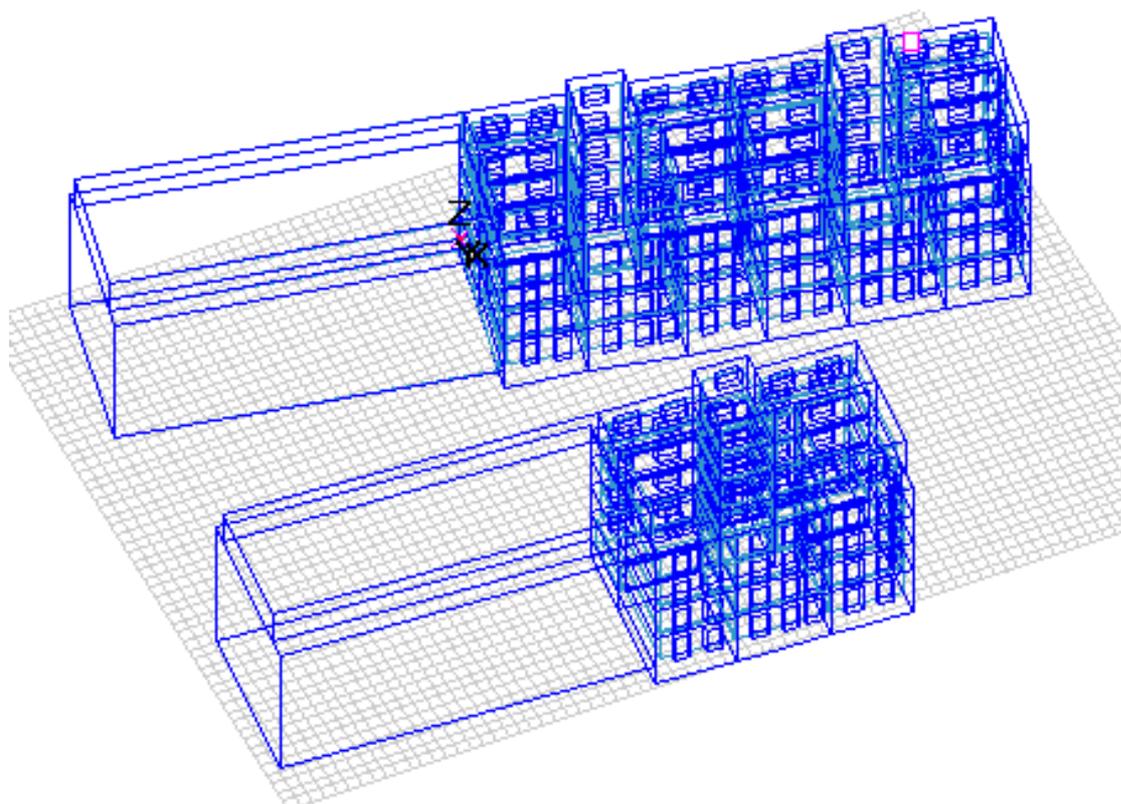


Abb. 100. BSim2000-Modell

Der Referenzfall (Grundvariante) wurde im Simulationsprogramm BSim2000 aus folgenden Konstruktionen der Anfangsplanungsphase der Utendorfgasse aufgebaut:

Konstruktion	thermisch relevante Schichten	Dicke in cm	U-Wert in W <sup>2</sup> /K
Außenwand und Wand zum Nachbargebäude	Stahlbeton	20	0,13
	Wärmedämmung	30	
Oberste Geschoßdecke	Stahlbeton	20	0,10
	Wärmedämmung	40	
Bodenplatte	Estrich	6	0,14
	Trittschalldämmung	2	
	Stahlbeton	20	
	Wärmedämmung	25	
	Erdreich		
Wohnungstrenndecke	Estrich	6	0,98
	Trittschalldämmung	2	
	Stahlbeton	20	
Wohnungstrennwand	Gipskartonplatte	1,5	0,61
	Dämmung	5	
	Stahlbeton	20	
Stiegenhaustrennwand	Gipskartonplatte	1,5	0,35
	Dämmung	10	
	Stahlbeton	20	

Tab. 63. Aufbauten der Grundvariante in BSim2000

Die verwendeten Fenster weisen einen  $U_w$ -Wert von  $0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$  und einen  $g$ -Wert von  $0,53$  auf. Sämtliche Fensteröffnungen wurden an der Nordseite mit einer Größe von  $B/H = 185/135 \text{ cm}$  und an der Süd- und Ostseite mit einer Fenstertürgröße von  $B/H = 125/220 \text{ cm}$  angenommen. Das Stiegenhaus wurde in die thermische Gebäudehülle mit einbezogen und erhält daher ebenso je Geschöß ein Fenster mit einem Ausmaß von  $B/H = 185/135 \text{ cm}$  und im EG eine Tür mit einem Ausmaß von  $B/H = 185/220 \text{ cm}$ .

Der Luftwechsel wurde mit  $0,5 / \text{h}$  und der Wärmerückgewinnungsgrad mit  $0,8$  festgelegt. Die Heizlast wurde mit  $10 \text{ W/m}^2$  begrenzt und die Sollinnenlufttemperatur wurde mit  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  angesetzt. Bei den  $50 \text{ m}^2$  großen Wohnungen wurde von einer Belegung mit 2 Personen und bei den  $80 \text{ m}^2$  großen mit 3,5 Personen ausgegangen. Die inneren Lasten wurden entsprechend der Belegung gewählt. Die Grundvariante ist dem Klima des Jahres 1997 von Wien, gemessen durch die Hohe Warte, ausgesetzt. Die südseitigen Balkone wurden mit einer mittleren Breite von  $1,55 \text{ m}$  idealisiert. Es ist keine Verschattung durch Bewuchs berücksichtigt und der Höhenwinkel des Horizontes wurde mit  $10^\circ$  festgelegt.

Die Risikoanalyse und Variantenbildung erfolgt ausschließlich am Südgebäude (Haus 3 bzw. Stiegenhaus 3). Die Referenztauglichkeit des Südgebäudes beruht auf einer größeren Übersicht über die Wohnungstypen, dem schlechteren Verhältnis Gebäudevolumen (bzw. Außenfläche) / Nutzfläche im Vergleich zum Nordgebäude und der Tatsache, dass die Verschattung, aufgrund der diffusen Solargewinne, den Heizwärmebedarf des Nordgebäudes bezogen auf  $1 \text{ m}^2$  Wohnnutzfläche nur um  $0,6 \%$  verschlechtert.

### Empfundene Temperatur, Heizwärmebedarf und Heizlast

In der folgenden Abbildung sind die mit BSim2000 ermittelten Heizwärmebedarfswerte der Grundvariante des Stiegenhauses 3 dargestellt.

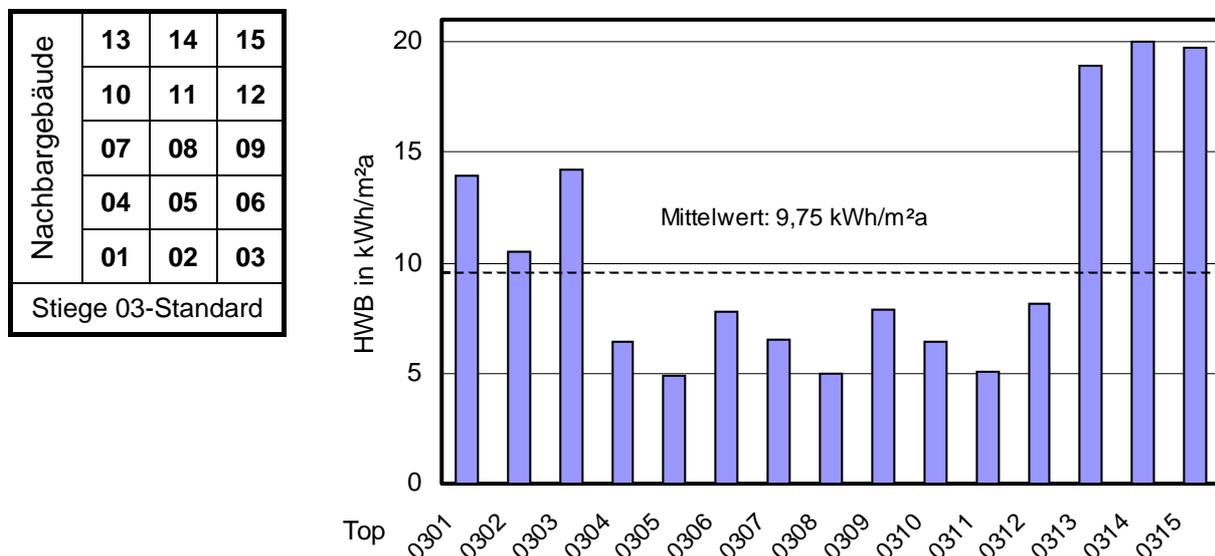


Abb. 101. Schema der Wohnungsanordnung und Heizwärmebedarf der Referenzvariante<sup>siehe Fußnote</sup>

#### **Ergebnis Empfundene Temperatur Heizwärmebedarf und Heizlast:**

In der Grundvariante kann mit der Heizlast von  $10 \text{ W/m}^2$  und einem mittleren Heizwärmebedarf von  $9,75 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ <sup>42</sup> eine resultierende Temperatur von  $22 \text{ }^\circ\text{C}$  erreicht werden.

<sup>42</sup> Hinweis: Der angegebene Wert bezieht sich, wie beschrieben, auf den Anfangsplanungsstand der Utendorfasse.

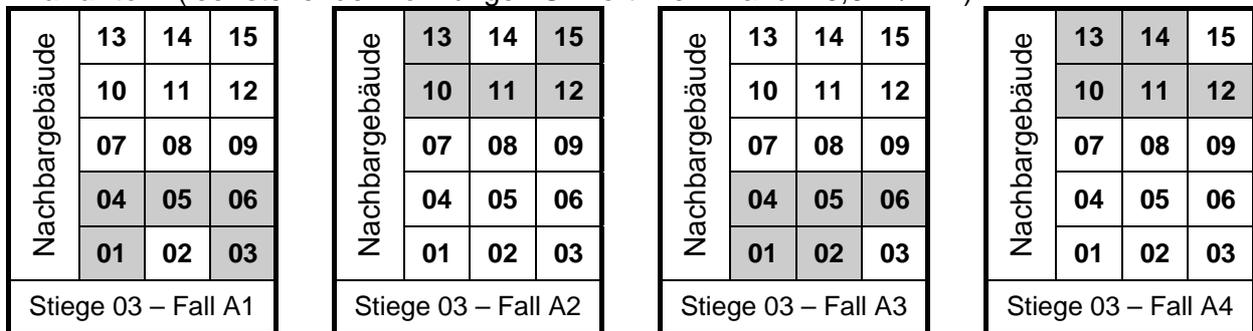
### 9.3 Untersuchung von leer stehenden Wohnungen

Mit einer Simulationsrechnung wurde das Haus 3 untersucht, um den Einfluss von leer stehenden Wohnungen auf das Erreichen der Komfortkriterien festzustellen.

Variante A (leer stehende Wohnungen) stellt das Risiko von unbewohnten Wohnungen und deren Auswirkungen auf eine dazwischen situierte bewohnte Wohnung dar. Die Wohnungstrennwände dieser Variante bestehen aus einer Stahlbetonwand mit einer Vorsatzschale und weisen einen U-Wert von 0,6 W/m<sup>2</sup>K auf. Im Sinne der Risikoanalyse wurde hier von einem „worst case – Szenario“ ausgegangen und sämtliche Wohnungen, welche an die untersuchte Wohnung angrenzen, als unbewohnt angenommen. Dabei wurde die Standardbelegung für die unbelegten Wohnungen wie folgt verändert:

- keine Verschattung durch Jalousien, keine künstliche Beleuchtung,
- keine inneren Lasten, kein natürliches oder mechanisches Lüften

**Variante A** (leer stehende Wohnungen U-Wert Trennwand = 0,6 W/m<sup>2</sup>K)



unbeheizte Zone

Tab. 64. Variantenspezifikation A (leer stehende Wohnungen) – Systemlängsschnitt durch das Haus 3 mit Blickrichtung Norden

#### 9.3.1 Temperaturverläufe

In diesem Abschnitt ist die empfundene Temperatur der Variante A4 dargestellt, da diese aufgrund der unbeheizten Nachbarwohnungen bzw. des angrenzenden Außenbereiches den kritischsten Fall bilden. Die Ergebnisse der anderen Varianten verhalten sich ähnlich. In der folgenden Abbildung sind die resultierenden Temperaturen der betroffenen Wohnungen des Falles A4 dargestellt.

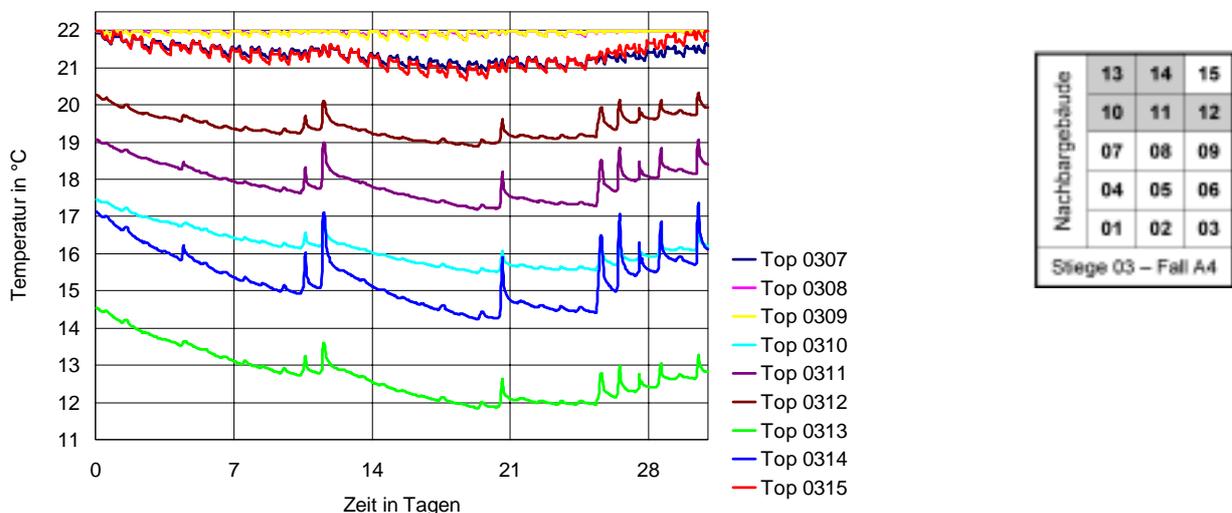


Abb. 102. Temperaturverlauf Jänner der betroffenen Wohnungen – Fall A4

Wohnungen, die an beheizte angrenzen, werden durch Querwärmeströme mitgeheizt. Die tiefsten empfundenen Temperaturen stellen sich im Fall A 4 mit ca. 12 °C in Top 13 ein, da keine der Nachbarwohnung beheizt ist.

Im Fall A4 weist die Wohnung Top 06 eine verhältnismäßig hohe Mindesttemperatur von 18,9 °C auf und eine Jahresdurchschnittstemperatur von 22,6 °C. Im Jänner pendelt sich die Durchschnittstemperatur bei 19,8 °C ein. Top 07 liegt unter zwei unbeheizten Tops und weist daher leicht erhöhte Wärmeverluste im Vergleich zu Top 09 auf, welche sich im Temperaturverlauf widerspiegeln.

Das beheizte Top 15 weist eine Mindesttemperatur von 20,8 °C auf und eine marginal veränderte Jahresdurchschnittstemperatur von 22,6 °C. Im dargestellten kältesten Monat ist der Abfall der Temperatur um bis zu 1,2 °C ersichtlich. Die empfundene Temperatur liegt im akzeptablen Bereich zwischen 20 °C und 22 °C.

In der folgenden Abbildung sind Unterschreitungszeiten der empfundenen Temperaturen des Falles A4 dargestellt.

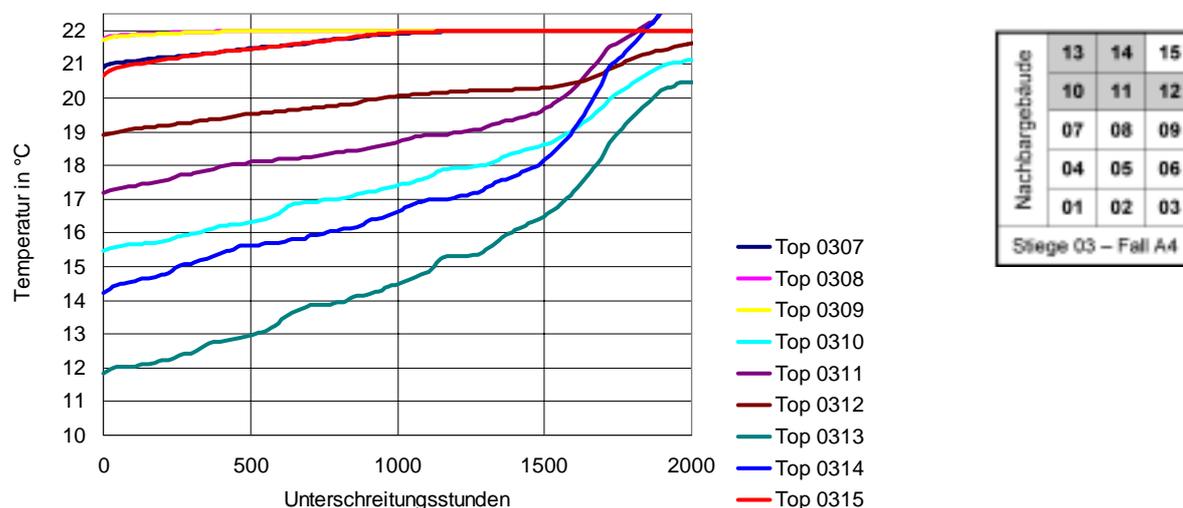


Abb. 103. Unterschreitungsstunden von Dezember bis Februar – Fall A4

Die beheizte Wohnung Top 15 weist eine Abweichung zur Solltemperatur von maximal 1,2 °C für bis zu 1.200 Stunden (ca. 13 % der Gesamtzeit) auf. Dies liegt aufgrund des Überschreitens der Normheizgrenze von 20 °C im tolerierbaren Bereich. Die schlechteren Werte der Wohnung Top 07, wo die Temperatur für ca. 1.800 Stunden auf unter 22 °C absinkt, im Vergleich zu Top 08 und Top 09 sind durch den höheren Anteil an Transmissionswärmeverlusten nach außen und über die unbeheizten darüber liegenden Wohnungen begründet.

### 9.3.2 Heizwärmebedarf

In der folgenden Tabelle ist der Heizwärmebedarf der Standardbelegung und der Varianten A1 bis A4 aufgelistet.

Variante / Stichwort		Standard		A 1		A 2		A 3		A 4	
		Normalbelegung		1,3,4,5,6 unbelegt		10,11,12,13,15 unbelegt		1,2,4,5,6 unbelegt		10,11,12,13,14 unbelegt	
Top	WNF	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>
	m <sup>2</sup>	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a
0301	88,53	1234	13,94	0	0,00	1121	12,66	0	0,00	1105	12,49
0302	49,14	514	10,46	1077	21,91	531	10,81	0	0,00	520	10,59
0303	79,77	1130	14,17	0	0,00	1153	14,45	1601	20,07	1139	14,28
0304	88,53	568	6,42	0	0,00	610	6,89	0	0,00	608	6,87
0305	49,14	242	4,92	0	0,00	252	5,13	0	0,00	244	4,97
0306	79,77	623	7,81	0	0,00	684	8,57	0	0,00	629	7,88
0307	88,53	581	6,56	1430	16,15	1454	16,42	1472	16,62	1459	16,47
0308	49,14	244	4,96	423	8,60	465	9,45	554	11,27	576	11,73
0309	79,77	632	7,92	1444	18,11	1437	18,01	999	12,52	1028	12,88
0310	88,53	572	6,46	589	6,66	0	0,00	595	6,73	0	0,00
0311	49,14	247	5,03	252	5,13	0	0,00	249	5,07	0	0,00
0312	79,77	648	8,12	684	8,57	0	0,00	653	8,18	0	0,00
0313	52,36	993	18,96	1001	19,12	0	0,00	999	19,09	0	0,00
0314	27,10	542	20,02	552	20,35	1003	37,03	550	20,29	0	0,00
0315	49,14	967	19,69	975	19,85	0	0,00	974	19,83	1347	27,41
Σ	998,36	9736	9,75	8426	8,44	8709	8,72	8646	8,66	8655	8,67
<b>tatsächlich beheizte Fläche in m<sup>2</sup></b>				612,62		679,42		643,25		701,46	
<b>HWB bezogen auf die tat. beheizte Fläche in kWh/m<sup>2</sup>a</b>				<b>13,75</b>		<b>12,82</b>		<b>13,44</b>		<b>12,34</b>	

Abb. 104. Heizwärmebedarf Variante A

Um die Mehrverbräuche monetär bewerten zu können, wurde von einem Gaspreis inkl. USt. von 0,062 Euro/kWh (Wien Gas) ausgegangen.

Im Fall A1 erhöht sich der Heizwärmebedarf in der Wohnung Top 02 auf 1.077 kWh/a, was zusätzliche Heizkosten von ca. Euro 35 pro Jahr verursacht. Durch die leer stehenden Wohnungen 04, 05, und 06 erhöht sich der Heizwärmebedarf der darüber liegenden Wohnungen mehr als der Heizwärmebedarf der von leer stehenden Wohnungen umgebenen Wohnung Top 2. Die Erhöhung der Heizkosten beträgt in Top 07 ca. Euro 53 und in Top 08 ca. Euro 11. Für die Wohnung Top 09 ergibt sich ein Mehraufwand von ca. Euro 51. In den übrigen Varianten ist das Ergebnisszenario vergleichbar.

### 9.3.3 Ergebnisse leer stehende Wohnungen

Aus den Rechnungen ist erkennbar, dass die Wärmestromrichtung eine untergeordnete Rolle spielt und die Wärmedämmung zwischen den Wohnungen maßgeblich ist.

Bei der Jahressimulation kam es zu einer maximalen Erhöhung der Heizkosten um ca. Euro 53 pro Jahr. Absolut gesehen ist dieser Kostenanteil wenig bedeutsam. Aus Sicht der Bewohner könnte die Erhöhung des Heizenergieverbrauches bis zum 2,5-fachen ein psychisches Problem darstellen.

#### **Ergebnis leer stehende Wohnungen:**

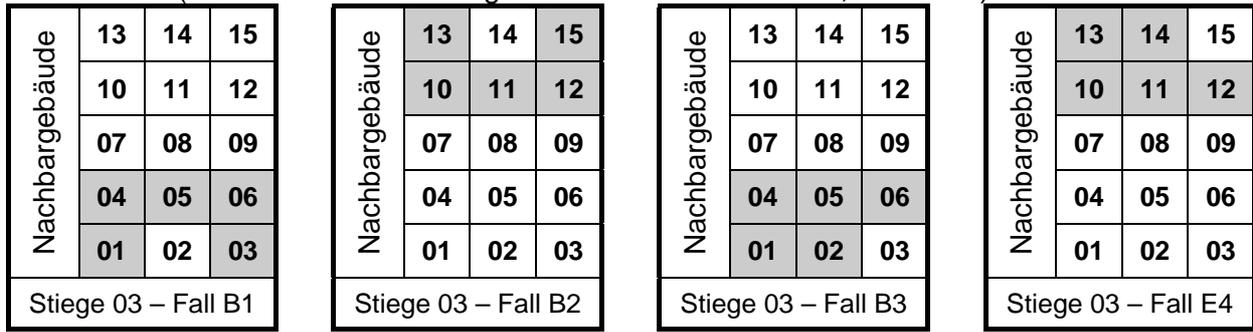
*Das Risiko der Nichteinhaltung des thermischen Komforts durch den Einfluss von leer stehenden Wohnungen kann bei Ausführung der Trennwände gemäß Bauordnung aus bauphysikalischer und wirtschaftlicher Sicht als unerheblich bezeichnet werden.*

## 9.4 Untersuchung Wohnungstrennwände

Bei dieser Simulationsrechnung wurde der Einfluss des Dämmniveaus der Trennwände zwischen den Wohnungen untersucht, um den Einfluss auf das Erreichen der Komfortkriterien festzustellen.

Ausgehend von Variante A wurde bei Variante B der Aufbau der Wohnungstrennwand verändert. Diese besteht hier aus einer 20 cm starken Stahlbetonwand mit einem U-Wert von 2,61 W/m<sup>2</sup>K.

**Variante B** (leer stehende Wohnungen U-Wert Trennwand = 2,61 W/m<sup>2</sup>K)



Leer stehende Wohnungen

Tab. 65. Variantenspezifikation B (leer stehende Wohnungen) – Systemlängsschnitt durch das Haus 3 mit Blickrichtung Norden

### 9.4.1 Temperaturverläufe

In diesem Abschnitt ist die empfundene Temperatur der Variante B1 dargestellt, da diese aufgrund der Trennbauteileigenschaften den kritischsten Fall bildet. In der folgenden Abbildung sind die resultierenden Temperaturen der betroffenen Wohnungen des Falles B1 dargestellt.

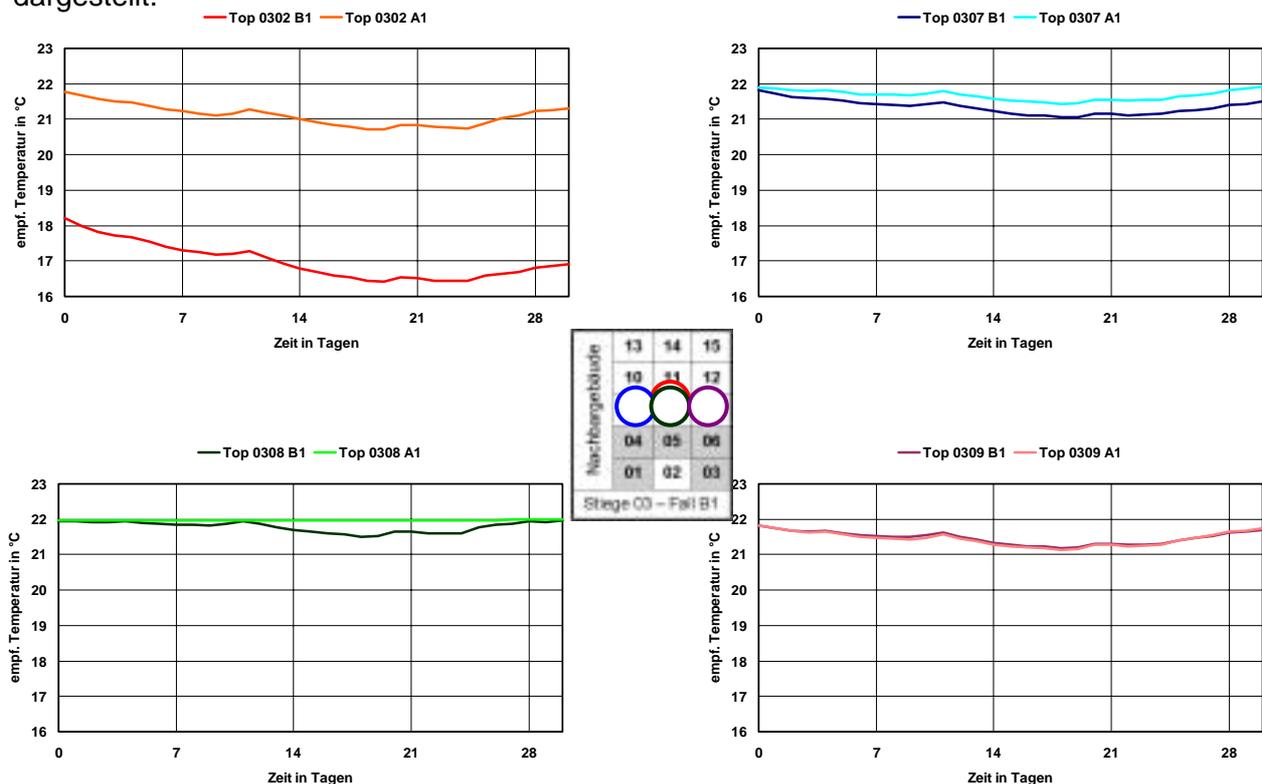


Abb. 105. Temperaturverlauf Jänner 1997 der betroffenen Wohnungen – Fall B1

Der Temperaturverlauf der untersuchten Wohnung wird durch den U-Wert der Wohnungstrennwände von 2,61 W/m<sup>2</sup>K stärker von den thermischen Zuständen in den Nachbarwohnungen abhängig. Die Wohnungstrenndecke bleibt gleich. Daher verhalten sich die Wohnungen Top 07, 08, 09 über den unbeheizten Zonen annähernd wie bei Variante A. Die empfundene Temperatur in der untersuchten Wohnung liegt im dargestellten Monat Jänner bei einem Minimum am 20.01. von 16,3 °C. Die Monatsmitteltemperatur beträgt 17,0 °C und liegt somit unter den geforderten Komfortwerten.

In der folgenden Abbildung sind Unterschreitungszeiten der empfundenen Temperaturen des Falles B1 dargestellt.

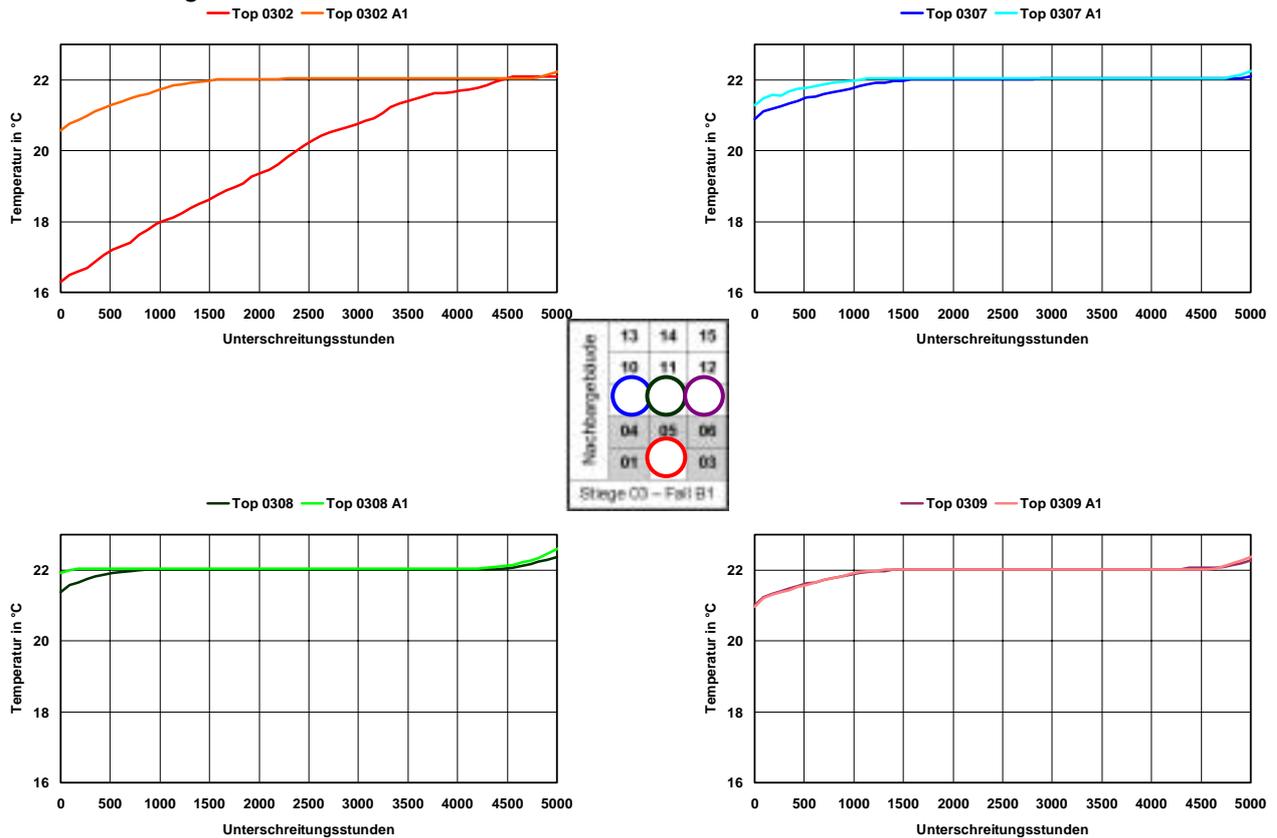


Abb. 106. Unterschreitungsstunden – Fall B1

Bei Fall B1 sind im Top 0302 4.400 Stunden unter dem gewünschten Temperaturniveau von 22 °C. Es sind daher ca. 2.900 Stunden mehr unter der Komfortgrenze als im Fall A, das sind bezogen auf Fall A ca. 194% mehr.

### 9.4.2 Heizwärmebedarf

In der folgenden Tabelle ist der Heizwärmebedarf der Standardbelegung und der Varianten B1 bis B4 aufgelistet.

Im Fall B1 erhöht sich der Heizwärmebedarf in der Wohnung Top 02 auf 1.994 kWh/a, was eine Mehrbelastung von ca. Euro 91 entspricht. Die Heizkostenerhöhung beträgt in Top 07 ca. Euro 70 und in Top 08 ca. Euro 31. Für die Wohnung Top 09 ergibt sich ein Mehraufwand von ca. Euro 54. In den übrigen Varianten ist das Ergebnisszenario vergleichbar.

Variante / Stichwort		Standard		B 1		B 2		B 3		B 4	
		Normalbelegung		1,3,4,5,6 unbelegt		10,11,12,13,15 unb.		1,2,4,5,6 unbelegt		10,11,12,13,14 unb.	
Top	WNF	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>	HWB	HWB <sub>bez.</sub>
	m <sup>2</sup>	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a	kWh/a	kWh/m <sup>2</sup> a
0301	88,53	1234	13,94	0	0,00	3021	34,13	0	0,00	3021	34,12
0302	49,14	514	10,46	1994	40,57	794	16,16	0	0,00	789	16,06
0303	79,77	1130	14,17	0	0,00	1175	14,73	2259	28,32	1145	14,35
0304	88,53	568	6,42	0	0,00	956	10,80	0	0,00	959	10,83
0305	49,14	242	4,92	0	0,00	234	4,76	0	0,00	232	4,71
0306	79,77	623	7,81	0	0,00	659	8,26	0	0,00	632	7,93
0307	88,53	581	6,56	1706	19,27	1425	16,09	1768	19,98	1488	16,81
0308	49,14	244	4,96	752	15,31	669	13,61	775	15,78	682	13,87
0309	79,77	632	7,92	1500	18,81	1445	18,12	1213	15,21	1176	14,74
0310	88,53	572	6,46	619	6,99	0	0,00	623	7,03	0	0,00
0311	49,14	247	5,03	252	5,14	0	0,00	249	5,08	0	0,00
0312	79,77	648	8,12	685	8,59	0	0,00	659	8,27	0	0,00
0313	52,36	993	18,96	1012	19,33	0	0,00	1011	19,31	0	0,00
0314	27,10	542	20,02	554	20,44	1526	56,31	553	20,40	0	0,00
0315	49,14	967	19,69	983	20,01	0	0,00	982	19,99	1788	36,38
Σ	998,36	9736	9,75	10059	10,08	11904	11,92	10093	10,11	11911	11,93
<b>tatsächlich beheizte Fläche in m<sup>2</sup></b>				<b>612,62</b>		<b>679,42</b>		<b>643,25</b>		<b>701,46</b>	
<b>HWB bez. auf die tat. beheizte Fläche in kWh/m<sup>2</sup>a</b>				<b>16,42</b>		<b>17,52</b>		<b>15,69</b>		<b>16,98</b>	

Tab. 66. Heizwärmebedarf Variante B

Die Auswertung der Änderung des Heizwärmebedarfs erfolgt mittels nachstehender Tabelle im Vergleich der Standardbelegung mit Variante A und Variante B.

Top	B1/Standard		B1/A1		B2/Standard		B2/A2	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
0301					1787	245%	1900	270%
0302	1480	388%	917	185%	280	155%	263	149%
0303					45	104%	22	102%
0304					388	168%	346	157%
0305					-8	97%	-18	93%
0306					36	106%	-25	96%
0307	1125	294%	276	119%	843	245%	-29	98%
0308	509	309%	330	178%	425	274%	204	144%
0309	869	238%	56	104%	814	229%	8	101%
0310	47	108%	29	105%				
0311	5	102%	0	100%				
0312	38	106%	2	100%				
0313	20	102%	11	101%				
0314	12	102%	3	100%	984	281%	523	152%
0315	16	102%	8	101%				

Tab. 67. Mehrbedarf an Heizwärme im Vergleich von B1 mit Standard, von B1 mit A1, von B2 mit Standard und von B2 mit A2

Der Heizwärmebedarf im Fall B1 Top 02 steigt im Verhältnis zur Standardbelegung auf 388 %, was eine Mehrbelastung von ca. Euro 91 bedeutet. Die Änderung der Trennwandkonstruktion von A1 auf B1 erhöht den HWB um etwa 85 % und die Kosten um ca. Euro 57.

### 9.4.3 Heizlast

In den folgenden Abbildungen sind die Heizlasten der betroffenen Wohnungen des Falles B1 im Vergleich zu Fall A 1 dargestellt.

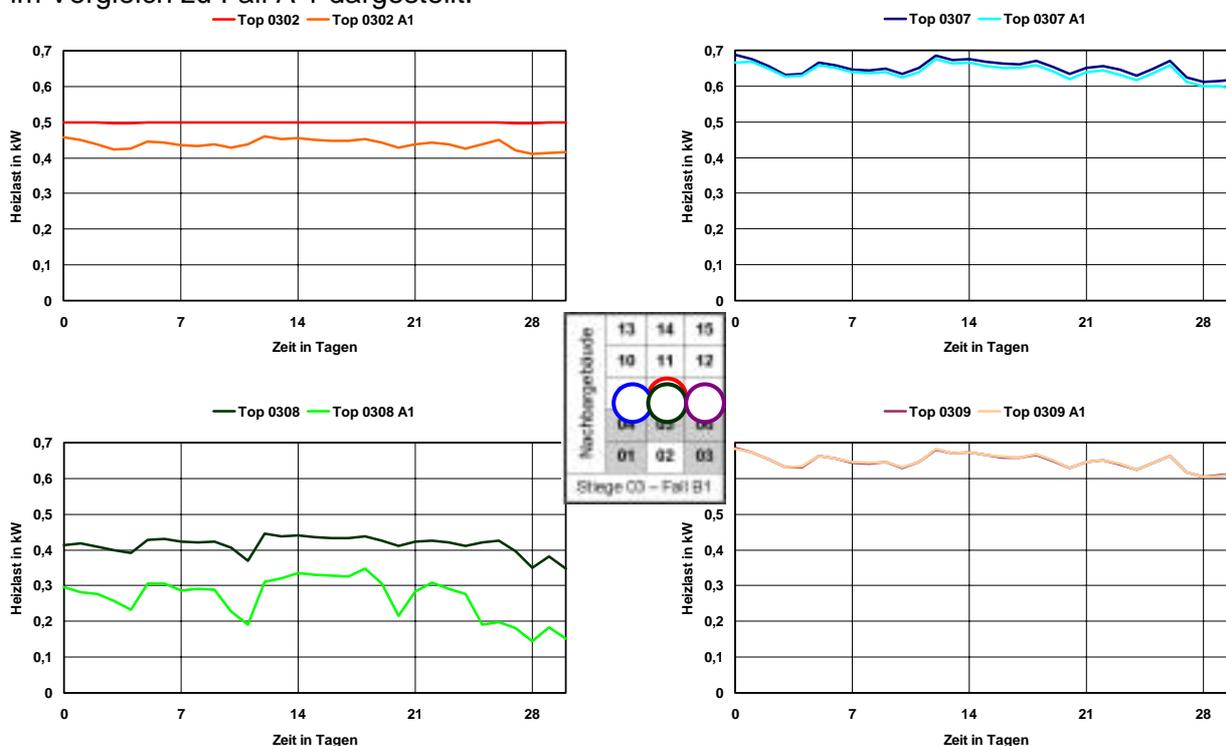


Abb. 107. Heizlast Jänner der betroffenen Wohnungen – Fall B1

Anhand der vorstehenden Abbildungen der Heizlast für Fall B1 ist für Top 02 ersichtlich, dass die Heizspirale der Lüftungsanlage den gesamten Jänner unter Vollast von ca. 0,5 kW läuft. Die gewünschte Temperatur kann somit hier nicht erreicht werden. Die Heizlasten der im 2. Obergeschoss darüber liegenden Wohnungen pendeln sich im Nahbereich der maximal möglichen Heizlast ein.

### 9.4.4 Ergebnisse Wohnungstrennwände

Die Wärmeströme zwischen den Wohnungen stellen sich entsprechend der Beheizung und der Kopplung zu den Nachbarzonen über die Leitwerte, die sich aus der Fläche und dem U-Wert des Trennbauteiles zusammensetzen, ein. Festzuhalten ist, dass die größten Quersärmeströme nach oben zu unbeheizten Wohnungen auftreten.

Das Risiko eines verhältnismäßig schlechten U-Werts zwischen den Wohnungen ist gegeben. Die Beeinflussung der Wohnungen untereinander nimmt bei Leerbelegungen derart zu, dass die Performancekriterien mit gegebener maximaler Heizlast nicht erfüllt werden können. Die Wärmeströme zwischen den Wohneinheiten haben vor allem Einfluss auf die Dimensionierung der Heizungsanlage und diese wird wiederum durch die maximale Heizlast begrenzt.

#### **Ergebnisse Wohnungstrennwände**

*Anzustreben ist eine ausreichende Dämmung zwischen den Wohnungen, sodass der von der Bauordnung geforderte U-Wert von 0,9 W/m<sup>2</sup>K erreicht wird.*

## 9.5 Untersuchung Ausfall der Stromversorgung

Um einen Eindruck vom Temperaturverhalten des Hauses bei Ausfall der Stromversorgung zu bekommen wurden zwei Szenarien berechnet. Szenario C1 stellt die Leerlauftemperatur des Gebäudes bei Fensterlüften dar. Das heißt, hier wurden keine mechanische Lüftungsanlagen, keine technischen Wärmequellen und keine Wärmegewinne aus künstlichem Licht und Heizung berücksichtigt. Der Temperaturverlauf bei Stromausfall wurde mit denselben Vorgaben für die Personenlasten und für die Verschattung wie bei der Standardbelegung verwendet. Die natürliche Lüftung wurde in dieser Variante mit einer Luftwechselzahl von 1 1/h in vier Stunden (6.00 bis 7.00, 12.00 bis 13.00, 17.00 bis 18.00 und 21.00 bis 22.00) angesetzt.

Im Szenario C2 wurde der Ausfall der Stromversorgung nur im Jänner angesetzt, um das Auskühlen des Gebäudes zu berechnen, wenn von der Verwendung der Lüftungsanlage auf Fensterlüften umgestellt wird.

### 9.5.1 Temperaturverläufe

In der folgenden Abbildung sind die empfundenen Temperaturen der Wohnungen des Falles C1 und die Außentemperatur dargestellt.

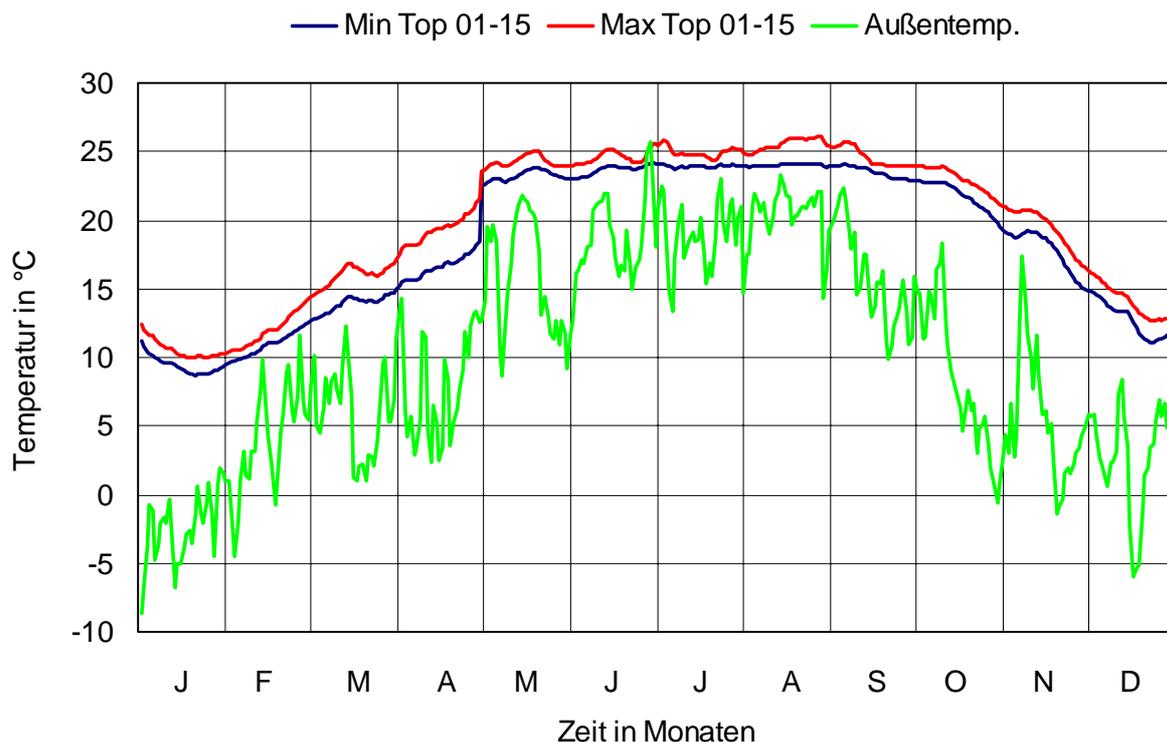


Abb. 108. Temperaturverlauf – Tagesmitteltemperaturen - Fall C1 (Leerlauftemperatur bei Fensterlüften)  
Klimadaten: Wien 1997

Im Fall C1, definiert als „Leerlauftemperatur bei Fensterlüften“, stellen sich Temperaturen zwischen 8,7 und 26,4 °C ein. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 19,2 °C.

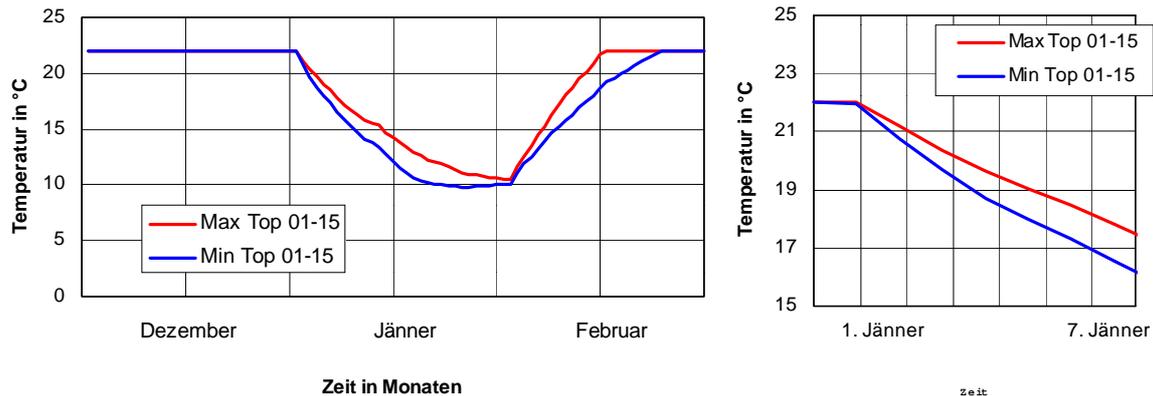


Abb. 109. Temperaturverlauf – Tagesmitteltemperaturen - Fall C2 (Ausfall der Stromversorgung im Jänner)  
Klimadaten: Wien 1997

Im Fall C2 „Ausfall der Stromversorgung im Jänner“ zeigt sich, dass nach einem Monat die Leerlauftemperatur (Vergleich Fall C1) erreicht wird. Das erneute Aufheizen des Gebäudes dauert etwa einen halben Monat. Innerhalb der ersten Woche kühlt das Gebäude von 22 °C auf 16 °C aus.

### 9.5.2 Ergebnisse Ausfall der Stromversorgung

Ein Stromausfall für mehrere Tage ist sehr unwahrscheinlich und könnte nur durch extreme Naturkatastrophen oder im konventionellen Stil geführten Krieg eintreten. In solch einer Situation stünden wahrscheinlich existenzielle Fragen der Bevölkerung im Vordergrund und nicht Behaglichkeitsprobleme in den Wohnungen. Das Risiko eines Stromausfalles zielte darauf ab das Auskühlverhalten des Gebäudes zu erfassen, wenn keine Stromversorgung vorhanden ist und täglich vier Stunden gelüftet wird.

Es zeigt sich, dass aufgrund der hohen thermischen Qualität des Gebäudes innerhalb der ersten zwei Tage die Temperatur nur um 2K sinkt. Auch nach einer Woche liegen die Temperaturen in den Wohneinheiten noch über 16 °C. Erst nach einem Monat wird die Leerlauftemperatur erreicht.

## 10 NutzerInneneinführung

Passivhäuser bedingen insbesondere durch die mechanische Lüftungsanlage ein anderes NutzerInnenverhalten als im herkömmlichen Wohnbau. Gezielte Informationsmaßnahmen zu passivhaus-spezifischen Belangen sind daher unabdingbar.

Sozialwissenschaftliche Evaluierungen zu umgesetzten Informationsstrategien bei Passivhäuser mit entsprechendem Datenmaterial beschränken sich zur Zeit im wesentlichen auf zwei Literaturquellen.

Zur Erstinformation beim Einzug gibt [HUE03] folgende Empfehlungen und Hinweise: Wesentlich ist eine ausführliche persönliche Einweisung durch fachlich qualifiziertes Personal beim Bezug der Wohnung. Es zeigt sich, dass die persönliche Erstinformation besonders wirksam ist. Auftretende Fragen müssen sofort umfassend und zutreffend erklärt werden z.B. Vorführen des Filterwechsels.

[DAN01] geht detailliert auf Einweisung, weitere Betreuung und Handbuch ein die folgend auszugsweise wiedergegeben werden:

### Einweisung

88 % der Haushalte wurden inhaltlich von verschiedenen Akteuren eingewiesen, nur 43 % waren mit der Betreuung zufrieden. Die Kritik richtete sich vor allem gegen die Organisation und die Inhalte der Einweisung. Folgende Punkte wurden aufgeführt:

- Zu viele Teilnehmer bei Einweisungsveranstaltung, dadurch geringe Übersichtlichkeit.
- Zu oberflächliche Inhalte, größere Detailinformationen wurden vermisst.
- Die vermittelten Inhalte orientierten sich am Normalfall, Verhaltensanweisungen für Störfälle wurden nicht gegeben.
- Keine „Vor-Ort-Einweisung“, dadurch geringere Anschaulichkeit und Verständlichkeit.
- Der Einweisungstermin war ungünstig, da er für viele der Tag vor dem Umzug gewesen sei. Dementsprechend stand zuwenig Zeit zur Verfügung.

91% der Bewohner halten eine inhaltliche Einweisung und Betreuung grundsätzlich für wichtig bis sehr wichtig. Die meisten Bewohner hatten Informationsbedarf zu sämtlichen Technikfragen, insbesondere den Bereichen Lüftungsanlage, Heizung und Warmwasser.

### Weitere Betreuung

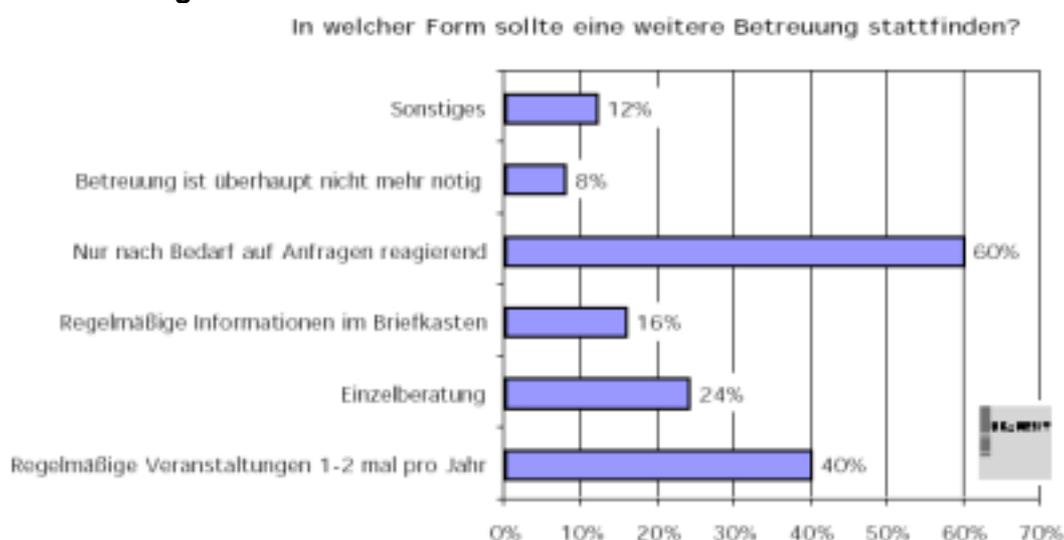


Abb. 110. Gewünschte Form für weitere inhaltliche Betreuung der Passivhaussiedlung [DAN01]

Die meisten Bewohner wünschen sich eine im Bedarfsfall vorhandene Beratung. Ergänzend hierzu wurde von 40% noch eine ein- bis zweimal im Jahr stattfindende Informationsveranstaltung genannt. Deutlich wurde in den Äußerungen, dass aufgrund der Individualität der Anlagen in den Häusern und der entsprechend spezifisch auftretenden Probleme allgemeine Informationen nur bedingt weiterhelfen. Eine Grundinformation ist bei allen Bewohnern gegeben, das Problem stellen sogenannte „Störfälle“ dar, in denen fachkompetente Hilfe erforderlich ist.

### Handbuch

Den Bewohnern wurde eineinhalb Jahre nach Bezug ein Nutzerhandbuch zur Verfügung gestellt. Es enthält Informationen rund um das Thema „Wohnen im Passivhaus“. Die folgenden Ausführungen geben die Einschätzungen der Bewohner zu diesem Nutzerhandbuch wieder.



Abb. 111. Intensität der Verwendung des Nutzerhandbuches [DAN01]

Von den Befragten wurden Ergänzungs- oder Verbesserungsvorschläge zum Nutzerhandbuch angeführt:

- Auflistung aller Anlagenkomponenten
- Mehr Informationen zu Technikdetails (Ventile, Warmwasserspeicher)
- Da die Anlagen in jedem Haus unterschiedlich sind, wären hausspezifische Fotos der Anlagen wichtig für eine bessere Anschaulichkeit und Verständlichkeit der Technik
- Dokumentation der beteiligten Firmen und der verwendeten Baustoffe
- Erfahrungswerte über mögliche Probleme

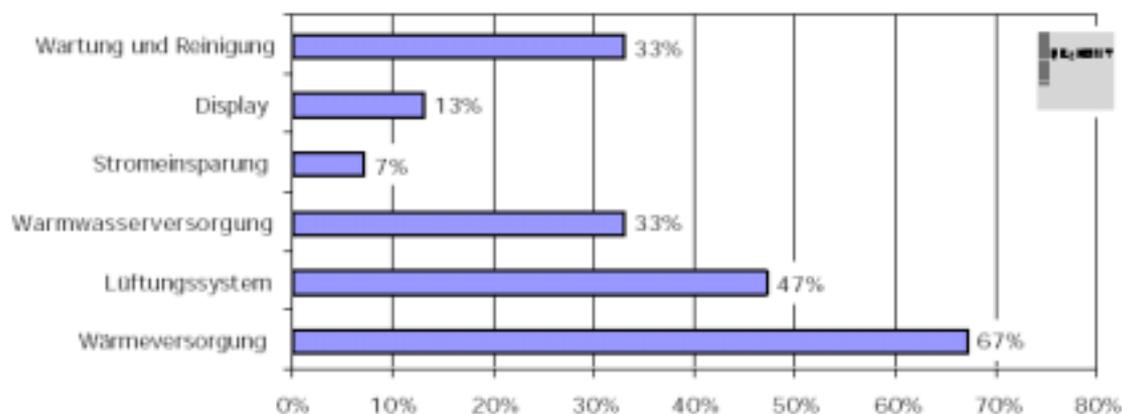


Abb. 112. Gesuchte Themen im Nutzerhandbuch [DAN01]

Das Nutzerhandbuch erfreut sich großer Beliebtheit. Es wird intensiv genutzt und bietet in den meisten Fällen die gesuchte Information. Insofern stellt es ein wichtiges Beratungsmedium dar. Kritisiert wurde, dass das Buch nicht bereits zum Einzug vorlag, sondern erst ca. 1,5 Jahre nach dem die meisten Bewohner eingezogen waren.

Aus den zur Zeit vorliegenden dargestellten sozialwissenschaftlichen Evaluierungen und deren Erkenntnisse erscheint folgendes dreiteilige Konzept zur NutzerInneneinführung sinnvoll:

1. Handbuch
2. Persönliche Grundschulung / Information
3. Nachbetreuung

Die Maßnahmen werden wie folgt in ihrer chronologisch Reihenfolgen erläutert.

### **Handbuch**

Von der Homepage des Passivhaus Instituts [www.passiv.de](http://www.passiv.de) kann ein Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau heruntergeladen werden. Dabei wird zwischen einem Handbuch für die Nutzer und einem Handbuch für den Hausmeister (Gebäudeverwaltung) unterschieden.

- Teil A: Nutzerhandbuch [PFL01]
- Teil B: Handbuch für die Gebäudeverwaltung [PFL01]
- Teil C: Wohnen im Passivhaus - auf einen Blick [PFL01]

Je nach Gebäude und Haustechnik muss das vom Passivhausinstitut erstellte Handbuch noch an die tatsächlichen Gegebenheiten angepasst werden bzw. es müssen eventuell notwendige Ergänzungen hinzugefügt werden. Das Handbuch sollte den NutzerInnen entweder bei Unterschrift des Mietvertrags oder beim Einzug übergeben werden.

Zusätzlich können Checklisten zur Wartung der technischen Anlagen zur Verfügung gestellt werden, um die Anlagen instand zu halten und so vor Defekten und höheren Stromverbräuchen zu schützen. Hierbei sollte zwischen den Bereichen unterschieden werden, die den Nutzer (beispielsweise Filterwechsel in den Wohnungen), den Hausmeister und Wartungsfirmen betreffen.

### **Persönliche Grundschulung / Information**

Insbesondere durch die mechanische Lüftungsanlage ist in Passivhäusern teilweise ein anderes Nutzerverhalten notwendig als im herkömmlichen Wohnbau. Aus diesem Grund ist die Einweisung der Nutzer im Passivhaus unbedingt erforderlich. [FEI02a]

Die wesentlichen Inhalte der Einweisung sind basierend auf [FEI99a] zusammengestellt:

- Lüftung: Erklärung des Funktionsprinzips / Abrechnung / laufende Kosten  
Erklärung der Bedeutung der Lüftungsanlage im Gegensatz zur Fensterlüftung  
Einstellung der Lüfterstufen / Regelung
- Wärme: Erklärung des Funktionsprinzips / Abrechnung / laufende Kosten  
Nachtabenkung, Urlaub
- Sanitär<sup>43</sup>: Erklärung des Funktionsprinzips / Abrechnung / laufende Kosten
- Elektro<sup>44</sup>: Erklärung des Funktionsprinzips / Abrechnung / laufende Kosten  
Bedeutung von Energiesparlampen, Stand-by Betrieb und energieeffizienten Geräten

### **Nachbetreuung**

Zusätzlich zur Grundschulung bei Übergabe bzw. Bezug der Wohnungen scheint es sinnvoll auch nach Bezug der Wohnungen den MieterInnen, beispielsweise telefonisch, die Möglichkeit zu geben, Probleme beim Umgang mit der Anlage mit Experten zu diskutieren.

---

<sup>43</sup> nicht passivhauspezifisch

<sup>44</sup> nicht passivhauspezifisch, abgesehen vom wesentlichen Einfluss des Verbrauchs an elektrischer Energie zur Erfüllung des Primärenergiebedarfskriteriums.

## 11 Weiterführender Forschungsbedarf

Basierend auf Erfahrungen mit der Planung des mehrgeschossigen Passivwohnbaus in Wien, 1140 Utendorfsgasse lässt sich punktuell folgender Forschungsbedarf feststellen:

### Schallschutzfenster in Passivhausqualität

Übliche Passivhausfenster haben zur Zeit einen Schallschutzwert von etwa 33 dB. Die Wiener Bauordnung schreibt mindestens 38 dB vor in emissionsbelasteten gebieten sind 43 dB wünschenswert. Zur Zeit werden de facto keine den erhöhten Schallanforderungen und dem internationalen Passivhausstandard entsprechenden Produkte am Markt angeboten. Insbesondere im kostengünstigen Kunststofffenstersegment reichen die üblichen Profilstärken nicht für dickere Schallschutzverglasung.

### Türen

Bei Standardwohnungseingangs- und Hauseingangstüren des mehrgeschossigen Wohnbaus fehlen weitgehend Prüf- und Messwerte, inwieweit die im Forschungsbericht angeführten über das Passivhaus Institut hinausgehenden Luftdichtheitsanforderungen bedingt durch die Druckdifferenzen bei mehrgeschossigen Gebäuden erfüllt werden.

### Brandriegel

Vertikale Brandriegel bei hohen Dämmstoffdicken beispielsweise zu Nachbargebäuden bedürfen besonderer Planung. Hier fehlen Erfahrungen und konstruktive Lösungen.

### Normung

Die nationale und internationale Normung liefern bei Berechnung von geringen Heizlasten im Gegensatz zu dynamischen Simulationen und Messungen unrealistische Werte. Ersten Abschätzungen zufolge können die ermittelten Normwerte um 30 % unter den realen Verhältnissen liegen. Hier fehlen neue Normvorhaben mit flankierenden wissenschaftlichen Modellentwicklungen.

### Sonnenschutz

Die sommerlich Überwärmung wird bei den gut gedämmten sehr luftdichten Niedrig-, Niedrigstenergie- und Passivhäuser immer relevanter. Die Nachteile eines effizienten außenliegenden Sonnenschutzes sind die Durchdringung der Gebäudehülle, Kostenaspekte als auch planerische Hilfsmittel. Vorhandene Normierung und Nachweise reichen nicht zur zeitgemäßen Erfassung und Maßnahmenableitung. Erste Ansätze in nationaler und internationaler Normung und in der Produktentwicklung existieren bereits sollten aber gefördert werden.

### Passivhausstandard

In Deutschland wird zur Zeit „damit auch Passivhaus drin ist, wo Passivhaus draufsteht“ geworben. Notwendigerweise da aus verschiedenen Beweggründen immer öfters vom „Passivhaus“ geredet wird aber diese nicht insbesondere im sozialen Wohnbau die zu erwartende Funktionstüchtigkeit bei ungünstigen Klimaverhältnissen und Nachbarverhalten gewährleisten. Die hierzulande relative Unbekanntheit des internationalen Passivhausstandards des Passivhaus Instituts trägt zur Unterscheidungsschwäche bei. Hier fehlt breite Aufklärung, da wie das vorliegende Projekt zeigt funktionierende Passivhäuser kostenneutral zu potentiell nicht funktionierenden Passivhäusern geplant werden können.

## 12 Glossar, Literaturverzeichnis, Anhang

### Glossar

#### **Brauchwarmwasserspeicher**

Brauchwarmwasserspeicher dienen zur Speicherung von Warmwasser. Vorteile des Einsatzes von Brauchwarmwasserspeichern sind u. a., dass Belastungsspitzen durch sie ausgeglichen werden können und somit die installierte Heizleistung des Wärmelieferanten verringert werden kann.

#### **Empfundene Temperatur**

Ist ein Maß für die thermische Behaglichkeit in einem Raum und setzt sich aus der Luft- und den Oberflächentemperaturen zusammen.

#### **Endenergie**

Ist die Energie, die wir in vorliegender Form nützen können, z.B. Strom, Benzin, Fernwärme. Wird die Endenergie genutzt, sprechen wir dann nach der Umwandlung von Nutzenergie.

#### **EPS**

Expandiertes Polystyrol

#### **EPS-F**

Expandiertes Polystyrol für Fassaden

#### **Heizlast**

Leistung, die benötigt wird, um eine Wohnung auf die gewünschte Raumtemperatur unter winterlichen Auslegungsbedingungen zu bringen.

#### **Heizwärmebedarf**

Die in einem durchschnittlichen Winter benötigte Wärmemenge um die gewünschte Raumtemperatur einzuhalten

#### **Leibung**

innere Begrenzungsfläche einer Maueröffnung

#### **MAK**

Maximale Arbeitsplatzkonzentration

#### **MW**

Mineralwolle

#### **Nutzenergie**

Ist die Energie, die uns als Licht, Bewegung bzw. Kraft, Wärme, Kälte zur Verfügung steht. Ist die Energie, die wir nützen.

#### **Primärenergie**

Energie, wie sie in der Natur vorkommt und nicht unter Einfluss des Menschen umgewandelt

wird, z.B. Sonnenenergie; Wasserkraft; fossile Brennstoffe - Kohle, Erdöl, Erdgas

#### **Pumpenwarmwasser**

Heizungswarmwasser, das zur Versorgung eines Wärmeabnehmers (z.B. das Nachheizregister einer Lüftungsanlage) eingesetzt wird. Die Förderung des Heizungswarmwassers erfolgt über eine Umwälzpumpe.

#### **PUR**

Polyurethan

#### **Segeltuchstutzen**

Segeltuchstutzen dienen als schall- und schwingungsentkoppelndes Element in Lüftungsrohrleitungen. Sie werden u.a. zum Anschluss der Zentraleinheiten an das Luftkanalsystem eingesetzt.

#### **Sturz**

Überdeckung einer Tür- oder Fensteröffnung, z. B. als Stahlträger, Stahlbetonbalken, gemauerter scheidrechter Bogen; trägt das darüber liegende Mauerwerk.

#### **Telefonieeffekt**

Schallübertragung zwischen Räumen über die Luftleitungen einer Lüftungsanlage

#### **TJI**

Produktname für die Stegträger der Fa. Trus Joist MacMillan. Es handelt sich dabei um Gurte aus Holzwerkstoffen, die über einen OSB-Steg miteinander verbunden sind.

#### **Sekundärenergie**

Energie, die durch Umwandlung aus Primärenergie oder anderer Sekundärenergie entsteht - wie elektrische Energie (umgewandelt aus Wasserkraft, Kohle, Erdöl, Erdgas)

#### **Übertemperaturgradstunden**

Anzahl der Stunden summiert über ein Jahr, in denen eine bestimmte Temperatur in einem Raum überschritten wird.

#### **Wärmeüberträger**

Ein Wärmeüberträger ist ein Apparat, der zur Übertragung von Wärme (z.B. Übertragung der Wärme aus der Abluft der Lüftungsanlage auf die Zuluft der Lüftungsanlage) eingesetzt wird.

#### **WNFL**

Wohnnutzfläche

## Literaturverzeichnis

### Literaturverzeichnis zu Kapitel 1

- [BRU02] S. Bruner, S. Geissler, H. Schöberl; Vernetzte Planung als Strategie zur Behebung von Lern- und Diffusionsdefiziten bei der Realisierung ökologischer Gebäude; Berichte aus Energie- und Umweltforschung 28/2002; Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, 1030 Wien; Graz/Wien 2002
- [HUT03] Hutter S., Schöberl H.: Markt- und Kostenanalyse Passivhausfenster, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt, Deutschland, 2003

### Literaturverzeichnis zu Kapitel 2

- [AEE01] Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie: Tagungsband Cepheus Symposium - Gebaute Passivhäuser im Detail, 23. & 24. März 2001
- [BIS99] Bisanz, C.: Heizlastauslegung im Niedrigenergie- und Passivhaus, PHI Fachinformation 1999/2, Darmstadt 1992
- [BOE98] de Boer, J., Erhorn, H., Reith, A., Weber 2001 - Praxistestergebnisse für die entwickelten Hauskonzeptreihe vom Niedrigenergie- zum Null-Heizenergiehaus, wksb 42/1998
- [BOW03] Bauordnung für Wien, 2003
- [EIC99] Eickenhorst, H., Joos, L. (Hrsg): Energieeinsparung für Gebäude: Stand der Technik; Entwicklungstendenzen, Vulkan-Verlag, 1999
- [ERH98] Erhorn, H.: Fördert oder schadet die europäische Normung der Niedrigenergiebauweise in Deutschland, GI 119 Heft 5, 236-239, 1998
- [FEI92] Feist, W.: Dissertation "Passivhäuser in Mitteleuropa", Gesamthochschule Kassel-Universität, März, 1992
- [FEI96a] Feist, W.: Passivhäuser - Behaglichkeit ohne Heizung, 1. Passivhaus-Tagung, November, 1996
- [FEI97] Feist, W., Energiebilanz, Temperaturverhalten, Fachdokumentation Nr. 5, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Darmstadt ,1997
- [FEI98a] Feist, W.: Lüftung im Passivhaus, Protokollband Nr. 4, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, 1998
- [FEI02] Feist, W.: Passivhaus Projektierungs Paket 2002, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2002
- [FEI02a] Feist W., Vallentin, G., Kah, O., Rudolf, R., Nagel, J., Pfluger, R., Leonhardt, K., Hübner, H.: Architekturbeispiele: Wohngebäude, Protokollband Nr. 21, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt 2002
- [FLÜ99] Flückinger, B.: Hygienische Aspekte von Luftansaug-Erdregistern, 3. Passivhaustagung, 1999

- [HÜB02] Hübner, H., Hermelink, A.: Gestaltung von Passivhäusern für Mieter, 6. Europäische Passivhaustagung, Kassel, 2002
- [KLU98] Kluttig, H., Erhorn, H., Hellwig, R., Vom Niedrigenergie- zum Null-Heizenergiehaus! Energiekonzept und Realisierungsphase am Beispiel eines Wohnhauses in Holzständerbauweise, wksb 42/1998
- [KOR02] Korab, R., Schwarzmüller, E.: Passivhausstandard im Wiener Wohnungsneubau Machbarkeitsuntersuchung: Vorbilder, Rahmenbedingungen, Vergleich mit Niedrigenergiestandard, Wiener Bodenbereitstellungs- und Stadterneuerungsfonds (WBSF), Wien, 2002
- [KRA01] Krapmeier, H., Müller, E.: Dokumentation der österreichischen CEPHEUS-Projekte, CEPHEUS-Projektinformationen 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, Energieinstitut Vorarlberg, 2001
- [MÖR01] Möritz, M., Peters, H., Nipko, B., Rüdén, H.: Capability of air filters to retain airborne bacteria and molds in heating, ventilating and air-conditioning (HVAC) systems, Int.J.Hyg.Environ.Health 203,401-409, 2001
- [ONO95] ÖNORM B1801-1: Kosten im Hoch- und Tiefbau, Kostengliederung, Österreichisches Normungsinstitut, 1995
- [PFL01] Pfluger, R., Feist, W.: Messtechnische Untersuchung und Auswertung, Kostengünstiger Passivhaus – Geschosswohnungsbau in Kassel Marbachshöhe, CEPHEUS - Projektinformation Nr. 15, Darmstadt, 2001
- [ROH01] Rohrer, H., Kukovetz, B., Ornetzeder, M., Zelger, T., Enzensberger, G., Gadner, J., Zelger, J., Buber, R.: Akzeptanzverbesserung bei Niedrigenergiehaus-Komponenten, Endbericht eines Haus der Zukunft Forschungsprojektes im Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften, Graz, 2001
- [SAN96] Sanders, C., IEA Annex 24 HAMTIE, Final report Task 2, Environmental Conditions, BRE, UK, 1996
- [SCH01] Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R., Kah, O.: CEPHEUS – Projektinformation 22, Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Passiv Haus Institut, Darmstadt, 2001
- [WIT93] Witthauer J., Horn H., Bischof W.: Raumluftqualität, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1993, S. 92

### Literaturverzeichnis zu Kapitel 3

- [BED02] Bednar, T.: Schriftenreihe Bauphysik, Heft 6: Dokumentation des Programms zur Optimierung von Multizonengebäuden BUILDOPT
- [ESR02] ESRU Homepage: [www.esru.strath.ac.uk](http://www.esru.strath.ac.uk), ESRU, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, 2002
- [FEI00] Feist, W.: Passivhaus Projektierungspaket '99, Fachinformation PHI –1999/1, Passivhaus Institut, 2000
- [HAG01] Hagentoft, C. E.: Thermal System Analysis using the Building Physics Toolbox in Simulink, Department of Building Physics, Chalmers University Göteborg, Schweden, 2001

- [JAC03] Jachan, C.: Hygienischer Tauglichkeitsnachweis und Optimierung der bauphysikalischen Performance von Gebäuden in Passivbauweise, Dissertation am Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik, TU Wien, 2003
- [KOL96] Kolmetz, S., Rouvel, L.: Einsatzbedingungen für RLT-Anlagen, Arbeitsbericht zum Arbeitsschwerpunkt 1.1 des Forschungsvorhabens SANVIREV, Technische Universität München, 1996
- [MAS95] Maas, A.: Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, Dissertation, Universität Kassel, 1995
- [MAT01] The MathWorks, Inc.: Matlab, Simulink, Version 6, Homepage: mathwork.com, USA, 2001
- [ONO83] ÖNORM M 7500 Heizlast von Gebäuden, Österreichisches Normungsinstitut, 1983
- [ONO98] ÖNORM EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfes – Wohngebäude, Europäisches Komitee für Normung, 1998
- [ONO99] ÖNORM B 8110-3: Wärmeschutz im Hochbau; Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse; Österreichisches Normungsinstitut, 1999
- [ONO00] ÖNORM EN ISO 13786: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen, Dynamisch-thermische Kenngrößen, Berechnungsverfahren, Österreichisches Normungsinstitut, 2000
- [PFL00] Pfluger, R.: Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise Teil 2 Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens eines Passivhauses in Geschosswohnungsbau-Typologie und städtischer Bebauung, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2000
- [ROV00] Rouvel, L., Deutscher, P., Elsberger, M.: Sommerlicher Wärmeschutz, Eine einheitliche Methodik für die Anforderungen an den winterlichen und sommerlichen Wärmeschutz, Bauphysik 22, Ernst & Sohn, 2000

#### **Literaturverzeichnis zu Kapitel 4**

- [FEI99b] Feist, W.: Wärmebrückenfreies Konstruieren, Protokollband Nr. 16, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999
- [FEI00] Feist W.: Passivhaus Projektierungspaket '99, Fachinformation PHI –1999/1, Passivhaus Institut, 2000
- [SCH01] Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R., Kah, O.: CEPHEUS – Projektinformation 22, Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Passiv Haus Institut, Darmstadt, 2001, S. 82
- [WIT93] Witthauer J., Horn H., Bischof W.: Raumlufqualität, Verlag C. F. Müller, Karlsruhe, 1993, S. 92

**Literaturverzeichnis zu Kapitel 5**

- [BLO95] Blomberg, T.: HEAT 3, Version 2.6, A PC-program for heat transfer in three dimensions, Lund University, Lund, Schweden, November 1995
- [BOW03] Bauordnung für Wien, 2003
- [EDE03] Eder, I.: Voraussetzungen und Nachweisführung für den Entfall der Notrauchfänge, Vortrag im Rahmen des Abschlussworkshops“ Anwendung der Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau“, Wien 2003
- [FEI99] Feist, W.: Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern, Protokollband Nr. 18, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, 1999
- [FEI99b] Feist, W.: Wärmebrückenfreies Konstruieren, Protokollband Nr. 16, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999
- [FEI00] Feist W.: Passivhaus Projektierungspaket ´99, Fachinformation PHI –1999/1, Passivhaus Institut, 2000
- [FEI02] Feist, W.: Passivhaus Projektierungs Paket 2002, Anforderungen an qualitätsgeprüfte Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2002
- [FRI03] Friedrich, G.: Untersuchung zur Passivhausentwicklung unter Berücksichtigung der Mischbauweise, Diplomarbeit am Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik, TU Wien, Wien 2003
- [HAU93] Hauser G, Stiegel H.: Wärmebrückenatlas für den Mauerwerksbau, Bauverlag GMBH, Berlin, 1993
- [HEA02] Lund-Gothenburg Group for Computational Building Physics: Heat 3, Version 4.0.0.1, Homepage: [www.buildingphysics.com](http://www.buildingphysics.com), Lund, Sweden 2002
- [HEI87] Heindl W.: Wärmebrücken: Grundlagen, einfache Formeln, Wärmeverluste, Kondensation, 100 durchgerechnete Baudetails, Ein Projekt des Österreichischen Institutes für Bauforschung, Springer, Wien, 1987
- [HOR03] Horn, G., Heinrich, H.: Wärmebrücken bei Holz-Stegträgern, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [IRB97] Koch, S., Scholl, W.: Auswirkungen der neuen Wärmeschutzverordnung auf den Schallschutz von Gebäuden, Bauforschung für die Praxis, Band 36, Fraunhofer IRB Verlag, 1997
- [JAC02] Jacob, S., Vom Plattenbau zum Passivhaus, Bauen mit Holz 8/2002, Bruderverlag
- [KAU02] Kaufmann, B., Feist, W., John, M., Nagel, M.: Informationsdienst Holz: Das Passivhaus – Energieeffizientes Bauen, Holzbau Handbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 10, Arge Holz, EGH, DGfH, München 2002
- [KAU03] Kaufmann, B., Zeitter, H.: Passivhäuser in Holzbauweise, Planungshinweise, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2000

- [KAU98] Kaufmann, H., Projektdokumentation 4: Geschoßwohnbau Ölz Bündt; Internationale Solarbauschule Vorarlberg, 4. Sommerseminar 1998
- [KOR96] Kordina, K., Kersken-Bradley M., Abschnitt Brandschutz in Der Ingenieurbau, Hrsg. v. Mehlhorn, G., Verlag Ernst&Sohn, Berlin 1996
- [KRA01] Krapmeier, H., Müller, E.: Dokumentation der österreichischen CEPHEUS-Projekte, CEPHEUS-Projektinformationen 25, 26, 27, 29, Energieinstitut Vorarlberg, 2001
- [LAN03] Land Wien: Landesgesetzblatt für Wien, ausgegeben am 21.2.2003, 10.Stück, Wien, 2003
- [MA03] Magistrat der Stadt Wien, Richtlinie MA 37 - B 56 Wärmedämm-Verbundsysteme mit Polystyrol-Schaumstoff mit einer Dicke von mehr als 10 cm vom 14. April 2003
- [OBE03] Persönlich übermittelte Information zu verschiedenen Passivhausprojekten Perchtoldsdorf/Ö; Tulln/Ö; Schwanenstadt/Ö. Hans Christian Obermayr, 2003
- [OEH03] Oehler S.: Passivbürogebäude Energon Ulm, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [OEN95] ÖNORM B 8111-2: Wärmeschutz im Hochbau, Wasserdampf und Kondensationsschutz, Österreichisches Normungsinstitut, 2002
- [PÖH03] Pöhn, C.: Brandschutzprüfungen nach europäischen Regelwerken. Brandschutz bei großen Dämmstoffstärken. Ergebnisse Brandversuche. Neue Vorschriften, Vortrag im Rahmen des Abschlussworkshops“ Anwendung der Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau“, Wien 2003
- [REI02] Persönlich übermittelte Pläne zum Passivhausprojekt Dresden-Pillnitz/D., A. O. Reiter, Architektengemeinschaft Reiter & Rentzsch; D-01109 Dresden-Hellerau; 14. November 2002
- [SAN02] Informationsmaterial der Firma Santner & Spiehs OEG, 2002
- [SCH01] Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R., Kah, O.: CEPHEUS – Projektinformation 22, Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Passiv Haus Institut, Darmstadt, 2001
- [SCH02c] Schuster, J., Architekt, Am Sonnenbühl/Hagnau/D: Pläne über das Passivhausprojekt Hagnau/D. Persönlich zur Verfügung gestellt am 30. Sept. 2002.
- [THE02] Lawrence Berkeley National Laboratory: Therm Finite Elemente Simulator, Version 5.1, Homepage: windows.lbl.gov, Berkeley, USA, 2002
- [TUC02] Tuchbreiter, H., Persönlich übermittelte Pläne zu einem Passivhausprojekt, Planungsbüro Tuchbreiter, 92265 Edelsfeld/D; 27. Sept., 7. Nov. 2002
- [GRE02] Grenz, P., Persönlich übermittelte Information zum Passivhausprojekt "Reihenhausanlage Hannover-Kronsberg"/D, 26. Sept., 14. Okt. 2002, Faktor 10, Gesellschaft für Städte- und Hochbauplanung mbH, Darmstadt

**Literaturverzeichnis zu Kapitel 6**

- [DIN94] DIN EN 779: Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik; Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung, Ausgabe 09/94, Deutsches Institut für Normung, Berlin
- [BLU01] Blume D., Ludwig S., Otte J.: Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise, Teil 3, Anforderungen an kostengünstige, passivhausgeeignete MFH-Lüftungsanlagen und Überprüfung am Pilotprojekt, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, S. 4
- [BOW01] Bauordnung für Wien, 2001
- [ESR02] ESRU Homepage: [www.esru.strath.ac.uk](http://www.esru.strath.ac.uk), ESRU, Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, 2002
- [FEI96a] Feist W.: Haustechnik im Passivhaus, Protokollband Nr. 6, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1996, S. I/10
- [FEI96b] Feist W.: Lüftung im Passivhaus, Protokollband Nr. 4, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1996, S II/11
- [FEI96c] Feist W.: Lüftung im Passivhaus, Protokollband Nr. 4, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1996, S. III/4
- [FEI96d] Feist W.: Haustechnik im Passivhaus, Protokollband Nr. 6, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1996, S. III/5
- [FEI96e] Feist W.: Haustechnik im Passivhaus, Protokollband Nr. 6, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1996, S. III/11 bis III/13
- [FEI98] Feist W.: Das Passivhaus – Baustandard der Zukunft, Protokollband Nr. 12, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1998, S. V/13
- [FEI99] Feist W.: Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern, Protokollband Nr. 17, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999, S. 6-9, S. 107
- [FEI00a] Feist W. (Hrsg.): 4. Passivhaustagung Kassel, Passivhausinstitut Deutschland, 2000, S. 330
- [FEI02a] Feist W., Vallentin, G., Kah, O., Rudolf, R., Nagel, J., Pfluger, R., Leonhardt, K., Hübner, H.: Architekturbeispiele: Wohngebäude, Protokollband Nr. 21, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt 2002
- [FLÜ97] Flückinger B., Wanner H.U., Lüthy P.: Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern. ETH Zürich, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Fachbereich Umwelthygiene, 1997
- [FLÜ97a] Flückinger B., Wanner H.U., Lüthy P.: Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern. ETH Zürich, Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, Fachbereich Umwelthygiene, 1997, S. 41-42

- [JAC03] Jachan, C.: Hygienischer Tauglichkeitsnachweis und Optimierung der bauphysikalischen Performance von Gebäuden in Passivbauweise, Dissertation am Institut für Baustofflehre, Bauphysik und Brandschutz, Fachbereich Bauphysik, TU Wien, Wien, 2003
- [KEU97] Keune A.: Hygiene in der Raumluftechnik – Technische Lösungen in der Planung und Ausführung, VDI Bericht 1318, VDI Verlag, 1997, S. 39-46
- [Kor96] Kordina, K., Kersken-Bradley M., Abschnitt Brandschutz in Der Ingenieurbau, Hrsg. v. Mehlhorn, G., Verlag Ernst&Sohn, Berlin 1996
- [MÖR01] Möritz M., Peters H., Nipko B., Wesit K., Rüden H.: Mikroorganismen und Endotoxine in Raumluftechnischen Anlagen, in Gesundheitsingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik 122 (2001) Heft 1, S. 13
- [SCH01] Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R., Kah, O.: CEPHEUS – Projektinformation 22, Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Passiv Haus Institut, Darmstadt, 2001
- [VDI02] VDI 6022-3: Hygiene-Anforderungen an Raumluftechnische Anlagen in Gewerbe- und Produktionsstätten, VDI-Richtlinie, Verein Deutscher Ingenieure, 2002

### Literaturverzeichnis zu Kapitel 7

- [BOW03] Bauordnung für Wien, 2003
- [EDE03] Eder, I.: Voraussetzungen und Nachweisführung für den Entfall der Notrauchfänge, Vortrag im Rahmen des Abschlussworkshops“ Anwendung der Passivhaustechnologie im sozialen Wohnbau“, Wien 2003
- [ENI98] EN ISO 389-8: Standard-Bezugspegel für die Kalibrierung von audiometrischen Geräten, Europäisches Komitee für Normung, 1998
- [FEI00] Feist, W.: Passivhaus Projektierungspaket ´99, Fachinformation PHI -1999/1, Passivhaus Institut, 2000
- [GEB02] [www.gebhardt.de](http://www.gebhardt.de), 2.7.2002
- [HAA03] Haas A., Dorer V.: Aspekte der Wärme- und Luftverteilung im Passivhaus, Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003
- [LAN03] Land Wien: Landesgesetzblatt für Wien, ausgegeben am 21.2.2003, 10.Stück, Wien, 2003
- [ONO99] ÖNORM B 8110-3: Wärmeschutz im Hochbau; Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse; Österreichisches Normungsinstitut, 1999
- [ONO01] ÖNORM B 8115-2: Schallschutz und Raumakustik im Hochbau, Österreichisches Normungsinstitut, 2001
- [SCH02] [www.schako.de](http://www.schako.de), 19.6.2002
- [TRO02] [www.trox.de](http://www.trox.de), 2.7.2002

- [VEL01] IFT - Rosenheim: Kurzfassung zu Prüfbericht Nr. 403 21980/9 vom 9. Juli 2001 für Firma Velux, IFT -Rosenheim, Rosenheim 2001
- [VDI01] VDI 2081: Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen, VDI-Richtlinie, Verein Deutscher Ingenieure, 2001

### Literaturverzeichnis zu Kapitel 8

- [BOW03] Bauordnung für Wien, 2003
- [FIN00] Fingerling, K.H., Feist W., Otte, J., Pfluger, R.: Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise Teil 1 Konstruktionshandbuch für Passivhäuser, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2000
- [KRA01] Krapmeier, H., Müller, E.: Dokumentation der österreichischen CEPHEUS-Projekte, CEPHEUS-Projektinformationen 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, Energieinstitut Vorarlberg, 2001
- [LAN03] Land Wien: Landesgesetzblatt für Wien, ausgegeben am 21.2.2003, 10.Stück, Wien, 2003
- [LAN00] Landesgesetzblatt für Wien, Jahrgang 2000, 19.Stück, „Verordnung der Wiener Landesregierung, mit der die Verordnung der Wiener Landesregierung über die Gewährung von Förderungen im Rahmen des II. Hauptstückes des Wiener Wohnbauförderungs- und Wohnbausanierungsgesetzes (Sanierungsverordnung 1997) geändert wird
- [MA02] Magistrat der Stadt Wien, Richtlinie der MA 25 über erhöhte Wärmeschutzanforderungen für Mehrfamilienhäuser vom 14. August 2002
- [MA02a] Magistrat der Stadt Wien, Dienstanweisung 6/2002 der MA 25 über angemessene Gesamtbaukosten vom 14. August 2002
- [MA03] Magistrat der Stadt Wien, Richtlinie MA 37 - B 56 Wärmedämm-Verbundsysteme mit Polystyrol-Schaumstoff mit einer Dicke von mehr als 10 cm vom 14. April 2003
- [PAS01] Passawa, R.: Die Technologie des Passivhauses im Wiener sozialen Wohnbau, Mastertesis am Zentrum für Bauen und Umwelt der Donau Universität Krems, Wien 2001
- [PFL01a] Pfluger, R., Feist W.: CEPHEUS-Projektinformation Nr. 16, Kostengünstiger Passivhaus-Geschosswohnungsbau in Kassel Marbachshöhe, Projektdokumentation, Qualitätssicherung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung; Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001
- [SCH01] Schnieders, J., Feist, W., Pfluger, R., Kah, O.: CEPHEUS – Projektinformation 22, Wissenschaftliche Begleitung und Auswertung, Endbericht, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2001

### Literaturverzeichnis Kalkulationsansätze zu Kapitel 8

Institut für Zeitwirtschaft und Betriebsberatung Bau (izb): Kostendeckende Preise im Holzbau 2000/01, Zeittechnik-Verlag, Neu-Isenburg 2000

Bundesinnung der Zimmermeister: Kollektivvertrag für das Zimmermeistergewerbe

Fachverband der Bauindustrie: Bundesinnung Bau: Kollektivvertrag für Bauindustrie und Baugewerbe

Auer, H.: Kalkulation im Hochbau, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien 1998

Firmenangaben und -preislisen

Eigene Kalkulations- und Erfahrungswerte

#### Literaturverzeichnis Berechnung zu Kapitel 8

ÖNORM B 2061

Bundesinnung Bau: Mittellohnpreiskalkulation

Bundesinnung Bau, Fachverband der Bauindustrie: Bauhandbuch 2002, Österreichischer Wirtschaftsverlag, Wien 2002

#### Literaturverzeichnis zu Kapitel 9

[BEC01] Bedford, T., Cooke, R.: Probabilistic Risk Analysis – Foundations and Methods, Cambridge University Press, 2001

[BSI02] BSim2000, update 2002: Building Simulation, Statens Byggeforskningsinstitut, Danish Building and Urban Research, Hørsholm, Dänemark, 2002

[LIP94] Lippold, C.: Anwendung von Risikoanalysen, 1994

[SRA02] www.sra.org, Risk Glossary Three, 20.4.2002

#### Literaturverzeichnis zu Kapitel 10

[DAN01] Danner, M.: Wohnen in der Passivhaussiedlung Lummerlund im Neubaugebiet Hannover - Kronsberg. Abschlußbericht zur Sozialwissenschaftlichen Evaluation, Lüneburg 2001

[FEI99a] Feist, W.: Qualitätssicherung beim Bau von Passivhäusern, Protokollband Nr. 18, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt, 1999, S. 83

[FEI02a] Feist W., Vallentin, G., Kah, O., Rudolf, R., Nagel, J., Pfluger, R., Leonhardt, K., Hübner, H.: Architekturbeispiele: Wohngebäude, Protokollband Nr. 21, Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, Passivhaus Institut, Darmstadt 2002

[HUE03] Hübner, H.; Hermelink, A.: Sozialer Mietwohnungsbau gemäß Passivhausstandard. Tagungsband „7. Internationale Passivhaustagung 21.-22.02.2003 Hamburg“, Passivhaus Institut, Darmstadt, 2003, S. 345

[PFL01] Pfluger, R., Feist, W., Ludwig, S., Otte, J.: Das kostengünstige mehrgeschossige Passivhaus in verdichteter Bauweise Teil 4 Nutzerhandbuch für den Geschosswohnungsbau im Passivhaus-Standard, Abschnitt A: Nutzerhandbuch, Abschnitt B: Handbuch für die Gebäudeverwaltung, Abschnitt C: Wohnen im Passivhaus - auf einen Blick Forschungsbericht F 2382/4 gefördert mit Mitteln des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung, (Aktenzeichen: B 15-80 01 98-15), Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2001

## Anhang

### **Kalkulationen (K7-Blätter) zu Kapitel 8.2 Kostenvergleich Brandschutzriegel bei hohen Dämmstoffdicken**

- Variante 1 MW-Riegel
- Variante 2 PUR-Riegel
- Variante 3 MW-Riegel mit EPS-Überdeckung
- Variante 4 PUR-Riegel mit EPS-Überdeckung
- Variante 5 Sturzplatte „Blueclad“
- Variante 6 Sturzplatte „Masterclima“

### **Kalkulationen (K7-Blätter) zu Kapitel 8.3 Kostenvergleich Holz- und Massivaußenwand**

- Stahlbeton 20 cm mit 30 cm Vollwärmeschutz
- TJI-Träger mit Installationsebene, TJI 301
- TJI-Träger mit Installationsebene, TJI 241 + 4 cm Dämmung
- Sparholzlösung

### **Kalkulationen (K7-Blätter) zu Kapitel 8.6.1 Höhe der baulichen Mehrkosten**

- Vollwärmeschutzfassade 30 cm
- Vollwärmeschutzfassade 10 cm





# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Fassadendetail Utendorfasse

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>102301</b> <b>MW-Riegel m. EPS-Ü. 30cm</b> m2=(1,0+0,2*2)*0,2; L,H fasges=12	0,2800 12,0000					
<i>Mineralwollgedämmplatte</i> (0,60+0,10)*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten 0,28*1,1*m2/fasges ;Fassadendämmplatte FDP 0,02*1,1*m2/fasges ;Styropor PS20-B1 9,00*m2/fasges ;Edelstahlanker 215mm 1,00*1,5*m2/fasges ;Heraklithschnellkleber	0,0163 h 0,0072 m3 0,0005 m3 0,2100 ST 0,0350 kg		32,20 149,18 65,37 0,31 0,59	0,52	1,07 0,03 0,06 0,02	0,52 1,07 0,03 0,06 0,02
Dämmplatte Teilsumme	0,0163 h			0,52	1,18	1,70
<i>Grundputz</i> 0,25*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten 9,00*m2/fasges ;Heraklith Unterputz 9,00/2000,00*m2/fasges ;Fertigmörtel mischen + Wasser 0,07*m2/fasges ;Hilfsstoffe allgemein	0,0058 h 0,2100 kg 0,0001 m3 0,0016 EUR		32,20 0,43 30,22 1,15	0,19	0,09	0,19 0,09
Grundputz Teilsumme	0,0059 h			0,19	0,09	0,28
<i>Textilglasgewebe</i> 0,25*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten 1,20*m2/fasges ;Textilglasgewebe	0,0058 h 0,0280 m2		32,20 2,28	0,19	0,06	0,19 0,06
Textilglasgewebe Teilsumme	0,0058 h			0,19	0,06	0,25
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i> 0,05*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten 0,30*m2/fasges ;Edelputzgrundierung silikatgebunden	0,0012 h 0,0070 kg		32,20 1,51	0,04	0,01	0,04 0,01
Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0012 h			0,04	0,01	0,05
<i>Dünnputz auftragen</i> 0,15*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten 2,70*m2/fasges ;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm 0,18*m2/fasges ;Hilfsstoffe allgemein	0,0035 h 0,0630 kg 0,0042 EUR		32,20 1,01 1,15	0,11	0,06	0,11 0,06
Dünnputz auftragen Teilsumme	0,0035 h			0,11	0,06	0,17
<b>102301</b> <b>MW-Riegel m. EPS-Ü. 30cm</b> <b>Einheitspreis je</b>	<b>0,0327 h</b>			<b>1,05</b>	<b>1,40</b>	<b>2,45</b>

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Fassadendetail Utendorf-gasse

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>102401</b> <b>PUR-Riegel m. EPS-Ü. 30cm</b> m2=(1,0+0,2*2)*0,2 fasges=12	0,2800 12,0000					
<i>PURdämmplatte</i> (0,60+0,10)*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten	0,0163 h		32,20	0,52		0,52
0,28*1,1*m2/fasges ;PUR Dämmplatte beids. Mineralvlies	0,0072 m3		229,07		1,65	1,65
0,02*1,1*m2/fasges ;Styropor PS20-B1	0,0005 m3		65,37		0,03	0,03
9,00*m2/fasges ;Edelstahlanker 215mm	0,2100 ST		0,31		0,06	0,06
1,00*1,5*m2/fasges ;Heraklithschnellkleber	0,0350 kg		0,59		0,02	0,02
Dämmplatte Teilsumme	0,0163 h			0,52	1,76	2,28
<i>Grundputz</i> 0,25*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten	0,0058 h		32,20	0,19		0,19
9,00*m2/fasges ;Heraklith Unterputz	0,2100 kg		0,43		0,09	0,09
9,00/2000,00*m2/fasges ;Fertigmörtel mischen + Wasser	0,0001 m3		30,22			
0,07*m2/fasges ;Hilfsstoffe allgemein	0,0016 EUR		1,15			
Grundputz Teilsumme	0,0059 h			0,19	0,09	0,28
<i>Textilglasgewebe</i> 0,25*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten	0,0058 h		32,20	0,19		0,19
1,20*m2/fasges ;Textilglasgewebe	0,0280 m2		2,28		0,06	0,06
Textilglasgewebe Teilsumme	0,0058 h			0,19	0,06	0,25
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i> 0,05*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten	0,0012 h		32,20	0,04		0,04
0,30*m2/fasges ;Edelputzgrundierung silikatgebunden	0,0070 kg		1,51		0,01	0,01
Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0012 h			0,04	0,01	0,05
<i>Dünnputz auftragen</i> 0,15*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten	0,0035 h		32,20	0,11		0,11
2,70*m2/fasges ;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm	0,0630 kg		1,01		0,06	0,06
0,18*m2/fasges ;Hilfsstoffe allgemein	0,0042 EUR		1,15			
Dünnputz auftragen Teilsumme	0,0035 h			0,11	0,06	0,17
102401      PUR-Riegel m. EPS-Ü. 30cm      Einheitspreis je	0,0327 h			1,05	1,98	3,03

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Fassadendetail Utendorfsgasse

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	Positionstichwort	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>102501</b>	<b>Sturzplatte 'Blueclad' 30cm</b>						
	m2=1,0*0,30 fasges=12	0,3000 12,0000					
<i>Sturzplatte</i>							
0,50*m2/fasges	;Lohn Putzarbeiten	0,0125 h		32,20	0,40		0,40
2,50*m2/fasges	;Heraklithschnellkleber	0,0625 kg		0,59		0,04	0,04
17,17*m2/fasges	;Schaumstoffe, Platten allgemein	0,4293 EUR		1,15		0,49	0,49
	Dämmplatte Teilsumme	0,0125 h			0,40	0,53	0,93
<i>Textilglasgewebe einbetten + Bewehrungsgrund</i>							
0,25*m2/fasges	;Lohn Putzarbeiten	0,0063 h		32,20	0,20		0,20
1,20*m2/fasges	;Textilglasgewebe	0,0300 m2		2,28		0,07	0,07
4,00*m2/fasges	;Heraklithschnellkleber	0,1000 kg		0,59		0,06	0,06
0,18*m2/fasges	;Hilfsstoffe allgemein	0,0045 EUR		1,15		0,01	0,01
	Textilglasgewebe einbetten Teilsumme	0,0063 h			0,20	0,14	0,34
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i>							
0,05*m2/fasges	;Lohn Putzarbeiten	0,0013 h		32,20	0,04		0,04
0,30*m2/fasges	;Edelputzgrundierung silikatgebunden	0,0075 kg		1,51		0,01	0,01
	Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0013 h			0,04	0,01	0,05
<i>Dünnputz auftragen</i>							
0,15*m2/fasges	;Lohn Putzarbeiten	0,0038 h		32,20	0,12		0,12
2,70*m2/fasges	;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm	0,0675 kg		1,01		0,07	0,07
0,18*m2/fasges	;Hilfsstoffe allgemein	0,0045 EUR		1,15		0,01	0,01
	Dünnputz auftragen Teilsumme	0,0038 h			0,12	0,08	0,20
102501	Sturzplatte 'Blueclad' 30cm						
	Einheitspreis je	0,0239 h			0,76	0,76	1,52

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Fassadendetail Utendorfasse

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	Positionstichwort	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>102601</b>	<b>Sturzplatte Masterclima' 30cm</b>						
	m2=1,0*0,30 fasges=12	0,3000 12,0000					
<i>Sturzplatte</i>							
0,50*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten		0,0125 h		32,20	0,40		0,40
2,50*m2/fasges ;Heraklithschnellkleber		0,0625 kg		0,59		0,04	0,04
19,56*m2/fasges ;Schaumstoffe, Platten allgemein		0,4890 EUR		1,15		0,56	0,56
	Dämmplatte Teilsumme	0,0125 h			0,40	0,60	1,00
<i>Textilglasgewebe einbetten + Bewehrungsgrund</i>							
0,25*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten		0,0063 h		32,20	0,20		0,20
1,20*m2/fasges ;Textilglasgewebe		0,0300 m2		2,28		0,07	0,07
4,00*m2/fasges ;Heraklithschnellkleber		0,1000 kg		0,59		0,06	0,06
0,18*m2/fasges ;Hilfsstoffe allgemein		0,0045 EUR		1,15		0,01	0,01
	Textilglasgewebe einbetten Teilsumme	0,0063 h			0,20	0,14	0,34
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i>							
0,05*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten		0,0013 h		32,20	0,04		0,04
0,30*m2/fasges ;Edelputzgrundierung silikatgebunden		0,0075 kg		1,51		0,01	0,01
	Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0013 h			0,04	0,01	0,05
<i>Dünnputz auftragen</i>							
0,15*m2/fasges ;Lohn Putzarbeiten		0,0038 h		32,20	0,12		0,12
2,70*m2/fasges ;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm		0,0675 kg		1,01		0,07	0,07
0,18*m2/fasges ;Hilfsstoffe allgemein		0,0045 EUR		1,15		0,01	0,01
	Dünnputz auftragen Teilsumme	0,0038 h			0,12	0,08	0,20
102601	Sturzplatte Masterclima' 30cm						
	Einheitspreis je	0,0239 h			0,76	0,83	1,59

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma: Haus der Zukunft  
 Projekt: Haus der Zukunft

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>0401BW1-1 Stahlbetonwand 20cm ohne Vorsatzschale</b>	<b>1,00 m2</b>					
<i>Beton</i>						
0,20 = 0,2 M3/m2						
3,1m3/Std a 3Mann						
0,2*3/3,1 ;Lohn Hochbau	0,1935 HR		34,32	6,64		6,64
0,2*1,05 ;B300 S GK32 K3	0,2100 M3		72,75		15,28	15,28
0,2*1,05 ;Betonpumpe	0,2100 m3		7,94		1,67	1,67
<i>Doppelseitige Wandschalung</i>						
2,00 = 2 M2/m2						
2*0,50 ;Lohn Hochbau	1,0000 HR		34,32	34,32		34,32
37,87/1,1429*2/13,7603 ;Schalung ;Diverse Stoffkosten	4,8160 euro		1,14		5,50	5,50
<i>Bewehrung</i>						
15,0 = 15 KG/m2						
15*0,022 ;Lohn Hochbau	0,3300 HR		34,32	11,33		11,33
15*1/1000 ;Bst 550 inkl. DA	0,0150 to		356,37		5,35	5,35
15*,01 ;Bindedraht 1mm	0,1500 kg		2,35		0,35	0,35
15*1/100 ;Distanzstreifen 40-80 mm	0,1500 st		1,10		0,16	0,16
0401BW1-1 Stahlbetonwand 20cm ohne Vorsatzschale	1,5235 h			52,29	28,31	80,60
Haus der Zukunft	1,5235 h			52,29	28,31	nächste Seite

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Fassadendetail Utendorfsgasse

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>101550F</b> <b>VWS 30cm ohne Dübelung</b>	<b>1,00 m2</b>					
<i>Dämmplatte</i>						
0,45 ;Lohn Putzarbeiten	0,4500 h		32,20	14,49		14,49
4,00*1,25 ;Heraklithschnellkleber	5,0000 kg		0,59		2,95	2,95
0,30*1,05 ;Styropor PS20-B1	0,3150 m3		65,37		20,59	20,59
Dämmplatte Teilsumme	0,4500 h			14,49	23,54	38,03
<i>Textilglasgewebe einbetten + Bewehrungssgrund</i>						
0,25 ;Lohn Putzarbeiten	0,2500 h		32,20	8,05		8,05
1,20 ;Textilglasgewebe	1,2000 m2		2,28		2,73	2,73
4,00 ;Heraklithschnellkleber	4,0000 kg		0,59		2,36	2,36
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,15		0,21	0,21
Textilglasgewebe einbetten Teilsumme	0,2500 h			8,05	5,30	13,35
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i>						
0,05 ;Lohn Putzarbeiten	0,0500 h		32,20	1,61		1,61
0,30 ;Edelputzgrundierung silikatgebunden	0,3000 kg		1,51		0,45	0,45
Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0500 h			1,61	0,45	2,06
<i>Dünnputz auftragen</i>						
0,15 ;Lohn Putzarbeiten	0,1500 h		32,20	4,83		4,83
2,70 ;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm	2,7000 kg		1,01		2,72	2,72
2,70/2000,00 ;Fertigmörtel mischen + Wasser	0,0014 m3		30,22	0,04		0,04
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,15		0,21	0,21
Dünnputz auftragen Teilsumme	0,1513 h			4,87	2,93	7,80
101550F      VWS 30cm ohne Dübelung	Einheitspreis je m2			29,02	32,22	61,24
Stahlbetonwand 20 cm inkl. VWS 30 cm	Übertrag siehe vorige Seite					141,84

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Haus der Zukunft

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>0502A3</b> <b>TJI 302mm, 3cm Schwingbügel o.Dämmung</b>	<b>1,00</b> m2					
<i>Fabrikfertigung</i> 0,11+0,11+0,21+0,02 ;Lohn Zimmerei	0,4500 HR		37,42	16,84		16,84
<i>Material</i> 25*2,5/37,50 ;TJI-Träger 350 Höhe 302mm	1,6667 M1		10,85		18,08	18,08
1,0 ;Spanplatte 1,8 cm zementgeb.	1,0000 m2		9,77		9,77	9,77
1,0 ;Spanplatte 1,6 cm	1,0000 m2		2,90		2,90	2,90
15/37,50 ;Nägel, Drahtstifte	0,4000 KG		0,81		0,32	0,32
<i>Dämmung</i> 0,20+0,05 ;Lohn Zimmerei	0,2500 HR		37,42	9,36		9,36
3,00 ;Wärmedämmfilz WDF 100mm	3,0000 M2		4,13		12,38	12,38
<i>Vorsatzschale</i> 0,10 ;Lohn Zimmerei	0,1000 HR		37,42	3,74		3,74
1 ;GIPSKARTON GKB 12,5MM LG=2,50M	1,0000 M2		2,96		2,96	2,96
2 ;CD Profil 60/27/0,6 4,00m	2,0000 M1		0,85		1,70	1,70
2 ;Akustik Schwingbügel 3,5/5,0	2,0000 ST		0,27		0,54	0,54
<i>Baumontage</i> 0,11 ;Lohn Zimmerei	0,1100 HR		37,42	4,12		4,12
<i>Eternit-Fassade Hinterlüftet</i> 45,78/2 ;Sub Lohn	22,8900 EUR		1,15	26,32		26,32
45,78/2 ;Sub Sonstiges	22,8900 EUR		1,15		26,32	26,32
0502A3      TJI 302mm, 3cm Schwingbügel o.Dämmung      Einheitspreis je m2	0,9100 h			60,38	74,97	135,35
Haus der Zukunft	0,9100 h			60,38	74,97	135,35

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Haus der Zukunft

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>0502A2</b> <b>TJI 241mm, 4cm Schwingbügel m.Dämmung</b>	<b>1,00</b>	<b>m2</b>				
<i>Fabrikfertigung</i>						
0,11+0,11+0,21+0,02 ;Lohn Zimmerei	0,4500	HR	37,42	16,84		16,84
<i>Material</i>						
25*2,5/37,50 ;TJI-Träger 350 Höhe 214mm	1,6667	M1	10,33		17,22	17,22
1,0 ;Spanplatte 1,8 cm zementgeb.	1,0000	m2	9,77		9,77	9,77
1,0 ;Spanplatte 1,6 cm	1,0000	m2	2,90		2,90	2,90
15/37,50 ;Nägel, Drahtstifte	0,4000	KG	0,81		0,32	0,32
<i>Dämmung</i>						
0,18+0,05 ;Lohn Zimmerei	0,2300	HR	37,42	8,61		8,61
2,00 ;Wärmedämmfilz WDF 100mm	2,0000	M2	4,13		8,26	8,26
1,00 ;Wärmedämmfilz WDF 40mm	1,0000	M2	2,15		2,15	2,15
<i>Vorsatzschale</i>						
0,10+0,05 ;Lohn Zimmerei	0,1500	HR	37,42	5,61		5,61
1 ;GIPSKARTON GKB 12,5MM LG=2,50M	1,0000	M2	2,96		2,96	2,96
1,00 ;Wärmedämmfilz WDF 40mm	1,0000	M2	2,15		2,15	2,15
2 ;CD Profil 60/27/0,6 4,00m	2,0000	M1	0,85		1,70	1,70
2,20 ;Akustik Schwingbügel 3,5/5,0	2,2000	ST	0,27		0,60	0,60
<i>Baumontage</i>						
0,11 ;Lohn Zimmerei	0,1100	HR	37,42	4,12		4,12
<i>Eternit-Fassade Hinterlüftet</i>						
45,78/2 ;Sub Lohn	22,8900	EUR	1,15	26,32		26,32
45,78/2 ;Sub Sonstiges	22,8900	EUR	1,15		26,32	26,32
0502A2      TJI 241mm, 4cm Schwingbügel m.Dämmung      Einheitspreis je m2	0,9400	h		61,50	74,35	135,85
Haus der Zukunft	0,9400	h		61,50	74,35	135,85

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Haus der Zukunft

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>0501B1 Sparholzlösung</b>	<b>1,00 m2</b>					
<i>Fabrikfertigung</i>						
0,32 ;Lohn Zimmerei	0,3200 HR		37,42	11,98		11,98
<i>Material</i>						
0,25/37,50 ;Kantholz, Pfosten	0,0067 M3		174,41		1,17	1,17
0,12/37,50 ;Kantholz, Pfosten	0,0032 M3		174,41		0,56	0,56
1 ;OSB-Platten 15 mm 2,8x1,25 m	1,0000 m2		9,24		9,24	9,24
15/37,50 ;Nägels, Drahtstifte	0,4000 KG		0,81		0,32	0,32
<i>Dämmung</i>						
0,07 ;Lohn Zimmerei	0,0700 HR		37,42	2,62		2,62
1,00 ;Wärmedämmfilz WDF 80mm	1,0000 M2		3,30		3,30	3,30
<i>Vorsatzschale</i>						
0,08+0,1 ;Lohn Zimmerei	0,1800 HR		37,42	6,74		6,74
1 ;GIPSKARTON GKB 12,5MM LG=2,50M	1,0000 M2		2,96		2,96	2,96
2 ;CD Profil 60/27/0,6 4,00m	2,0000 M1		0,85		1,70	1,70
2 ;Akustik Schwingbügel 3,5/5,0	2,0000 ST		0,27		0,54	0,54
<i>Baumontage</i>						
0,11 ;Lohn Zimmerei	0,1100 HR		37,42	4,12		4,12
<i>Außenverputz</i>						
<i>Dämmplatte</i>						
0,45 ;Lohn Putzarbeiten	0,4500 h		31,21	14,05		14,05
4,00*1,25 ;Heraklithschnellkleber	5,0000 kg		0,62		3,09	3,09
0,30*1,05 ;Styropor PS20-B1	0,3150 m3		55,61		17,52	17,52
Dämmplatte Teilsumme	1,1300 h			39,51	40,40	79,91
<i>Textilglasgewebe einbetten + Bewehrungssgrund</i>						
0,25 ;Lohn Putzarbeiten	0,2500 h		31,21	7,80		7,80
1,20 ;Textilglasgewebe	1,2000 m2		2,26		2,72	2,72
4,00 ;Heraklithschnellkleber	4,0000 kg		0,62		2,47	2,47
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,14		0,21	0,21
Textilglasgewebe einbetten Teilsumme	0,2500 h			7,80	5,40	13,20
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i>						
0,05 ;Lohn Putzarbeiten	0,0500 h		31,21	1,56		1,56
0,30 ;Edelputzgrundierung silikatgebunden	0,3000 kg		2,16		0,65	0,65
Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0500 h			1,56	0,65	2,21
<i>Dünnputz auftragen</i>						
0,15 ;Lohn Putzarbeiten	0,1500 h		31,21	4,68		4,68
2,70 ;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm	2,7000 kg		1,62		4,38	4,38
2,70/2000,00 ;Fertigmörtel mischen + Wasser	0,0014 m3		29,17	0,04		0,04
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,14		0,21	0,21
Dünnputz auftragen Teilsumme	0,1513 h			4,72	4,59	9,31
0501B1 Wanddetail B1	1,5813 h			53,59	51,04	104,63
Einheitspreis je m2						
Haus der Zukunft	1,5813 h			53,59	51,04	104,63

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Fassadendetail Utendorfsgasse

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>102001</b> <b>VWS 30cm</b>						
<i>Dämmplatte</i>						
0,45 ;Lohn Putzarbeiten	0,4500 h		32,20	14,49		14,49
4,00*1,25 ;Heraklithschnellkleber	5,0000 kg		0,59		2,95	2,95
0,30*1,05 ;Styropor PS20-B1	0,3150 m3		65,37		20,59	20,59
Dämmplatte Teilsumme	0,4500 h			14,49	23,54	38,03
<i>Textilglasgewebe einbetten + Bewehrungssgrund</i>						
0,25 ;Lohn Putzarbeiten	0,2500 h		32,20	8,05		8,05
1,20 ;Textilglasgewebe	1,2000 m2		2,28		2,73	2,73
4,00 ;Heraklithschnellkleber	4,0000 kg		0,59		2,36	2,36
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,15		0,21	0,21
Textilglasgewebe einbetten Teilsumme	0,2500 h			8,05	5,30	13,35
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i>						
0,05 ;Lohn Putzarbeiten	0,0500 h		32,20	1,61		1,61
0,30 ;Edelputzgrundierung silikatgebunden	0,3000 kg		1,51		0,45	0,45
Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0500 h			1,61	0,45	2,06
<i>Dünnputz auftragen</i>						
0,15 ;Lohn Putzarbeiten	0,1500 h		32,20	4,83		4,83
2,70 ;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm	2,7000 kg		1,01		2,72	2,72
2,70/2000,00 ;Fertigmörtel mischen + Wasser	0,0014 m3		30,22	0,04		0,04
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,15		0,21	0,21
Dünnputz auftragen Teilsumme	0,1513 h			4,87	2,93	7,80
102001                    VWS 30cm	0,9013 h			29,02	32,22	61,24
Einheitspreis je						

# PREISERMITTLUNG - K7

Firma:  
Projekt: Fassadendetail Utendorfsgasse

Preisbasis:

Positionsnummer Ansatzformel / Betriebsmittelbezeichnung	LV-Menge Ansatzmenge	EH	PVZZ Preis/EH	Lohn (EUR)	Sonstiges (EUR)	Einheitspreis (EUR)
<b>101550G</b> <b>VWS 10cm ohne Dübelung</b>	<b>1,00 m2</b>					
<i>Dämmplatte</i>						
0,42 ;Lohn Putzarbeiten	0,4200 h		32,20	13,52		13,52
4,00*1,115 ;Heraklithschnellkleber	4,4600 kg		0,59		2,63	2,63
0,10*1,05 ;Styropor PS20-B1	0,1050 m3		65,37		6,86	6,86
Dämmplatte Teilsumme	0,4200 h			13,52	9,49	23,01
<i>Textilglasgewebe einbetten + Bewehrungssgrund</i>						
0,25 ;Lohn Putzarbeiten	0,2500 h		32,20	8,05		8,05
1,20 ;Textilglasgewebe	1,2000 m2		2,28		2,73	2,73
4,00 ;Heraklithschnellkleber	4,0000 kg		0,59		2,36	2,36
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,15		0,21	0,21
Textilglasgewebe einbetten Teilsumme	0,2500 h			8,05	5,30	13,35
<i>Vorstreichen mit Putzgrund</i>						
0,05 ;Lohn Putzarbeiten	0,0500 h		32,20	1,61		1,61
0,30 ;Edelputzgrundierung silikatgebunden	0,3000 kg		1,51		0,45	0,45
Vorstreichen mit Putzgrund Teilsumme	0,0500 h			1,61	0,45	2,06
<i>Dünnputz auftragen</i>						
0,15 ;Lohn Putzarbeiten	0,1500 h		32,20	4,83		4,83
2,70 ;Edelputz Rillenstruktur silikatgeb. 2mm	2,7000 kg		1,01		2,72	2,72
2,70/2000,00 ;Fertigmörtel mischen + Wasser	0,0014 m3		30,22	0,04		0,04
0,18 ;Hilfsstoffe allgemein	0,1800 EUR		1,15		0,21	0,21
Dünnputz auftragen Teilsumme	0,1513 h			4,87	2,93	7,80
101550G      VWS 10cm ohne Dübelung	Einheitspreis je m2			28,05	18,17	46,22
Fassadendetail Utengasse	0,8713 h			28,05	18,17	46,22