

# Lüften und Heizen in Passivhäuser in Österreich

Variantenvergleich auf Basis von Behaglichkeit  
und Nachhaltigkeit

G. Rojas, M. Spörk-Dür, D. Venus,

A. Greml, L. Krissmer, R. Pfluger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**00/2010**

**Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter  
<http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# Lüften und Heizen in Passivhäuser in Österreich

Variantenvergleich auf Basis von Behaglichkeit und Nachhaltigkeit

Mag. Gabriel Rojas  
Lukas Krissmer  
Dr. Rainer Pfluger  
Universität Innsbruck  
Arbeitsbereich Energieeffizientes Bauen

DI Monika Spörk-Dür  
DI David Venus  
AEE INTEC

Andreas Greml  
Verein Komfortlüftung.at

Innsbruck, April 2015

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm *Haus der Zukunft* des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie.

Die Intention des Programms ist, die technologischen Voraussetzungen für zukünftige Gebäude zu schaffen. Zukünftige Gebäude sollen höchste Energieeffizienz aufweisen und kostengünstig zu einem Mehr an Lebensqualität beitragen. Manche werden es schaffen, in Summe mehr Energie zu erzeugen als sie verbrauchen („Haus der Zukunft Plus“).

Innovationen im Bereich der zukunftsorientierten Bauweise werden eingeleitet und ihre Markteinführung und -verbreitung forciert. Die Ergebnisse werden in Form von Pilot- oder Demonstrationsprojekten umgesetzt, um die Sichtbarkeit von neuen Technologien und Konzepten zu gewährleisten.

Das Programm *Haus der Zukunft Plus* verfolgt nicht nur den Anspruch, besonders innovative und richtungsweisende Projekte zu initiieren und zu finanzieren, sondern auch die Ergebnisse offensiv zu verbreiten. Daher werden sie in der Schriftenreihe publiziert und elektronisch über das Internet unter der Webadresse <http://www.HAUSderZukunft.at> Interessierten öffentlich zugänglich gemacht.

DI Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	10
Abstract.....	12
1 Einleitung.....	14
2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt .....	14
2.1 Beschreibung des Standes der Technik.....	14
2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema.....	15
2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts).....	15
2.4 Verwendete Methoden.....	18
2.4.1 Methode für Auswertung der Monitoring Daten .....	18
2.4.2 Telefonbefragung .....	20
2.4.3 Dynamische Gebäudesimulation .....	21
2.4.4 Strömungssimulationen (CFD) .....	27
2.4.5 Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit .....	30
3 Ergebnisse des Projektes .....	31
3.1 Auswertung Monitoring Daten.....	31
3.1.1 Zusammenfassung Temperaturanalyse.....	31
3.1.2 Zusammenfassung der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen.....	34
3.2 Telefonbefragung.....	36
3.3 Bewertung der Behaglichkeit mittels Simulationen.....	38
3.3.1 Dynamische Gebäudesimulationen .....	38
3.3.2 Strömungssimulationen (CFD) .....	63
3.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit.....	70
3.4.1 Investitionskosten nach Projekten .....	70
3.4.2 Investitionskosten nach Positionen / Bauteilen .....	72
3.4.3 Investitionskostenvergleich für die Referenzwohnung .....	75
3.4.4 Lebenszykluskosten und Auswirkungen auf den Klimaschutz .....	78
3.4.5 Einsparpotentiale.....	81
4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms.....	83
4.1 Einpassung in das Programm.....	83
4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms.....	83
4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt .....	83



4.4	Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse.....	84
5	Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen .....	84
6	Ausblick und Empfehlungen .....	85
7	Literaturverzeichnis .....	85
8	Anhang A: Detaillierte Auswertung der Monitoring Daten .....	97
8.1	Objekte mit luftgeführtem Heizsystem.....	97
8.1.1	Dreherstraße, Wien .....	97
8.1.2	Utendorfgasse, Wien.....	104
8.1.3	Reihenhausanlage Hörbranz, Vorarlberg.....	111
8.1.4	Mehrfamilienwohnanlage Wolfurt, Vorarlberg .....	118
8.1.5	Reihenhausanlage Steyr-Dietach, Oberösterreich.....	123
8.2	Wohngebäude mit wassergeführtem Heizsystem .....	128
8.2.1	Mühlweg, Wien.....	128
8.2.2	Lodenareal Innsbruck.....	135
9	Anhang B: Telefonumfragen.....	152
9.1.1	Fragebogen für die Energieinstitute der Bundesländer .....	152
9.1.2	Fragebogen für die Techniker der Wohnbauförderung .....	154
9.1.3	Fragebogen für die Bauträger.....	156
9.1.4	Fragebogen für die Haustechnikplaner .....	158
9.1.5	Fragebogen für Facility Manager, Hausverwalter .....	160
9.1.6	Ergebnisse Energieberatungsinstitute .....	162
9.1.7	Ergebnisse TechnikerInnen der Wohnbauförderung.....	164
9.1.8	Ergebnisse Bauträger.....	166
9.1.9	Ergebnisse Haustechnikplaner .....	170
9.1.10	Ergebnisse Facility Manager .....	174

# Kurzfassung

## Ausgangssituation/Motivation

Das Passivhaus-Konzept beruht auf der Idee, die Transmissionswärmeverluste so gering zu halten, dass eine behagliche Raumtemperierung allein durch die Nacherwärmung der hygienisch erforderlichen Frischluftmenge möglich ist. Im mehrgeschossigen Wohnbau wird aber in Österreich bislang selten eine Luftheizung umgesetzt. Mögliche Einsparpotenziale bei der Haustechnik werden somit nicht völlig ausgeschöpft.

## Inhalte und Zielsetzungen

Mit Hilfe einer Umfrage wurde das in der Baupraxis vorherrschende Meinungsbild zum Thema Luftheizung erhoben. Die Messdaten von bereits abgeschlossenen PH-Monitoring Projekten wurden speziell in Hinblick auf mögliche Behaglichkeitsunterschiede ausgewertet. Auf Basis von dynamischen Gebäudesimulationen wurden die Unterschiede in Bezug auf Behaglichkeit systematisch quantifiziert und analysiert. Die Kostenunterschiede aus realisierten Passivhaus-Projekten wurden recherchiert, ausgewertet und eine Lebenszyklusanalyse auch in Bezug auf Nachhaltigkeit angefertigt. Ziel dieser Arbeit war es, die strittigen Fragen der unter Fachleuten kontrovers geführten Diskussionen, über das Für und Wider von luft- bzw. wassergeführten Heizsystemen näher zu beleuchten und mit Fakten zu hinterlegen.

## Methodische Vorgehensweise

Es wurden telefonische Befragungen mit fünf Zielgruppen (Energieinstitute der Bundesländer, Techniker der Wohnbauförderung, Bauträger, Haustechnikplaner, Facility Manager) durchgeführt. Dabei standen folgende Aspekte im Vordergrund: grundsätzliche Meinung zum Thema Luftheizung, konkrete Hintergründe für eine Empfehlung/Entscheidung für bzw. gegen eine Luftheizung, Erfahrungen bezüglich der Kostenaspekte und Erfahrungsstand der Befragten zum Thema Passivhaus. Für die Messdatenauswertung wurden 20 Wohneinheiten aus mit Luftheizung und 22 Wohneinheiten aus mit Heizkörper bzw. Fußbodenheizung ausgestatteten Wohnanlagen herangezogen.

Die dynamische Gebäudesimulation basiert auf einem realen Wohnungsgrundriss mit einer Fläche von 76 m<sup>2</sup>. Das Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer wurde entweder mit Luft- (LH), Heizkörper- (HK) oder Fußbodenheizung (FH) simuliert. Dabei wurde versucht die aktuell gängigste Baupraxis abzubilden, daher wurden die LH und die FH zentral mittels PI-Regler (auf die Flurtemperatur), die HK raumweise mittels Thermostatventil geregelt. Der Flur- und Eingangsbereich blieb, abgesehen von indirekter Wärmeabgabe, unbeheizt, während das Bad für diese Untersuchungen mit einer Idealheizung modelliert wurde. Die vom Nutzer gewünschte Behaglichkeitstemperatur wurde im Referenzmodell mit 22°C angenommen. Um den realen Nutzereingriff abzubilden wurde eine regelmäßige (1x wöchentlich) „Nachjustage“ der Solltemperatureinstellung am Regler durch den Nutzer abgebildet. Um auch den Einfluss der Luftströmungsverhältnisse im Raum auf die Behaglichkeit zu berücksichtigen, wurden für

das Wohnzimmer numerische Strömungssimulationen (CFD) für den Vollast-Heizfall (maximale Heizlast) durchgeführt.

Die mittleren Investitionskosten (Material und Lohn) der relevanten Komponenten (wohnungsintern) wurden aus bereits realisierten Passivhaus-Wohnbauprojekten ermittelt und in einer Lebenszykluskostenanalyse gegenübergestellt.

## **Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Diese Studie zeigt, dass in Passivhäusern (Fokus auf mehrgeschossigen Wohnbau) ein luftgeführtes Heizsystem ebenso die strengste Behaglichkeitsklasse erfüllt wie ein wassergeführtes. Dies gilt für den Wohnbereich (bzw. jenen Raum wo der Temperatursensor positioniert ist). Sollen auch die Schlafräume durchgehend die strengste Behaglichkeitsklasse erfüllen, bedarf es einer raumweisen Temperaturregelung. Bei einer wohnungsweisen Regelung (wie üblicherweise bei der Luft- und Fußbodenheizung implementiert) können je nach Randbedingung und Nutzerverhalten unerwünschte Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Räumen entstehen. Eine erhöhte planerische Sorgfalt ist in diesen Fällen erforderlich.

Die Kostenrecherche zeigt, dass bei aktueller Baupraxis bei einer Luftheizung (mit wohnungsweiser Regelung) von 800 € bzw. 1100 € Einsparung gegenüber der Radiatorheizung bzw. der Fußbodenheizung ausgegangen werden darf. Mögliche Passivhaus-bedingte Einsparpotentiale (kostenoptimierte Positionierung und kleinere Heizflächen) können diese Kostenunterschiede noch verringern. Für eine raumweise Regelung (ein Heizregister pro Raum) sind derzeit für die Luftheizung ähnliche Kosten wie für die Heizkörperlösung (mit Thermostatventil) anzusetzen.

## **Ausblick**

Wie diese aktuelle Studie gezeigt hat, ist der klassische Heizkörper mit Thermostatventil aufgrund der hohen Stückzahlen nur geringfügig teurer als die Luftheizung und ermöglicht problemlose Einzelraumregelung. Gegenüber der klassischen Heizkörperinstallation unter dem Fenster, ermöglicht das Passivhaus die praktisch beliebige Anordnung und damit reduzierte Kosten für das Verteilnetz. Neben dieser klassischen hydraulischen Heizwärmeverteilung spielt in der Sanierung bei nachträglichem Einbau von Lüftungsanlagen die Möglichkeit der aktiven Überströmung eine wichtige Rolle, wenn auf Zuluftkanäle und Deckenabhängung weitgehend verzichtet werden soll. Hier könnte die Luftheizung künftig in Form von aktiven Überströmern mit Heizfunktion einen interessanten Einsatzbereich finden.

# **Abstract**

## **Starting point/Motivation**

The Passive House concept is based on the idea to keep the heat losses so low that comfortable room temperatures can be maintained solely by heating the hygienically required supply air. But especially in multi-family housing this type of air heating is rarely being implemented in Passive House projects in Austria. The potential savings in building services are not fully exploited.

## **Contents and Objectives**

Within a survey the predominant opinion of the stakeholders related to air heating for residential housing in Passive House standard was collected. The measurement data from completed Passive House projects were evaluated especially in view of possible differences in thermal comfort between conventional and air heating system. Additionally, dynamic building simulations were performed to systematically analyze and quantify possible differences in terms of comfort and controllability. The cost differences of realized Passive House projects were evaluated within a life cycle analysis. The aim of this study was to provide quantifiable facts for the up to date ongoing discussions about the pros and cons of air and hydronic heating systems.

## **Methods**

Telephone interviews were conducted with five different target groups (energy consultancy institutes, technicians of the housing subsidy administration, housing developers, planners, facility managers). The questionnaires were centred around the following topics: General opinion on air heating in Passive Houses, specific arguments when recommending/deciding for or against air heating, cost aspects of air heating systems and general experiences with Passive Houses. For the measurement data analysis 20 dwelling units with air heating and 22 units with hydronic heating system (radiators or underfloor heating) were evaluated.

The dynamic building simulations were based on a real floor plan with an area of 76 m<sup>2</sup>. The living room, bedroom and children's room was simulated either with air heating (LH), radiator heating (HK) or floor heating (FH). To depict the current building practices the air heating and the floor heating were controlled by a PI controller based on the operative temperature of the corridor. The radiators were modelled with thermostatic valves for each room. The corridor and entrance area remained (apart from indirect heat dissipation) unheated, while the bathroom was modelled with an ideal heating. The reference model assumed a desired comfort temperature by the user of 22°C. To reflect user intervention based on thermal comfort sensation, a regular (weekly 1x) "re-adjustment" of the temperature setting of the controller was implemented. Additionally, computational fluid dynamics (CFD) simulation of the living room were performed to consider the influence of the air flow conditions for the evaluation of thermal comfort.

The investment costs of the three different heating distribution systems (air, radiator, floor) were determined using the cost information of realized housing projects. In a life cycle analysis the costs and sustainability parameters (CO<sub>2</sub>, primary energy) were compared and evaluated.

## **Results**

This study (focusing on multi-family homes) shows that in Passive Houses the requirements of the strictest comfort class (acc. to ISO 7730) can be met by with an air heating system as well as with a hydronic system. This always applies to the living room (or the room where the temperature sensor is positioned). If the bedrooms should also meet this strict comfort class at all times, a room-wise temperature control is required. With a flat-wise control (as commonly implemented for air and floor heating), undesirable temperature differences between rooms can occur depending on boundary conditions and user behaviour. A careful planning might be required in this case.

The cost analysis of the current building practice shows that an air heating system (with flat wise regulation) can be expected to save around 800 € or 1100 € compared to the radiator heating or floor heating, respectively. Possible Passive House related savings (cost-optimized positioning and smaller radiators) could still reduce these differences. An air heating with room-wise control (one heating coil per room) is estimated to have similar costs as the radiator solution (with thermostatic valve).

## **Prospects / Suggestions for future research**

As this study shows, the classic radiator solution using thermostatic valve is (due to its high production volume) only slightly more expensive than air heating while providing a room-wise temperature control. Compared to the usual installation below the window, a Passive House allows a simplified distribution network and therefore bears the potential of cost reduction not only with air but also with radiator heating. For refurbishment projects where a ventilation system has to be installed with little or no available space for ducting, a ductless ventilation concept like the so-called active overflow principle offers an attractive solution. There herein presented air heating based approach of equipping the active overflow element with a heating device could provide an interesting possibility of combining heating and ventilation in a minimal invasive manner. Further research is needed for a systematic evaluation of the potential and the limits of this approach.

# 1 Einleitung

Im mitteleuropäischen Klima kann ein Passivhaus die Behaglichkeitsanforderungen fast ganzjährig ohne aktives Heizsystem erfüllen. In der Zeit im Kernwinter, in denen die solaren und internen Wärmequellen nicht ausreichen, kann einem Passivhaus laut Definition (Feist, n.d.-c) die notwendige Heizleistung über den hygienisch notwendigen Luftwechsel zugeführt werden. Die Zuluft kann dafür bis auf 52°C erwärmt werden. Bei höherer Temperatur können Staubverschmelungen auftreten. Da die Luft eine nur geringe Wärmekapazität aufweist (0,33 Wh/m<sup>3</sup>K) und die Außenluftwechselrate gerade im Winter (zur Vermeidung trockener Raumluft) auf dem aus hygienischen Gründen notwendigen Minimum gehalten werden sollte, kann nur eine begrenzte Heizleistung eingebracht werden (ca. 10 W/m<sup>2</sup>) (Feist, n.d.-b). Das Passivhaus-Konzept beruht auf der Idee, dass die Transmissionswärmeverluste so gering sein müssen, dass eine Beheizung mit dieser geringen Heizleistung möglich ist. Die erhöhten Investitionskosten für die gute Gebäudehülle sollen so durch den Wegfall der Investitionskosten für das Heizwärmeverteilsystem bzw. kostengünstigere Wärmeerzeugung und Wärmeübergabe teilweise kompensiert werden. In den letzten 10 Jahren wurden in Österreich jedoch nur etwa 20% der großvolumigen Passivhäuser mit Luftheizungen ausgestattet (Venus, 2012). Bei den restlichen 80% entschieden sich die Bauherren für ein von der Lüftung getrennt ausgeführtes Heizverteilsystem. Mögliche Einsparpotenziale bei der Haustechnik werden somit nicht ausgeschöpft.

Ziel dieser Arbeit ist es, das Für und Wider von luft- bzw. wassergeführten Heizsystemen unter österreichischen Klimarandbedingungen und Kosten zu klären. Ausgehend von einer Erhebung des Meinungsbildes zum Thema Luftheizung in Passivhäuser in Österreich, wurde den geäußerten Vorbehalten in einer umfangreichen Simulationsstudie nachgegangen. Bereits realisierte und vermessene Wohnbauprojekte (mit Luft- bzw. mit wassergeführter Heizung) wurden auf mögliche Behaglichkeitsunterschiede analysiert. Außerdem wurde der Kostenunterschied einer Luftheizung im Vergleich zu den herkömmlichen Wärmeabgabesystemen (Heizkörper, Fußbodenheizung) speziell für mehrgeschossige Passivhauswohnbauten erhoben.

## 2 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

### 2.1 Beschreibung des Standes der Technik

Der genaue Stand der Technik zum Thema Luftheizung in österreichischen Passivhäusern ist nicht bekannt. Laut IG-Passivhaus-Datenbank werden in Österreich lediglich 20% der großvolumigen Passivhäuser mit Luftheizungen ausgestattet (Venus, 2012). Bekannt ist, dass ein Passivhaus über die hygienisch notwendige Zuluftmenge beheizt werden kann (Schnieders & Feist, 1998). Dies wurde schon mehrfach in Monitoring-Studien von deutschen (Feist, Peper, & Kah, 2001; Feist, Schnieders, Dorer, & Haas, 2005; Pfluger &

Feist, 2001) und österreichischen Bauprojekten (Krapmeier & Drössler, 2001; Wagner, Prein, Felberbauer, Spörk-Dür, & Suschek-Berger, 2009; Wagner, Prein, & Mauthner, 2009) demonstriert. Bekannt ist auch, dass einige Wohnbauträger bei Großprojekten, z.B. Lodenareal (Wagner et al., 2012), lieber getrennte Systeme (Komfortlüftung und wassergeführtes Heizsystem) einsetzen. Die Vor- und Nachteile einer Luftheizung werden in der Öffentlichkeit oft kontrovers diskutiert. Warum sich aber die Entscheidungsträger tatsächlich gegen eine Luftheizung entscheiden, wurde noch nicht genauer untersucht. Ob die vermeintlichen Beweggründe berechtigt sind, oder nur aus „Skepsis vor Neuem“ entstehen, konnte bis dato nicht sachlich diskutiert werden, da es eine umfassende vergleichende Studie mit quantifizierbaren Vor- und Nachteilen zwischen Luftheizung und wassergeführter Wärmeabgabe nicht gab.

## **2.2 Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema**

Folgende Studien zum Thema Heizsysteme für Passivhäuser gab es bereits vor dieser Studie. Deren Inhalte und Ergebnisse flossen bei der Planung und Abarbeitung der vorliegenden Studie ein.

- Optimierte Luftheizung für MINERGIE-P und Passivhäuser. (Dorer & Haas, 2004)
- Temperaturdifferenzierung in der Wohnung. (Feist, 2004)
- Behaglichkeitsatlas. (Meyer, Oppermann, & Wimmer, 2004)
- Behagliche Nachhaltigkeit. (Rohregger et al., 2004)
- Wärmeübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus. (Schnieders, 2004b)
- Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser. (Streicher, 2004)
- CEPHEUS Nr. 5: Passivhaus-Reihenhäuser: Über die Zuluft beheizbar? (Schnieders & Feist, 1998)
- Wirkung von Position und Art der Lüftungsöffnungen auf den Schadstoffabtransport. (Schnieders, 2003)
- Numerische Simulation von Luftströmungen in Wohnräumen mit mechanischer Lüftungsanlage. (Schwarz, 1999)
- Dynamisches Verhalten und Wärmeübergabeverluste von Flächenheizungen (Schnieders, 2005)
- Evaluierung der raumweisen Temperaturdifferenzierung in Wohnungen von Passivhäusern (Helmut Schöberl, Bednar, Radoslav, Konder, & Keul, 2010)

Die Inhalte werden im folgenden Kapitel erläutert.

## **2.3 Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt des Projekts)**

Diese Studie erforscht im direkten Vergleich die Vor- und Nachteile von luft- bzw. statischen Heizsystemen speziell für den Standort Österreich. Bereits veröffentlichte Studien (zu bestimmten Fragestellungen bei Luftheizung im Passiv- oder Niedrigenergiehaus) konnten diese Fragestellung nur unzureichend beantworten.

In (Schwarz, 1999) sind die Ergebnisse von numerischen Strömungssimulationen (CFD) von Luftströmungen in Wohnräumen mit mechanischer Lüftungsanlage beschrieben. Darin wird nur exemplarisch der Unterschied zwischen beheizter und unbeheizter Zuluft bezüglich Temperaturverteilung und Luftgeschwindigkeit in einem Raum untersucht. In (Schnieders, 2003) wurde der Einfluss von Position und Art der Lüftungsöffnung auch für den Fall mit beheizter Zuluft beispielhaft mittels CFD-Simulationen untersucht. Die Ergebnisse wurden aber nur in Bezug auf Schadstoffabfuhr (Luftalter, Lüftungseffizienz) ausgewertet. In einem weiteren Arbeitskreis des Passivhaus Institutes wurde speziell auf das Thema „Temperaturdifferenzierung in der Wohnung“ eingegangen (Feist, 2004). In zwei darin befindlichen Beiträgen (Schnieders, 2004a, 2004c) wurden diesbezügliche Einflussgrößen und Planungshinweise mit Hilfe von dynamischen Gebäudesimulationen erarbeitet. Diese Simulationsstudien basieren jedoch auf einem Modell eines Reihenendhauses und nicht einer Wohnung eines mehrgeschossigen Wohnbaus. Diese Arbeiten bildeten eine gute Wissens- und Methodengrundlage für diese Studie, es fehlt jedoch der systematische Vergleich zu einem konventionellen Wärmeübergabesystem (Radiator, Fußbodenheizung). Spezifische Fragestellungen für österreichische Standorte (kalte, trockene Winter) wurden in den oben genannten Veröffentlichungen ebenfalls nicht betrachtet. In einer weiteren interessanten Studie dieses Autors wird für einen Modellraum das dynamische Verhalten der Fußbodenheizung mit dem einer Heizkörper- bzw. Luftheizung systematisch für verschieden Gebäudequalitäten untersucht. Die darin beschriebenen Heizsystemspezifikationen und Modellierungsmethoden flossen in diese Studie ebenfalls ein.

Ein in der Programmlinie „Haus der Zukunft“ gefördertes Projekt untersuchte „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ (Streicher, 2004). In dieser umfangreichen Studie werden unterschiedliche Heizvarianten für gut gedämmte Gebäude beschrieben und qualitativ verglichen. Des Weiteren wurde eine quantitative Bewertung ausgewählter Varianten auf Basis realisierter Referenzgebäude mit Hilfe dynamischer Gebäudesimulationen und Wirtschaftlichkeitsanalysen durchgeführt. Für die Beantwortung der in der vorliegenden Studie zu klärenden Fragen fehlt aber der Vergleich zwischen „Passivhaus mit Luftheizung“ und „Passivhaus mit mechanischer Wohnraumlüftung UND wassergeführter Heizung (Fußboden, Radiator)“. Die Vergleiche beschränken sich auf ein klassisches Passivhaus mit Lüftung (inklusive Luftheizung) und Niedrigenergiehäuser (mit ähnlich guter Gebäudehülle wie ein Passivhaus) ohne mechanische Lüftung.

Ein weiteres durch „Haus der Zukunft“ gefördertes Projekt widmete sich unter anderem der Frage ob BewohnerInnen von Passivhäusern einen Komfortunterschied erleben, wenn ihr Haus über Zuluft bzw. mit anderen Wärmeabgabesystemen beheizt wird (Rohregger et al., 2004). Die Bewertung fand auf psychologischer und physiologischer Ebene statt, wobei ersteres mit Fragebögen und Interviews, letzteres über Messung der Herzfrequenzvariabilität erfolgte. Die Methodik und Herangehensweise unterscheidet sich somit grundsätzlich von der hier Vorgeschlagenen. Die Ergebnisse sind auf Grund der begrenzten Haus- und Probandenanzahl (10 Versuchspersonen verteilt auf 3 PH und 1 NEH) statistisch nicht abgesichert, sie deuten aber darauf hin, dass (Zitat) „die in den Passivhäusern untersuchten



unterschiedlichen Heizungssituationen keine signifikante Änderung in der autonomen Thermoregulation der Versuchspersonen hervorrufen.“Die Studie bietet zwar interessante Anhaltspunkte zu den Behaglichkeitsempfindungen von BewohnerInnen von Passivhäusern, die kleine Stichprobe und die unterschiedlichen Randbedingungen lassen jedoch einen diesbezüglichen systematischen Vergleich der beiden Heizmethoden nicht zu. Die vorliegende Studie bewertet die Behaglichkeit auf Basis einer umfangreichen Simulationsstudie mit Parametervariationen, die nach den Vorgaben der ISO 7730 bewertet werden.

Eine interessante Untersuchung verschiedener Wärmeabgabesysteme mit einer umfangreichen Parametervariation wurde in (Meyer et al., 2004) durchgeführt. Darin wurden 144 verschiedene Raumvarianten durch sinnvolle Kombination folgender Grundvarianten mittels CFD gebildet und simuliert: Fassadengestaltung (Verglasungsanteile 33%, 46%, 70% oder 50%), Dämmstandard (Passivhaus, mittlere Dämmstandard / EnEV, niedriger Dämmstandard / Wärmeschutzverordnung 1982), Heizungstechnik (Heizkörper Fassadenseitig, Fußbodenheizung, großer Heizkörper an Innenwand, kleiner Heizkörper an Innenwand über Tür), Lüftungstechnik (Fensterlüftung, Abluftanlage, Zu- und Abluftanlage mit WRG, Luftheizung). Damit ergeben sich 16 PH-Varianten ohne Luftheizung und 4 PH-Varianten mit Luftheizung. Der Fokus lag somit an einem überblickshaften Vergleich aller zurzeit typischen Realisierungsvarianten, dementsprechend wurden für eine detaillierte Betrachtung von Passivhausvarianten zum Teil unzulässige Randbedingungen bzw. Modellvereinfachungen gewählt. Z.B. wurde der Wärmerückgewinnungsgrad mit 70% angenommen und damit eine kühle Zulufttemperatur vorgegeben, die U-Werte wurden höher als typische PH-Werte (Fenster 1,0 statt 0,85 W/m<sup>2</sup>K) gesetzt, die Solltemperatur über die Luft- statt über die operative Raumtemperatur geregelt (vergleiche dazu Ergebnisse aus (Jürgen Schnieders, 2004)). Außerdem wurde mit einem laminaren statt mit einem turbulenten Strömungsmodell gerechnet (siehe dazu (Zhai, Zhang, Zhang, & Chen, 2007)). Es wurde keine Variationen bezüglich Standort oder der Belegungsdichte durchgeführt. Dennoch gelungene Vergleichsstudie zur thermischen Behaglichkeit für ein breites Spektrum an unterschiedlichen Gebäudeausführungen. Für eine feine Auflösung der sich aus Luft- oder Flächenheizung in einem Passivhaus möglicherweise ergebenden Unterschiede kann sie nicht herangezogen werden. Außerdem können keine Aussagen über mögliche Unterschiede aufgrund dynamischer Effekte (Regelung, solare Einträge) bzw. sich möglicherweise einstellende Temperaturunterschiede zwischen Räumen getroffen werden.

Blickt man in die Schweiz, ist vor allem ein, im Auftrag des Bundesamtes für Energie durchgeführtes Forschungsprojekt, interessant. Ziel dieser Untersuchungen mit dem Titel „Optimierte Luftheizung für MINENERGIE-P und Passivhäuser“ (Dorer & Haas, 2004) war es, zu klären „wie stark das Luftverteilsystem vereinfacht werden kann, inwieweit eine Luftheizung auch für Nicht-Passivhäuser geeignet ist und wie sich die Gebäudemasse als Wärmeübertrager und Speicher nutzen lässt“. Außerdem wurden Möglichkeiten und Anforderungen für die raumweise Nutzung von Holzöfen als Zusatzheizung untersucht. Insgesamt finden sich im Endbericht eine Vielzahl von Planungshinweisen und

Empfehlungen für den Einsatz von Luftheizungen, jedoch fehlt der direkte Vergleich zur Alternative mittels wassergeführter Verteilung.

In einer von der FFG-geförderten Studie wurde die Wirksamkeit von einer über „Mischluftboxen“ realisierten Luftheizung mit Einzelraumregelung in einem Wiener Passivhaus-Wohnbauprojekt untersucht und mit jenen Wohnungen ohne raumweiser Regelung verglichen. Ausgehend von dem Umfrageergebnis, dass in Wohnungen ohne raumweiser Regelung deutlich mehr Nutzer ihr Schlafzimmer dauerhaft lüften, wurde vor allem das mögliche Einsparpotential einer raumweisen Temperaturregelung beleuchtet. Interessant ist auch das Ergebnis, dass 90% der Befragten mit den Raumtemperaturen außerhalb des Wohnzimmers zufrieden sind, egal ob sie eine raumweise Temperaturregelung hatten oder nicht. Ein Vergleich mit über Heizkörper- oder Fußboden beheizten Wohnungen wurde nicht durchgeführt.

Diese Studie quantifiziert erstmals mögliche Behaglichkeitsunterschiede zwischen den unterschiedlichen Wärmeabgabesystemen (Luft, Heizkörper, Fußboden) in einem direkten Vergleich mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation und einer CFD-Simulation speziell für ein mehrgeschossiges Passivhaus. Außerdem werden die Systeme auf Basis aller, für Entscheidungsträger relevanten Kriterien (Behaglichkeit, Regelbarkeit, Wirtschaftlichkeit und ökologischer Nachhaltigkeit) bewertet. Die Untersuchungen wurden dabei vor allem auf österreichische Randbedingungen abgestimmt.

## **2.4 Verwendete Methoden**

### **2.4.1 Methode für Auswertung der Monitoring Daten**

#### **2.4.1.1 Temperatur**

Die Darstellung der Behaglichkeit erfolgt nach den Kriterien Raumlufttemperatur und der relativen Feuchte, wobei jeweils der Kernwinter (Dezember – Februar) und die Heizperiode (Oktober – April) betrachtet werden. Hierbei werden die Messdaten als kumulierte Häufigkeitsverteilungen dargestellt und jeweils eine Gesamtbewertung für den Zeitraum angegeben. Die Darstellung folgt der Norm ISO 7730, doch handelt es sich bei den gemessenen Temperaturen um Raumlufttemperaturen und nicht um operative Temperaturen. In den Temperaturdiagrammen werden die Grenzen für Kat. A ( $22^{\circ}\text{C} \pm 1\text{K}$ ), B ( $22^{\circ}\text{C} \pm 2\text{K}$ ) und C ( $22^{\circ}\text{C} \pm 3\text{K}$ ) laut ISO 7730 für 1,0 clo und 1,2 met angegeben. Die Gesamtbewertung erfolgt nach Verfahren (b) in Anhang H der Norm. Dafür wurde die Stundenanzahl berechnet, in denen die Raumtemperaturen unter  $21^{\circ}\text{C}$  liegen. Die Temperaturen wurden so gewichtet, dass Temperaturen, die von der Optimaltemperatur ( $22^{\circ}\text{C}$ ) weiter entfernt sind, einen stärkeren Einfluss haben. Die Norm ISO 7730 gibt dafür folgende Formel für den Gewichtungsfaktor an:

$$wf = 1 + \frac{|t_0 - t_{0,limit}|}{|t_{0,optimal} - t_{0,limit}|}$$

$wf$  .....Gewichtungsfaktor  
 $t_0$  .....gemesseneTemperatur  
 $t_{0,limit}$  .....Grenztemperatur  
 $t_{0,optimal}$  .....optimaleTemperatur

Für die beiden definierten Perioden werden die Produkte aus Gewichtungsfaktoren und Zeit zusammengerechnet und in Stunden angegeben.

Für eine Kälteperiode, wenn  $t_0 < t_{0,limit}$  gilt demnach:

$$\text{Zielwertabweichung (ZWA)} = \sum wf \cdot t$$

$wf$  .....Gewichtungsfaktor  
 $t$  .....Zeit[h]

Diese Zielwertabweichung wird in den nachfolgenden Temperaturdiagrammen als Kenngröße angegeben.

#### 2.4.1.2 Relative Raumlufffeuchte

Für die Auswertung der relativen Feuchte wurden ebenfalls kumulierte Häufigkeitsverteilungen erstellt und als untere Grenze 30% relative Feuchte eingezeichnet (Rojas, Pfluger, & Feist, 2013).

Eine Gesamtbewertung erfolgt durch die Summe der Unterschreitung von 30% relative Feuchte über den definierten Zeitraum, gemäß

$$ZWA = \frac{\sum rh_{Grenze} - rh_{gemessen}}{\text{AnzahlMesspunkte}}$$

$ZWA$  .....Zielwertabweichung  
 $rh_{Grenze}$  .....30% rh  
 $rh_{gemessen}$  .....relativeFeuchte(gemessen)

Dabei werden nur Fälle wo  $rH_{gemessen} < rH_{Grenze}$  summiert.

Dieser Wert wird als Zielwertabweichung in den Diagrammen der relativen Feuchte angegeben. Zusätzlich soll ein chronologischer Verlauf der Raumtemperaturen, der relativen Feuchte sowie der Außentemperatur die Interpretation der Daten erleichtern.

Zu beachten ist, dass die Projekte in unterschiedlichen Jahren vermessen wurden. Die betrachtete Gesamtstundenanzahl unterscheidet sich in den Projekten geringfügig, jedoch sind die Zeiträume vor allem im für diese Untersuchung relevanten Kernwinter sehr ähnlich (Abweichung  $\pm 2\%$ ) und ein Vergleich daher gerechtfertigt.

## 2.4.2 Telefonbefragung

Um eine möglichst breite Ausgangsbasis über die allgemeine Meinung zum Thema „Luftheizung oder wassergeführtes Wärmeabgabesystem“ in Österreich zu bekommen wurde eine Telefonbefragung unter folgenden fünf Zielgruppen durchgeführt:

1. Energieinstitute der Bundesländer
2. Techniker der Wohnbauförderung
3. Bauträger
4. Haustechnikplaner
5. Facility Manager, Hausverwalter

Ziel der Befragung war es einerseits die Grundstimmung zu diesem Thema, aber auch die konkret damit verknüpften positiven und negativen Aspekte zu erfassen. Die positiven und negativen Aspekte wurden als Basis für die weitere wissenschaftliche Untersuchung genutzt. Die wissenschaftliche Prüfung sollte dann klären ob die positiven und negativen Aspekte auch auf wissenschaftlicher Basis Bestand haben.

Die telefonischen Befragungen wurden im Zeitraum November 2013 bis Februar 2014 vom Verein komfortlüftung.at bzw. seinen Mitgliedern durchgeführt. Es wurden für jede Zielgruppe spezifische Fragebögen mit maximal sieben Fragen erstellt, wobei immer vier Aspekte im Vordergrund standen:

1. Grundsätzliche Meinung zum Thema, teils unterteilt in Einfamilienhaus und Mehrfamilienhaus (Was würde er einem Freund, Bauträger raten?)
2. Konkrete Hintergründe für seiner Empfehlung (Argumente dafür bzw. dagegen)
3. Kostenaspekte
4. Eigener Erfahrungsstand (Wie viele Passivhäuser wurden bisher geplant bzw. umgesetzt?)

Ein exemplarischer Fragebogen ist in Abbildung 1 dargestellt, die jeweiligen Fragebögen für die fünf verschiedenen Zielgruppen findet man im Anhang B.

## LUNA

Fragebogen für das Projekt LUNA - Luftheizung versus wassergeführte Heizsysteme in Österreich

**Hinweis:** Unter Passivhaus (PH) werden ausschließlich Objekte verstanden, welche die Kriterien des Passivhausinstitutes einhalten (Nach PHPP: max. HWB 15 kWh/m<sup>2</sup>EEF bzw. Heizlast max. 10 W/m<sup>2</sup>EEF). Analoge Bezeichnungen, z.B. von Wohnbauförderungen sind davon zu unterscheiden.

Forschungsprojekt  
im Rahmen der Programmlinie  
Haus der Zukunft Plus – 4. Ausschreibung

### Fragebogen für Energieberatungsinstitute

Institution: \_\_\_\_\_

Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Funktion der Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Telefoninterview durch: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_



Projektpartner: **Universität  
Innsbruck**




**AEE INTEC**



**komfortlüftung.at**  
gesund & energieeffizient

gefördert durch:





LUNA

**I. Würden sie einem Bauträger raten ein Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**II. Würden sie einem Freund, der gerade ein Einfamilienhaus baut, raten ein Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Worin liegt der Unterschied zum MFH? \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**III. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bei einer Luftheizung (exkl. UST)?**

MFH ca: \_\_\_\_\_ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. UST.)

EFH ca: \_\_\_\_\_ pro Einfamilienhaus (inkl. UST.)

**IV. Hat ihre Institution besondere Aktivitäten gesetzt um Luftheizungen zu forcieren bzw. zu verhindern? (z.B. Wohnbauförderung, Beratungslinie, Infomaterialien)**

Ja    Nein

Welche: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**V. "Wodurch wird die Leistung der Luftheizung begrenzt?"**

\_\_\_\_\_

**Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!**

2

Abbildung 1: Beispiel für Fragebogen (Wohnbauträger). Alle Fragebögen sind im Anhang B dargestellt.

### 2.4.3 Dynamische Gebäudesimulation

Die Bewertung der Behaglichkeit basierte auf Simulationsrechnungen mit Hilfe der dynamischen Gebäudesimulationssoftware Dynbil (Feist, n.d.-a). Diese basiert auf einem sogenannten 2\*-Modell, bei dem die Temperatur jeder Zone mit einem konvektiven Knoten und einem Strahlungsknoten beschrieben wird. Dies erlaubt die für diese Aufgabe wichtige Unterscheidung zwischen Luft- und Strahlungstemperatur. Die Software wurde schon mehrfach validiert (Pfluger & Feist, 2001) und für die Bearbeitung von ähnlichen Fragestellungen herangezogen (Schnieders, 2004a, 2004b, 2005).

Diese Arbeit konzentriert sich auf den mehrgeschossigen Wohnbau. Das Referenzmodell soll daher eine für Österreich typische Wohnsituation (in Passivhausstandard) darstellen. Die Auswahl der Referenzwohnung und deren Belegung basiert u.a. auf den statistischen Analysen aus (Rojas, Sibille, & Pfluger, 2012). Die Annahmen bezüglich Aufbau und Ausführung des Gebäudes beruhen auf der in der österreichischen Baupraxis typischerweise anzutreffenden Realisierungen. Ein realer in Planung befindlicher Grundriss wurde aus einem aktuellen Forschungsprojekt ("KliNaWo - Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau," 2015) übernommen (siehe Abbildung 4). Ausgehend vom Referenzmodell wurden verschiedene Modellvarianten erstellt, um auch den Einfluss der angenommenen Modellparameter zu beurteilen. Die untersuchten Varianten lassen sich in die Kategorien *Nutzer, Klima und Ausführung* unterteilen und sind detaillierter im Abschnitt 3.3.1 beschrieben.

Es wurden folgende Wärmeabgabesysteme modelliert:

- **Luftheizung (LH)**

Die modellierte Luftheizung beruht auf der Erwärmung des entsprechenden Zuluftstroms bis maximal 52°C. Da die Simulationssoftware nur eine Eingabe der maximalen Heizleistung erlaubt, wurde diese zonenweise als Funktion des Zuluftvolumenstroms und einer für den Heizfall repräsentativen Eintrittstemperatur vor dem Heizregister (d.h. nach dem Lüftungsgerät mit Wärmetauscher) bestimmt. Der Zuluftvolumenstrom wurde rein auf Basis hygienischer Gesichtspunkte angenommen und entspricht mit 30 m<sup>3</sup>/h fürs Wohn-, 20 m<sup>3</sup>/h fürs Kinder- und 40 m<sup>3</sup>/h für Schlafzimmer den Anforderungen der aktuellen ÖNORM H 6038 (2014). Die repräsentative Lufttemperatur nach dem Lüftungsgerät (vor dem Heizregister) wurde abhängig von der zu erwartenden Ablufttemperatur (~ vorgegebene Solltemperatur) und abhängig vom angenommenen Wärmerückgewinnungsgrad für eine angenommene Außentemperatur von -5°C ermittelt. Für den Referenzfall (WRG=0,8, T<sub>soll</sub>=22°C) ergab sich somit eine Lufttemperatur in das Heizregister von 16,6°C und eine maximal per Luft übertragbare Heizleistung von 356 W (Wohnzimmer), 237 W (Kinderzimmer) und 474 W (Schlafzimmer). In Summe ergibt das 1067 W bzw. 14 W/m<sup>2</sup> verfügbare Heizleistung. Die Regelung erfolgte mittels eines zentral (im Flur) positionierten Temperatursensors. Dieser lieferte den Mittelwert aus Luft- und Strahlungstemperatur an den Proportional-Integral (PI) Regler. Dieser wurde nach der Methode nach Ziegler und Nichols eingestellt und nach einigen Stabilitätstest mit einem P-Anteil von ca. 500 W/K und einer Nachstellzeit (I-Anteil) von 0,2 min (40% des Simulationszeitschrittes, wie auch in (Schnieders, 2005) S.21 beschrieben) betrieben. Die sich ergebende Trägheit aus Heizleitungen und Heizregister ist im Vergleich zur thermischen Trägheit des Gebäudes sehr gering, und wurde deshalb vernachlässigt. Wie auch bei den anderen Heizsystemen wurde der (auch für Luftheizungen empfohlene) Badheizkörper vereinfacht als ideal geregelte Wärmeabgabe (50% Konvektion, 50% Strahlung) mit einer Maximalleistung von 500 W modelliert.

- **Heizkörperheizung (HK)**

Es wurde jeweils ein mit Thermostatventil geregelter Heizkörper im Wohn-, Kinder- und Schlafzimmer im Modell simuliert. Dafür wurden in Dynbil diverse „Hilfszonen“ modelliert und die Wärmeabgabe der Heizkörper über entsprechende Heizflächen nachgebildet. Um die Dynamik des Heizkörpers und vor allem des Thermostatventils realitätsnah abzubilden, wurden die Modell der Heizkörper in Dynbil mit Hilfe eines in Matlab/Simulink erstellten Heizkörpermodells inklusive Hydraulikkreis abgeglichen und kalibriert (siehe Abbildung 2).

Die Dynamik des Heizkörpers mit Thermostatventil wird in der Regel durch die Trägheit des Thermostatventils bestimmt. Das Verhalten wurde gemäß Hersteller- und Literaturangaben (Beele, 2002; Schnieders, 2004b, 2005) mit einer Schließzeit von 23 min, einer Hysterese von 0,2 K und einem Proportionalbereich von 1,2 K (gemäß ÖNORM EN 215-1:2006) in Simulink modelliert. Die Schließzeit ist für das dynamische Verhalten entscheidend und wird durch den (typischerweise) flüssigkeitsgefüllten Temperatursensor (Dehnelement) bestimmt.

Sie ist jene Zeit die die Fühler­temperatur benötigt, um sich nach einer sprunghaften Änderung der Raumtemperatur ihrem neuen Wert zur Hälfte zu nähern. Das dynamische Verhalten, in Simulink mittels Sprungfunktionen (17 - 23°C und 20 - 21°C) und Sinusfunktionen (18 - 22°C mit Periode 2 h bzw. 4 h) getestet, wurde im Dynbilmodell entsprechend nachgebildet und kalibriert (Abbildung 2). Wie in (Schnieders, 2005) beschrieben wurde die Fühler­temperatur des Thermostatventils zu 64% aus der Raumlufttemperatur, zu 31,5% aus der Strahlungstemperatur und zu 4,5% aus der Heizkörper­temperatur bestimmt. Die Modellierung des Druck­differenz­einflusses (die gemessene Fühler­temperatur ist leicht abhängig vom Druckabfall) wurde vernachlässigt.

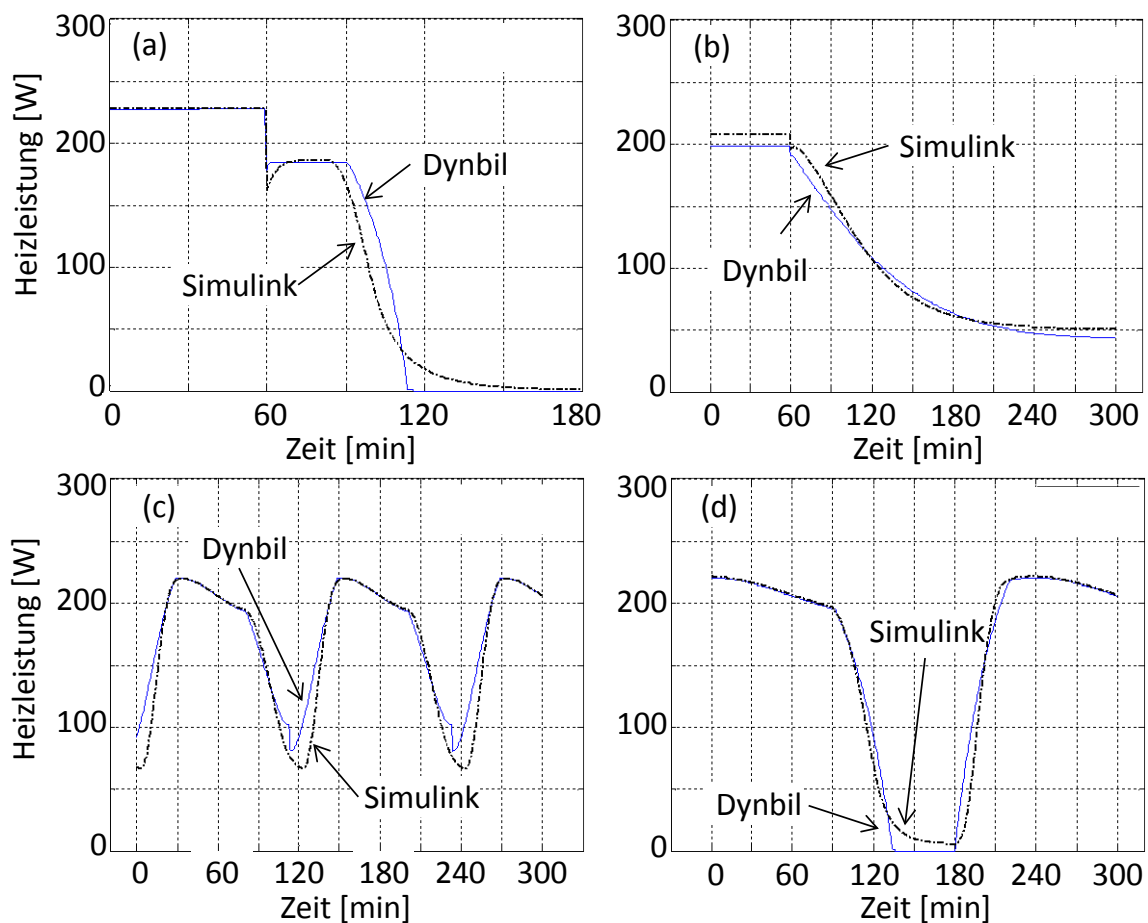


Abbildung 2: Zeitliche Verlauf der übertragenen Heizleistung für das detaillierte Simulink-Heizkörper-Modell und das vereinfachte Dynbil-Heizflächenmodell. (a) Systemantwort auf Sprungfunktion der Raumtemperatur von 17°C auf 23°C, (b) Systemantwort auf Sprungfunktion der Raumtemperatur von 20°C auf 21°C, (c) Systemantwort auf Sinusfunktion der Raumtemperatur (Min: 18°C, Max: 22°C, Periode: 2 h), (d) Systemantwort auf Sinusfunktion der Raumtemperatur (Min: 18°C, Max: 22°C, Periode: 4 h)

Die Wärmeabgabe der Heizfläche in Abhängigkeit der Vorlauf­temperatur wurde auf Basis der Heizkörper­normleistung ermittelt und das Dynbil-Modell darauf kalibriert. Die Heizkörper­normleistung wird vom Hersteller für die Normbedingungen (75°C Vorlauf, 65°C Rücklauf, 20°C Raumtemperatur) geprüft und angegeben. Die Wärmeabgabe kann als Funktion der logarithmischen Übertemperatur des Heizkörpers wie folgt berechnet werden (Wolff & Jagnow, 2007):

$$\dot{q} = \dot{q}_{Norm} \cdot \frac{\Delta T_{ln}}{\Delta T_{ln, Norm}}, \text{ dabei ist } \Delta T_{ln} \text{ die logarithmische Übertemperatur, } \Delta T_{ln, Norm} \text{ die logarithmische Übertemperatur bei Normbedingungen (49,8 K) und } \dot{q}_{Norm} \text{ Heizkörpernormleistung.}$$

Beim Dynbil-Modell wurde das Heizmedium „hinter“ der Heizfläche mit nur einem Temperaturknoten modelliert (keinen Vorlauf und Rücklauf), weshalb die logarithmische Übertemperatur gleich der Temperaturdifferenz zwischen Heizflächen- und Raumtemperatur ist. Der Strahlungsanteil des Heizkörpers wurde mit 30% angenommen. Die sich ergebenden theoretischen Wärmeabgabeanteile sind in Abbildung 3 dargestellt. Beim Dynbil-Modell wurden die Wärmeübergangskoeffizienten und der Strahlungsaustauschparameter ( $\epsilon$ ) auf diese theoretischen Kurven kalibriert. Für das Heizsystem der Referenzwohnung wurde eine Heizmedium-Temperatur (Vorlauftemperatur) von 55°C gewählt.

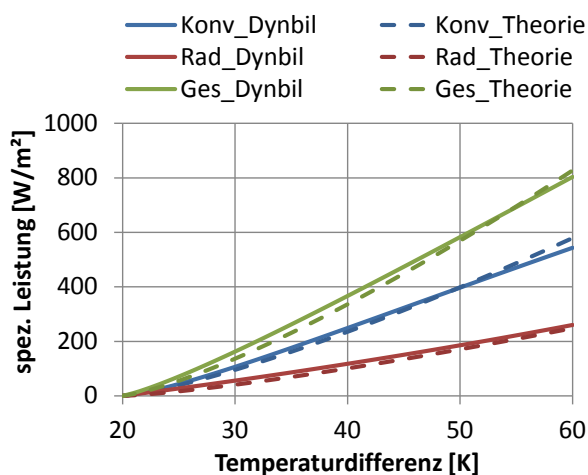


Abbildung 3: Spezifische Heizleistung der Heizkörper in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Heizkörper und Raum (logarithmische Übertemperatur). Neben der Gesamtleistung (grün) sind jeweils der konvektive (blau) und der radiative (rot) Anteil dargestellt für die theoretische Heizkörpergleichung und das kalibrierte Dynbil-Modell dargestellt.

Die Auslegung der Heizfläche (also der Größe des Heizkörpers und somit der maximalen Heizleistung) basierte auf Simulationsläufen mit Idealheizung (unlimitierte Heizleistung). Folgende Vorgehensweise dafür wurde gewählt. Es wurde der Referenzfall bzw. die verschiedenen Ausführungsvarianten (mit Einfluss auf die Heizlast, z.B. Orientierung, Dämmstärke, etc.) für „erhöhte“ Heizlastansprüche simuliert: Zum einen wurde anstatt adiabater Wohnungstrennwände eine Temperaturdifferenz zu den Nachbarwohnungen von 2 K angenommen. Zum anderen wurde ein sehr kalter Winter simuliert (Eintrittswahrscheinlichkeit ca. 1/10). Die in der Simulation aufgetretene maximale tagesmittlere Heizleistung wurde als die entsprechende Raumheizlast für die Auslegung der Heizkörperheizfläche bestimmt. Bei voll geöffneten Thermostatventil wird somit diese als Heizlast bestimmte Heizleistung an einem Raum (mit 20°C Luft- und Strahlungstemperatur) abgegeben. Für den Referenzfall waren dies 320 W für das Wohn-, 220 W für das Kinder- und 300 W für das Schlafzimmer. Diese ist aufgrund der hohen Solareinträge des gewählten Referenzstandortes Innsbruck sehr niedrig. Die Heizlast für die verschiedenen Modellvarianten (Klima und Ausführung) fielen in der Regel höher aus. Die Auslegung der Heizflächen wurde bei all diesen (betroffenen) Modellvarianten entsprechend der so



ermittelten Heizlast angepasst. Der Badezimmerheizkörper wurde gleich wie im Fall der Luftheizung modelliert.

- **Fußbodenheizung (FH)**

Ebenso wie beim Heizkörpermodell wurde die Fußbodenheizung mit Hilfe von „Hilfszonen“ modelliert. Für jeden der drei Räume (Wohn-, Kinder- und Schlafzimmer) wurde ein Teil der Fußbodenfläche von unten beheizt. Dafür wurde jeweils eine „Heizzone“ unterhalb des Estrichs (6 cm) angeordnet, welche über eine PI-Regelung beheizt wird. Der zugehörige Temperatursensor „misst“ (wie bei der Luftheizung) den Mittelwert aus Luft- und Strahlungstemperatur des Flurs. Die Parameter des PI-Reglers wurden wie auch bei der Luftheizung nach der Methode nach Ziegler und Nichols grob eingestellt und mit Hilfe von Stabilitätstest bei Bedarf nachjustiert ( $P=500 \text{ W/K}$  und  $I=3 \text{ h}$ ). Die Größe der Heizfläche wurde, gemäß der aus einer Vorsimulation bestimmten Heizlast (siehe Heizkörper: 320 W, 220 W und 300 W für WZ, KZ und SZ), ausgelegt. Bei einer angenommenen spezifischen Heizleistung von  $40 \text{ W/m}^2$  ergibt das eine Heizfläche von  $8 \text{ m}^2$ ,  $5.5 \text{ m}^2$  und  $7.5 \text{ m}^2$ .

Die FH wurde somit, so wie typischerweise in der Baupraxis anzutreffen, als wohnungsweise geregelte Heizung ausgeführt. Die Aufteilung der Gesamtheizleistung in die einzelnen Räume basiert auf der Heizlastauslegung und bestimmt sich über das Verhältnis der Heizflächengröße. Diese wurde für die verschiedenen Klima- und Ausführungsvarianten zwar entsprechend angepasst, eine mögliche Anpassung durch den Nutzer mit Hilfe des Heizkreisverteilers wurde aber nicht im Modell abgebildet. In Realität könnte der Nutzer die Verteilung der Heizleistung in die einzelnen Räume beeinflussen. (Ein Nutzereingriff ist, aufgrund des verbundenen Aufwands, in der Regel aber nicht öfter als 1x Jahr zu erwarten.) Die dargestellten Ergebnisse der Fußbodenheizung sind somit als „worst-case“ (ohne Anpassung durch den Nutzer) zu verstehen. Es ist anzunehmen, dass sich in Realität bessere Ergebnisse erzielen lassen (Nutzereingriff am Verteilerkasten vorausgesetzt). Der Badezimmerheizkörper wurde gleich wie im Fall der Luftheizung modelliert.

- **Annahmen Referenzmodell**

Das Modell basiert auf einem realen Wohnungsgrundriss wie in Abbildung 4 dargestellt. Mit einer Fläche von  $76 \text{ m}^2$  entspricht es einer für Österreich typischen Wohnungssituation. Es umfasst 5 Zonen, wobei Zone 1 (Wohnzimmer), Zone 2 (Kinderzimmer) und Zone 3 (Schlafzimmer) mit den jeweils drei unterschiedlichen Heizwärmeabgabesystemen simuliert wurde. Zone 4 (Flur/Eingangsbereich) ist (abgesehen von indirekter Wärmeabgabe) unbeheizt, während Zone 5 (Bad) für diese Untersuchungen (da nicht relevant) mit einer Idealheizung modelliert wurde. Die Klimadaten wurden für den Referenz-Standort Innsbruck generiert („Meteonorm,“ n.d.).

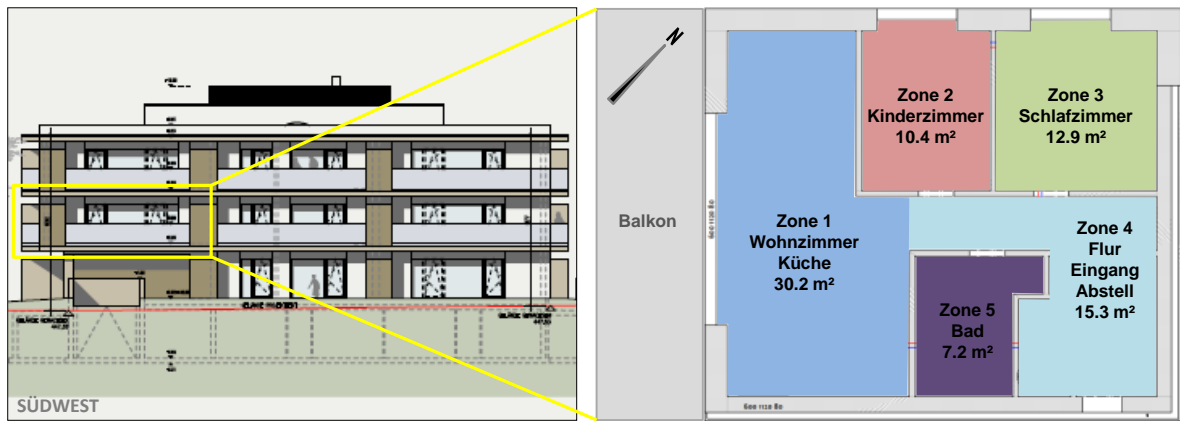


Abbildung 4: Außenansicht und Grundriss der gewählten Referenzwohnung. Für die dynamische Gebäudesimulation wurde die Wohnung in fünf Temperaturzonen unterteilt.

Die Wohnzimmerverglasung hat  $6,3 \text{ m}^2$  und ist nach Südwest ausgerichtet, sie wird (im Sommer) vom Balkonüberhang verschattet. Für den Referenzfall wurde eine massive Bauweise (Beton) für Außenwände und Wohnungstrennwände und eine Leichtbauweise (Gipskartonständerwand) für Zimmertrennwände angenommen. Die Wohnungstrennwände wurden als adiabatisch, also mit gleicher Temperatur in den Nachbarwohnungen, angenommen. Fälle mit massiven Innenwänden und nicht-adiabatischen Wohnungstrennwänden wurden im Zuge der Parametervariationen gerechnet. Die Zuluftleitungen wurden im Referenzfall als ideal gedämmt (kein Wärmeverlust im Flur) angenommen. Das Wohnzimmer wurde zum Flur hin offen modelliert. Der sich ergebende Luftaustausch zwischen Zonen wurde dichteabhängig (Temperatur- und Feuchte) über eine Regressionsformel im Modell abgebildet. Die Volumenstrom wurde für eine  $80 \times 200 \text{ cm}$  große Tür mit Hilfe der Software CONTAM (Walton & Dols, 2010) bestimmt und ergibt sich in  $[\text{m}^3/\text{h}]$  mit folgender Formel:

$$\dot{V} = 164,4 \cdot \left| \Delta T + \frac{32,6}{164,4} \cdot \Delta x \right| + 183.$$

Dabei ist  $\Delta T$  die Temperaturdifferenz in  $[K]$  und  $\Delta x$  die Differenz des Feuchtegehalts in  $[g/kg]$  zwischen den Zonen. Bei typischen Bedingungen ergibt sich ein Luftaustausch von  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  zwischen den Räumen. Größere Öffnungen wurden linear mit der Fläche skaliert.

Die vom Nutzer gewünschte Behaglichkeitstemperatur wurde im Referenzmodell mit  $22^\circ\text{C}$  angenommen. Dies entspricht in etwa den aus Monitoring Projekten gemessenen Mittelwerten, z.B. (Exner & Mahlkecht, 2012; Schnieders & Hermelink, 2006). Die Solltemperatur der Regeleinrichtungen wurde im Modell auf Basis der simulierten Ist-Temperaturen der jeweils vorhergehenden sieben Tage 1x wöchentlich nachjustiert, da in Realität der Nutzer etwaige Regelabweichungen ebenfalls durch Verstellen der Solltemperatur gelegentlich kompensiert. Im Fall der Luft- und Fußbodenheizung (nur einen wohnungsweisen Regler im Flur) wurde dies gemäß der operativen Temperatur im Wohnzimmer gemacht. Damit ergaben sich im Flur eventuell mittlere Temperaturen größer bzw. kleiner als  $22^\circ\text{C}$  (siehe Abbildung 5). Die Wohnzimmertemperatur wurde so aber im zeitlichen Mittel auf den „gewünschten“  $22^\circ\text{C}$  gehalten. Für den Fall mit Heizkörper (mit

raumweisen Reglern) wurde die operative Temperatur des jeweiligen Raumes für die „Nachjustage“ herangezogen. Die Solltemperatur im Bad wurde im Modell konstant (ohne regelmäßigen Nutzereingriff) auf 23°C gesetzt.

Für die Bewertung wurde die jeweilige Häufigkeitsverteilung der operativen Temperatur für die Wintermonate (Dez-Feb.) ausgewertet. Die Untertemperaturhäufigkeit wurde nach ISO 7730 Anhang H, Verfahren B ermittelt. Simuliert wurden jeweils etwas über 3 Jahre: ein Jahr zum „Einschwingen“, ein unterdurchschnittlich kaltes Jahr (Eintrittswahrscheinlichkeit 1/10) und ein Standardjahr.

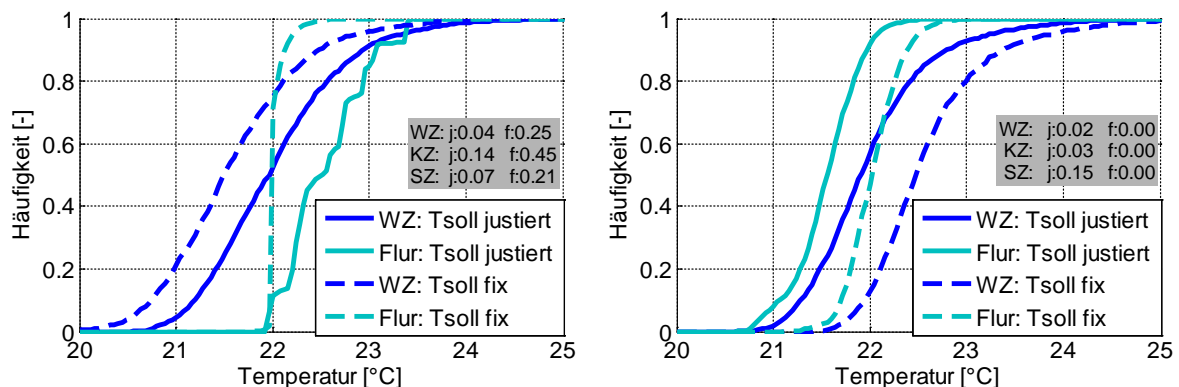


Abbildung 5: Temperaturverteilung (kalter Winter) aus Simulation mit fixer Solltemperatur (22°C) im Vergleich zur Simulation mit variabler Solltemperateinstellung für die Luftheizung (links) und für die Fußbodenheizung (rechts). Während der Simulation wurde 1 x wöchentlich die Solltemperatur um die mittlere Abweichung der letzten 7 Tage nachjustiert.

#### 2.4.4 Strömungssimulationen (CFD)

Die dynamische Gebäudesimulation bilanziert die Energieströme und ermittelt so die sich einstellende Temperatur. Als Bilanzgrenzen werden die einzelnen Zonen, typischerweise die Räume, herangezogen. Innerhalb dieser Zonen wird von einer perfekten Luftdurchmischung ausgegangen, d.h. auch einer räumlich einheitlichen Lufttemperatur. Sich einstellende räumliche Temperaturgradienten können nicht aufgelöst werden. Deshalb wurde im Rahmen dieses Projekts auch eine numerische Strömungssimulation (CFD) für das Wohnzimmer durchgeführt. Bei der numerischen Strömungssimulation wird der Raum diskretisiert und für jede sich so ergebende Volumenzelle die Strömungsgleichungen (Navier-Stokes Gleichung) gelöst. So werden für jeden Punkt im Raum die sich einstellenden Luftströmungen (inklusive Turbulenzgrad), die Lufttemperatur und bei Bedarf auch die Strahlungstemperatur oder Schadstoff- oder Feuchtekonzentrationen ermittelt. Für diese Studie wurde die CFD Software ANSYS/Fluent 14.5 verwendet, ein sehr umfangreiches aber auch komplexes Software-Paket. Die Lösbarkeit (Konvergenz) und die Qualität der Ergebnisse hängen u.a. auch stark von einer geeigneten räumlichen Diskretisierung, der passenden Wahl des Modells (Turbulenzmodell) und der erforderlichen numerischen Einstellungen (Solveereinstellungen) ab. Daher wurde vor der Simulation des zu untersuchenden Referenzraumes die angewandte Methodik mit Messdaten validiert. Da eine messtechnische Untersuchung den Rahmen dieses Projekts gesprengt hätte, wurden in der Literatur dokumentierte Experimente nachsimuliert und verglichen.

#### 2.4.4.1 Validierungsfall erzwungene Konvektion

Im ersten Validierungsschritt wurde ein experimentell vermessener Fall mit einer Raumluftrömung mit erzwungener Strömung herangezogen. Die im Internet verfügbaren Messdaten (Nilsson, Brohus, & Nielsen, 2007) wurden mit den Simulationsdaten sind in Abbildung 6 verglichen.

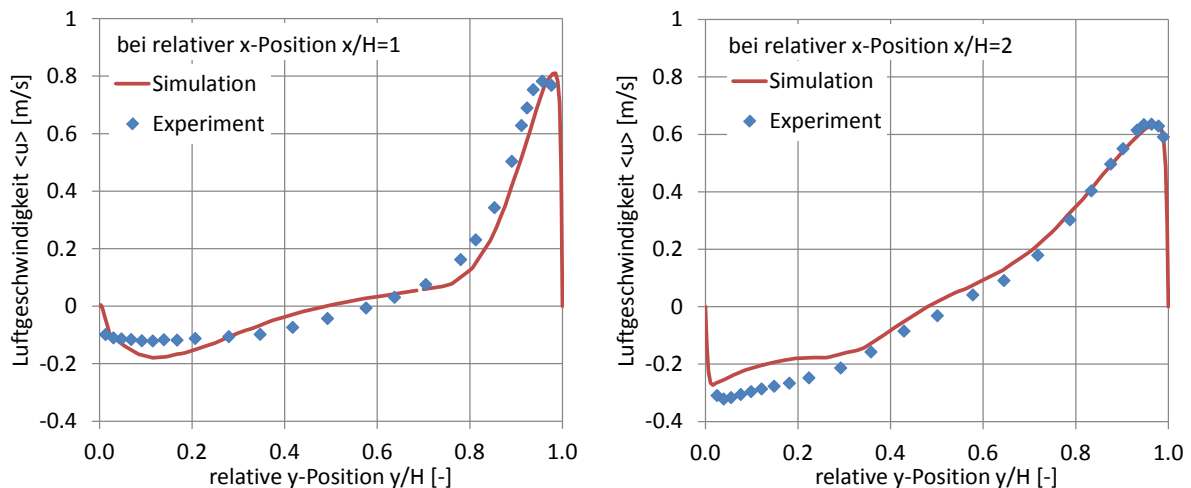


Abbildung 6: Vergleich der Luftgeschwindigkeitsprofile aus Simulation (Linie) und Experiment (Punkte) auf x-Position  $x/H=1$  (links) und  $x/H=2$  (rechts).

#### 2.4.4.2 Validierungsfall gemischte Konvektion

Um auch einen Fall mit gemischter (erzwungene und natürliche) Konvektion zu validieren, wurden die Messdaten aus einem anderen gut dokumentierten Experiment herangezogen (Blay, Mergui, & Niculae, 1992). Diese Messdaten wurden auch schon mehrfach in anderen CFD-Studien als Validierungsfall herangezogen (Heschl, Inthavong, & Tu, 2012; Taghinia, Rahman, & Siikonen, 2015; Xu & Chen, 2001). Man erkennt in Abbildung 7 eine gute bis akzeptable Übereinstimmung der Luftgeschwindigkeit zwischen Experiment und Simulation. Die Simulationsergebnisse überschätzen die turbulente kinetische Energie (Abbildung 8) im mittleren Raumbereich, vermutlich aufgrund der groben Diskretisierung. Der daraus abgeleitete Turbulenzgrad wurde nur für die Berechnung des Zugluftrisikos (ISO 7730) verwendet. Da das Zugluftrisiko gerade im Raummittelnbereichen für die untersuchten Fälle weit vom Grenzwert ist (siehe 3.3.2), spielt diese Abweichung für die Bewertung der Behaglichkeit keine weitere Rolle. Abbildung 9 zeigt Abweichungen der Lufttemperatur zwischen Experiment und Simulation im Bereich von 0,5 K. Genauere Ergebnisse wären hier nur mit komplexeren und deutlich rechenaufwendigeren Turbulenzmodellen zu erwarten, siehe (Heschl et al., 2012; Taghinia et al., 2015; Xu & Chen, 2001).

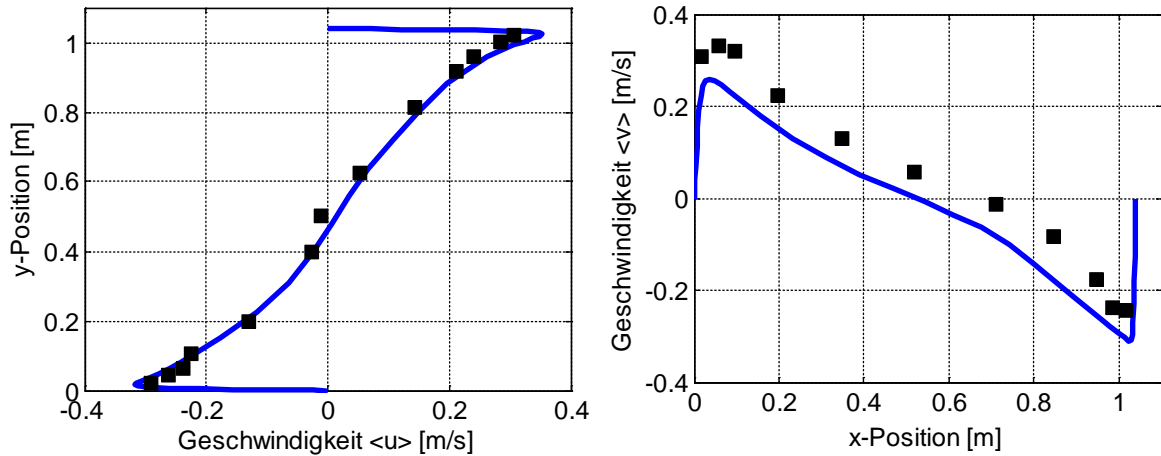


Abbildung 7: Vergleich der simulierten (Linie) und der gemessenen (Punkte (Blay et al., 1992)) mittleren Luftgeschwindigkeitskomponenten in x-Richtung (links) bzw. in y-Richtung (rechts). Die Geschwindigkeitsprofile wurden jeweils in Raummitte aufgezeichnet.

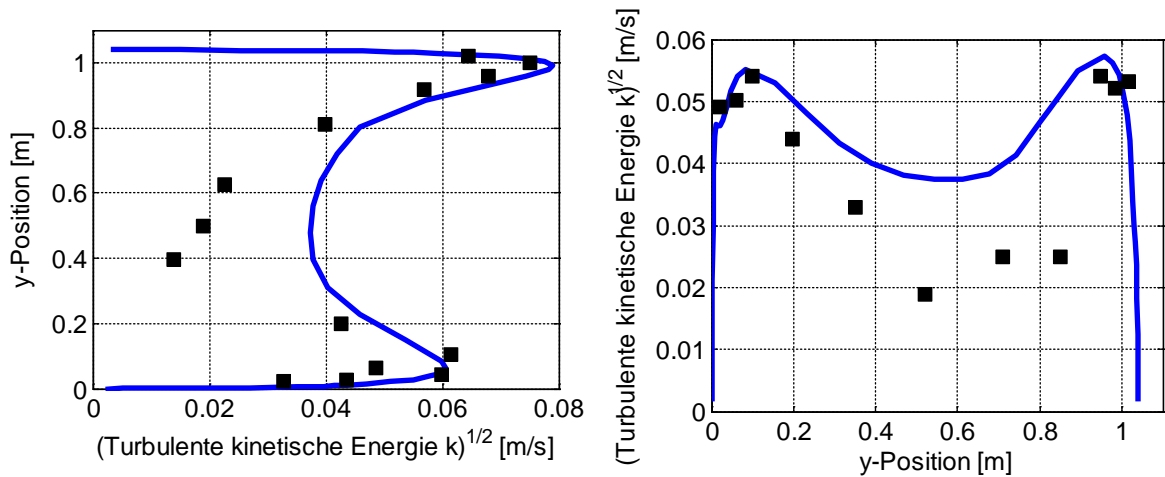


Abbildung 8: Vergleich der simulierten (Linie) und der gemessenen (Punkte (Blay et al., 1992)) Wurzel aus der turbulenten kinetischen Energie als vertikales Profil (links) und horizontales Profil (rechts) dargestellt, jeweils in Raummitte.

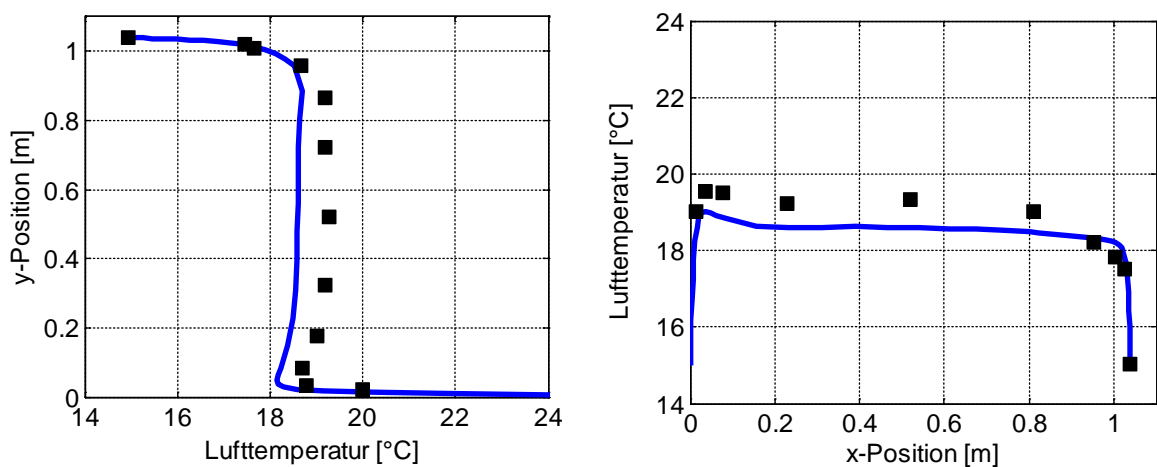


Abbildung 9: Vergleich der simulierten (Linie) und der gemessenen (Punkte (Blay et al., 1992)) Lufttemperatur als vertikales Profil (links) und horizontales Profil (rechts) dargestellt, jeweils in Raummitte.

Aus mehreren Gründen wurde das SKE Turbulenzmodell trotzdem für die in Kapitel 3.3.2 dargestellten Untersuchungen herangezogen. 1. Es wurde in einschlägigen Studien als

gutes Modell für die Darstellung von Raumluftrömungsvorgängen (mit gemischter Konvektion) in Bezug auf Genauigkeit und Rechenaufwand identifiziert (Zhang, Zhang, Zhai, & Chen, 2007). 2. Bei den Modellen für die Behaglichkeitsbewertung wurde im Gegensatz zu diesem Validierungsfall der Wärmestrom und nicht die Temperatur als Randbedingung vorgegeben. Man kann davon ausgehen, dass dies die Abweichung der Lufttemperatur reduziert. 3. Es wurde für die Auswertung ein adaptives Bewertungsmodell verwendet, sodass nur räumliche Temperaturdifferenzen, nicht aber systematisch höhere oder niedrigere Temperaturen (über den gesamten Raum) für das Ergebnis (Behaglichkeitsparameter PMV/PPD) eine Rolle spielen.

#### 2.4.5 Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit

Um einen Vergleich zwischen den zu untersuchenden Wärmeabgabesystemen herzustellen, wurden die baulichen Kosten (Material und Lohn) erhoben. Die Wartungs- und Betriebskosten wurden auf Basis von Literaturwerten abgeschätzt und flossen in die Lebenszykluskostenanalyse mit ein.

Im Vordergrund stand die Recherche der baulichen Kosten. Wie auch die Ergebnisse (Kap. 3.4.4) bestätigen, sind diese hauptverantwortlich für etwaige Unterschiede in den Lebenszykluskosten. Es wurde bei verschiedenen Bauträgern in Tirol angefragt und vorgesprochen um für diverse Passivhauswohnbauprojekte Einsicht in die Leistungsverzeichnisse (LV) der Bestbieter zu erhalten. Aus den Leistungsverzeichnissen wurden die für diesen Vergleich relevanten Positionen entnommen und per Baukostenindex Abbildung 10, rechts) auf das Vergleichsjahr 2014 hochgerechnet.

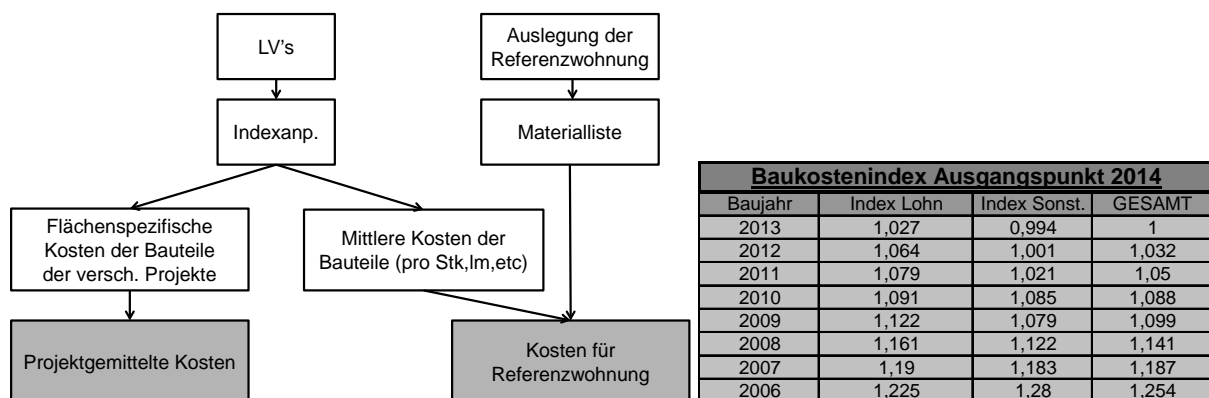


Abbildung 10: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung der baulichen Kosten (links). Tabelle mit dem verwendeten Baukostenindex für das Referenzjahr 2014 (rechts).

Auf Basis von Informationen über das Bauprojekt (m<sup>2</sup> Nutzfläche, Anzahl der Wohnungen), konnten so flächenspezifische Kosten der entsprechenden Positionen (Bauteile) für das jeweilige Projekt ermittelt werden. Für fünf Projekte, drei mit Heizkörper, zwei mit Fußbodenheizung konnten alle erforderlichen Positionen vollständig zusammengetragen werden um so die durch das Wärmeabgabesystem bedingten Kosten für das jeweilige Projekt zu ermitteln. Aus mindestens vier weiteren Projekten konnten nicht alle erforderlichen Positionen im LV ausgewertet werden. Dadurch war eine projektspezifische Auswertung für diese Bauprojekte nicht möglich. Diese Daten flossen aber in die Bestimmung der mittleren

Kosten der verschiedenen Bauteile ein. Diese wurden verwendet um die baulichen Kosten der Referenzwohnung zu bestimmen. Die dafür erforderliche Auslegung samt Materialliste für Heizkörper- bzw. Fußbodenheizsystem wurde auf Basis einer Heizlastbestimmung (gemäß EN 12831) durch einen lokal ansässigen Installateur erstellt.

Recherchen und Gespräche mit den entsprechenden Personen der Bauträger bzw. Gebäudeverwalter ergaben, dass keine besonderen bzw. kostentreibende Aspekte bei der Wartung der unterschiedlichen Systeme zu beachten sind. Deshalb wurden für die Lebenszykluskostenberechnung pauschal 2% der baulichen Kosten (nach VDI 2067:1999) für Wartung und Instandhaltung angesetzt.

Unterschiede für den Hilfsstrom der verschiedenen Abgabesysteme (z.B. Pumpenstrom, Druckverlust am Lüftungsheizregister,...) wurden mit Hilfe von Herstellerangaben in Bezug auf Druckverlust, Pumpwirkungsgrad, etc. abgeschätzt. Ein Vergleich mit dem Unterschied der annuitätischen baulichen Kosten zeigte, dass eine genauere Berechnung der Hilfsenergieverbräuche für einen Vergleich nicht erforderlich ist.

Die Bestimmung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes und des Primärenergieaufwandes erfolgte auf Basis anerkannter Datenbanken.

## **3 Ergebnisse des Projektes**

### **3.1 Auswertung Monitoring Daten**

Die detaillierte Auswertung der Monitoring Daten inklusive der Objektbeschreibung findet man im Anhang A.

#### **3.1.1 Zusammenfassung Temperaturanalyse**

Für einen Vergleich der Behaglichkeit in Wohnanlagen mit wassergeführten bzw. luftgeführten Systemen wurden die Daten von insgesamt 42 Wohneinheiten herangezogen. Davon wird in 20 Wohneinheiten mittels luftgeführten Systemen geheizt, in 22 Wohneinheiten wurden wassergeführte Systeme zur Beheizung installiert. Eine Wohnung wurde im Zuge der Untersuchung wegen Leerstand ausgenommen. Der Mittelwert der Raumlufttemperaturen aller Objekte lag in der Heizperiode bei 23,1°C mit einer Standardabweichung  $\sigma=1,1$ .

Die Wohnanlagen mit luftgeführten Heizsystemen waren im Kernwinter in 11 von 20 Objekten von gewichteten Temperaturunterschreitungen unter 21°C betroffen (55%), die Objekte mit wassergeführten Heizsystemen waren zu 59% betroffen, wobei eine starke Streuung innerhalb der Wohnanlagen vorhanden war. Vier Wohneinheiten der Objekte mit luftgeführtem Heizsystem wiesen eine gewichtete Temperaturunterschreitung von über 500 h auf (entspricht 21% der Stunden des Kernwinters), während für die Objekte mit wassergeführtem Heizsystem die gewichtete Temperaturabweichung zwischen 1,15 h und 200 h lag.

Betrachtet man die Heizperiode, so zeigt sich das Bild, dass für sieben Wohneinheiten der luftgeführten Systeme und ebenfalls sieben Wohneinheiten der wassergeführten Systeme mehr als 50% der gewichteten Temperaturunterschreitungen in der erweiterten Heizperiode liegen (entspricht für die sieben luftgeführten Systeme mehr als 1500 Stunden und für die sieben wassergeführten Systeme mehr als 1200 Stunden, wobei auch hier die Streuung zwischen den einzelnen Wohneinheiten sehr groß ist. Die betroffenen Wohneinheiten weisen im Kernwinter gewichtete Temperaturabweichungen zwischen 0 und 148 h auf, diese sind also vergleichsweise gering.

Hinsichtlich der relativen Feuchte lagen die Zielwertabweichungen in den Objekten mit luftgeführten Heizsystemen im Kernwinter zwischen 0,01 %-rF und 4,57 %-rF (mit Ausnahme einer Wohnung, in der es keine Unterschreitung von 30 % relativer Feuchte gab). In den Objekten mit wassergeführtem Heizsystem lagen die Zielwertabweichungen im Kernwinter zwischen 0,01 %-rF und 7,78 %-rF. Klassifiziert man die Zielwertabweichung der relativen Feuchte in den Klassen <1 %-rF, 1-4 %-rF und > 4%-rF so findet man die in folgender Tabelle 1 dargestellten Werte.

**Tabelle 1: Klassifizierung der Zielwertabweichung relative Feuchte (Anzahl Objekte bzw. Anteil an Gesamtanzahl in % in Klammer)**

ZWA [%-rF]	Heizperiode			Kernwinter		
	<1 %-rF	1-4 %-rF	>4 %-rF	<1 %-rF	1-4 %-rF	>4 %-rF
<b>Objekte mit luftgeführtem Heizsystem</b>	16 (80 %)	4 (20 %)	-	14 (70 %)	5 (25 %)	1 (5 %)
<b>Objekte mit wassergeführtem Heizsystem</b>	11 (52 %)	9 (43 %)	1 (5 %)	9 (43 %)	10 (48 %)	2 (9 %)

Sowohl in der Heizperiode als auch im Kernwinter liegt in den Objekten mit luftgeführtem Heizsystem die Zielwertabweichung in mehr als zwei Drittel der Objekte in der Klasse < 1% rh, in den Objekten mit wassergeführtem Heizsystem sind dies 52% der Objekte in der Heizperiode und 43% im Kernwinter.

Bildet man die Mittelwerte über alle Objekte so ergibt sich die gemittelte Zielwertabweichung für die Objekte mit luftgeführtem und mit wassergeführtem Heizsystem. Dabei zeigt sich, dass die Zielwertabweichung bei den wassergeführten Heizsystemen im Kernwinter rund 30% der Zielwertabweichung der luftgeführten Heizsysteme (58,24 h zu 189,79 h) beträgt. In der Heizperiode liegt dieser Wert bei rund 49 % (142,32 h zu 289,90 h). Die Analyse der Gesamtmittelung der Zielwertabweichung ist in nachfolgender Tabelle 2 ersichtlich.



Tabelle 2: Minimal-, Mittel- und Maximalwerte der Zielwertabweichung Temperatur aller Projekte

	Zielwertabweichung Temperatur [h]					
	Kernwinter (1.12. – 28.2.)			Heizperiode (1.10. – 30.4.)		
Objekte mit luftgeführtem Heizsystem						
	min	mittel	max	min	mittel	max
<i>Dreherstraße</i>	0,00	477,22	1001,25	0,00	539,43	1002,70
<i>Utendorfsgasse</i>	0,00	10,83	43,30	0,00	16,00	54,00
<i>Hörbranz</i>	3,45	398,13	792,80	3,45	413,28	823,10
<i>Wolfurt</i>	0,00	0,69	3,45	0,00	6,73	30,20
<i>Steyr</i>	28,75	62,07	92,95	155,30	473,55	846,75
<b>Mittelwert alle Objekte</b>		<b>189,79</b>			<b>289,90</b>	
<b>Mittelwert alle Wohnungen</b>		<b>194,63</b>			<b>279,07</b>	
Objekte mit wassergeführtem Heizsystem						
<i>Mühlweg</i>	22,60	106,75	200,25	22,60	210,60	362,85
<i>Lodenareal</i>	0,00	9,73	130,1	0,00	74,04	598,15
<b>Mittelwert alle Objekte</b>		<b>58,24</b>			<b>142,32</b>	
<b>Mittelwert alle Wohnungen</b>		<b>28,21</b>			<b>100,05</b>	

Tabelle 3: Minimal-, Mittel- und Maximalwerte der Zielwertabweichung relative Feuchte aller Projekte

	Zielwertabweichung relative Feuchte [%-rF]					
	Kernwinter (1.12. – 28.2.)			Heizperiode (1.10. – 30.4.)		
Objekte mit luftgeführtem Heizsystem						
	min	mittel	max	min	mittel	max
<i>Dreherstraße</i>	0,00	0,50	0,96	0,00	0,26	0,46
<i>Utendorfsgasse</i>	0,03	0,69	2,92	0,02	0,53	1,56
<i>Hörbranz</i>	0,51	0,68	1,22	0,22	0,37	0,53
<i>Wolfurt</i>	0,01	2,36	4,57	0,01	1,32	2,65
<i>Steyr</i>	0,16	0,63	1,21	0,10	0,31	0,59
<b>Mittelwert aller Objekte</b>		<b>0,97</b>			<b>0,56</b>	
<b>Mittelwert alle Wohnungen</b>		<b>1,11</b>			<b>0,6</b>	
Objekte mit wassergeführtem Heizsystem						
<i>Mühlweg</i>	0,34	0,90	1,59	0,15	0,50	0,89
<i>Lodenareal</i>	0,01	2,140	7,78	0,04	1,51	4,90
<b>Mittelwert aller Objekte</b>		<b>1,52</b>			<b>1,0</b>	
<b>Mittelwert alle Wohnungen</b>		<b>1,9</b>			<b>1,31</b>	

Bei Betrachtung der mittleren Zielwertabweichung der relativen Feuchte zeigt sich, dass in diesem Fall die Zielwertabweichung bei den luftgeführten Heizsystemen geringer ist als bei den wassergeführten Heizsystemen. So beträgt der Werte der Objekte mit luftgeführtem Heizsystem im Kernwinter 64 % des Werts der Objekte mit wassergeführtem Heizsystem

(0,97 %-rF zu 1,52 %-rF), in der Heizperiode 56 % (0,56%-rF zu 1,00 %-rF). Dabei handelt es sich aber nicht um systembedingte Unterschiede. Vielmehr ist dies auf die Temperaturabhängigkeit der relativen Feuchte und die bereits oben beschriebenen Unterschiede in der Temperatur zurückzuführen. Die genauen Werte dazu sind Tabelle 3 zu entnehmen.

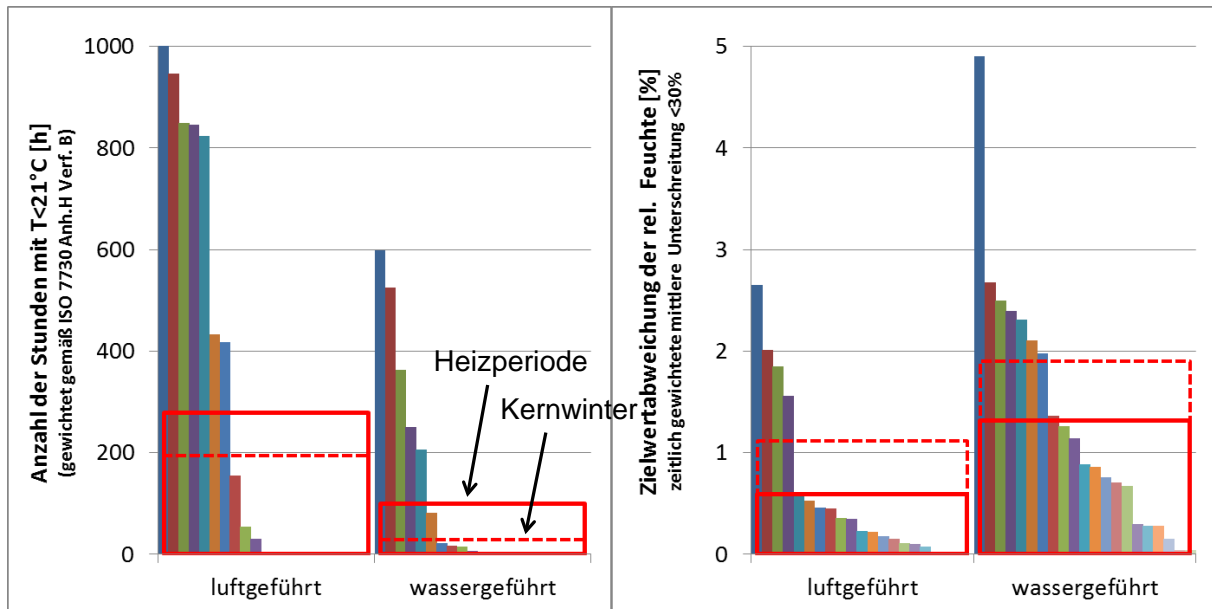


Abbildung 11: Vergleich der Untertemperaturen (links) und der Zielwertabweichung der relativen Feuchte (rechts) aller ausgewerteten Wohneinheiten (sortiert) mit luft- bzw. wassergeführter Wärmeverteilung für die Heizperiode (Okt.-Apr.). Die Mittelwerte für Heizperiode und Kernwinter (Dez.-Feb.) sind ebenfalls dargestellt (roter Rahmen).

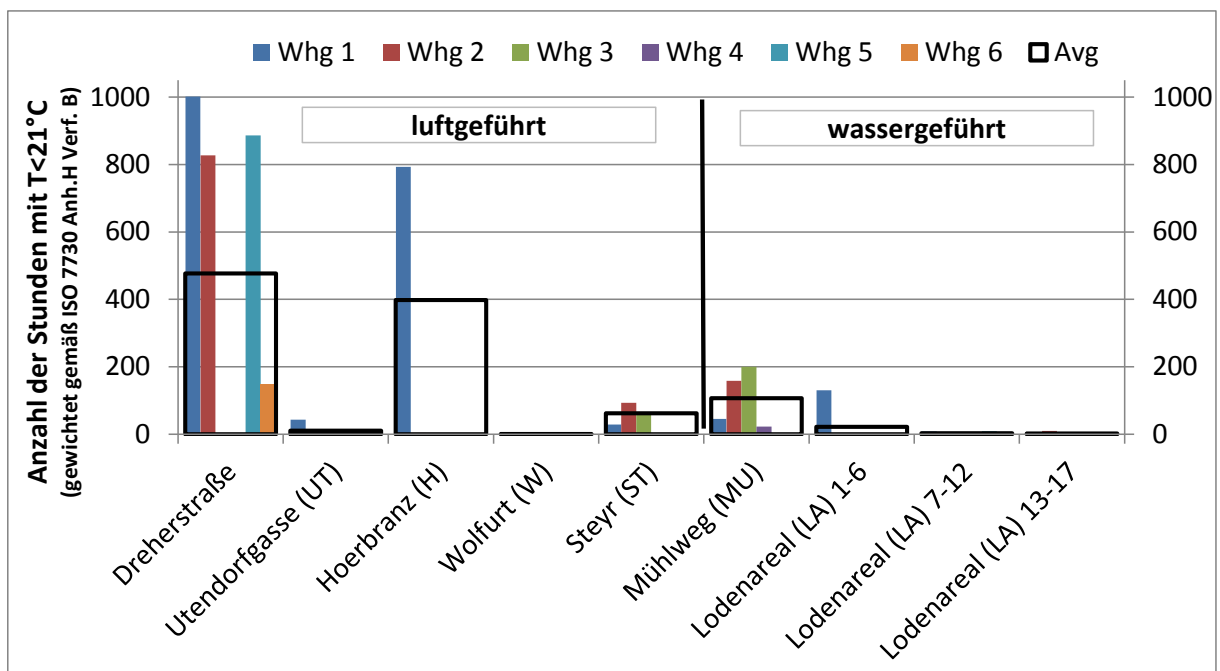


Abbildung 12: Vergleich Untertemperaturhäufigkeit nach Projekte (für Kenrwinter) aufgeschlüsselt.

### 3.1.2 Zusammenfassung der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen

Im Anschluss erfolgt eine Zusammenfassung der Aussagen der sozialwissenschaftlichen Untersuchungen fokussiert auf die Raumlufttemperaturen im Winter und die

Raumluftfeuchte, um damit eine Aussage bezüglich der Behaglichkeit aus Nutzersicht treffen zu können.

**Tabelle 4: Zusammenfassung der Aussagen der sozialwissenschaftlichen Untersuchung in Bezug auf Wärmeversorgung im Winter und trockene Luft**

	<b>Bewertungskriterium</b>	<b>Zufriedenheit</b>
<b>luftgeführte Heizsysteme</b>		
Objekt Dreherstraße	trockene Luft	von einigen als Problem angeführt
	Wärmeversorgung im Winter	teilweise Probleme mit der Wärmeversorgung im Winter artikuliert
Objekt Utendorgasse	Wärmeversorgung im Winter	25% war es zu kalt (schriftliche Befragung), bei der qualitativen Befragung ergaben sich keine Beschwerden
	Heizkörper im Winter	wird zum Trocknen von nassen Sachen gewünscht
<b>wassergeführte Heizsysteme</b>		
Objekt Mühlweg	trockene Luft	von einigen als Problem angeführt
	Wärmeversorgung im Winter	teilweise Probleme mit der Wärmeversorgung im Winter artikuliert
Objekt Lodenareal	1. Befragung	
	Heizung	96% äußerten sich zur Heizung mit sehr zufrieden bzw. zufrieden
	Schulnoten für Lüftungsanlage	80% vergeben für die Lüftungsanlage die Schulnote „sehr gut“ bzw. „gut“
	2. Befragung	
	Heizung	84 % äußerten sich zur Heizung mit sehr zufrieden bzw. zufrieden
	Lüftungsanlage	Knapp 80% äußern sich zufrieden bzw. eher zufrieden mit der Komfortlüftung
	Schulnoten für Lüftungsanlage	die Schulnoten haben sich gegenüber der ersten Befragung in Richtung gut und befriedigend verschoben (17% sehr gut, 40% gut, 25% befriedigend, 11% genügend, 8% nicht genügend)
	Luftzufuhr	83 % lüften im Winter zusätzlich zur eingeschalteten Komfortlüftung, als Gründe werden Gewohnheit, Geruchsentwicklung beim Kochen, trockene Luft, zu wenig Luft in der Wohnung angegeben

In jeweils zwei Objekten mit luftgeführtem bzw. wassergeführtem Heizsystem liegen sozialwissenschaftliche Untersuchungen vor. Trockene Luft wird in drei Objekten als Bewertungskriterium untersucht und in allen drei Objekten werden Aussagen bezüglich zu trockener Luft getätigt. Die Wärmeversorgung im Winter wird sowohl in den Objekten mit luftgeführtem Heizsystem als auch in den Objekten mit wassergeführtem Heizsystem untersucht. In Tabelle 4 werden die Aussagen zusammengefasst.

Sowohl in den luftbeheizten Gebäuden als auch in den Gebäuden mit wassergeführten Systemen wird das Problem der trockenen Luft angesprochen, aus den Messungen konnte gezeigt werden, dass dies ganz objektiv betrachtet kein Problem des Heizsystems sondern der Außenluftwechselraten bei den gegebenen Feuchtelasten ist.

## **3.2 Telefonbefragung**

Die Details der Ergebnisse aus der Telefonbefragung sind in Anhang B beschrieben. Hier folgt eine Zusammenfassung daraus.

Insgesamt wurden 46 Personen befragt. Die Anzahl der Fragebögen pro Gruppe betrug:

1. Energieinstitute der Bundesländer (9)
2. TechnikerInnen der Wohnbauförderung (5)
3. Bauträger (9)
4. Haustechnikplaner (16)
5. Facility Manager, Hausverwalter (7)

Die Mehrheit der Befragten spricht sich grundsätzlich klar für ein Passivhaus aus. Dies gilt sowohl für das Einfamilienhaus als auch das Mehrfamilienhaus (siehe Abbildung 13). Bei der Art der Wärmeabgabe wird auch im Passivhaus dem wassergeführten System deutlich der Vorzug gegeben.

Die allgemeinen Fragen wie: „Würden sie einem Bauträger/Freund raten ein Mehrfamilien/Einfamilienhaus-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?“ oder „Würden sie ihr nächstes Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?“ wurden in Abbildung 13 zusammengefasst. Facility Manager (und Wohnbauträger beim EFH) sind nicht enthalten, da diese Frage für diese Zielgruppen nicht gestellt wurde.

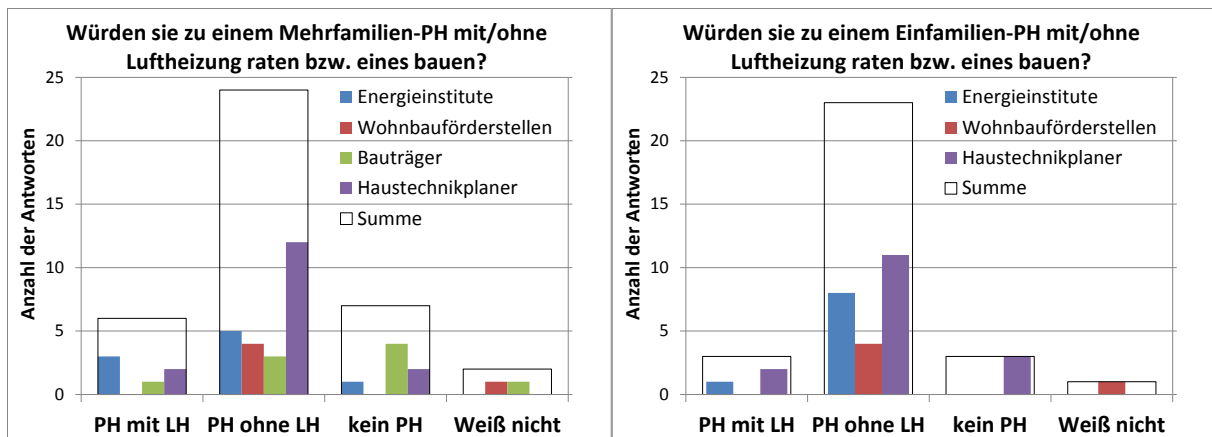


Abbildung 13: Anzahl der Antworten auf die Frage ob ein Mehrfamilien- (links) bzw. Einfamilien- (rechts) Passivhaus mit oder ohne Luftheizung umgesetzt werden sollte, aufgeschlüsselt nach Zielgruppen. Interpretation der Befragungsergebnisse und daraus abgeleiteter Forschungs- bzw. Klärungsbedarf

Die genannten Argumente im Zusammenhang mit dieser allgemeinen Frage für das wassergeführte System bzw. gegen die Luftheizung sind in Tabelle 5 zusammengefasst. So wurde am öftesten „trockene Luft“ als ein Nachteil genannt. Des Weiteren wurde die fehlende Möglichkeit einer Einzelraumregelung bzw. der Wunsch der Kunden nach wassergeführten Systemen als Gegenargument öfter genannt. Bedenken aufgrund fehlender Leistungsreserven bzw. geringerer Behaglichkeit wurde auch geäußert. Zwei gaben an, dass das Einsparpotential zu gering wäre. Einer argumentierte sogar dass eine Luftheizung insgesamt sogar teurer käme (durch gedämmten Luftleitungen, die nicht in die Betondecke eingelegt werden können).

Tabelle 5: Argumente der Befragten warum sie keine Luftheizung empfehlen/umsetzen würden.

Nein, keine Luftheizung, da ...	Anz. der Antworten
trockene Luft	9
keine Zonierung / Einzelraumregelung möglich	5
Nutzer/Kundenwunsch bzw. Probleme der Nutzer/Mieter	5
geringere Behaglichkeit / Komfort	4
fehlende Leistungsreserven (z.B. außergewöhnliche Betriebszustände, Eckwohnungen) bzw. höhere Temperaturen (<20°C) gewünscht	4
Kopplung Luftmenge-Heizfunktion (keine Bedarfslüftung möglich)	3
Einsparpotential zu gering	2
geringere Flexibilität	2
schlechte Erfahrungen (in der Vergangenheit)	2
geringere Zuverlässigkeit	1
Sonstiges	16

Das genannte Argument der Befragten für die Luftheizung ist im Zusammenhang mit der ersten (allgemeinen) Frage vor allem die Kostenersparnis.

Konkrete Angaben zu den Einsparungen kamen durchwegs nur von den Haustechnikern. Die Angaben schwankten zwischen 10 und 55 €/m<sup>2</sup><sub>Nutzfläche</sub> beim Mehrfamilienhaus und zwischen 2.500 und 12.000 € (17-80 €/m<sup>2</sup><sub>Nutzfläche</sub>) beim Einfamilienhaus (siehe Abbildung 132).

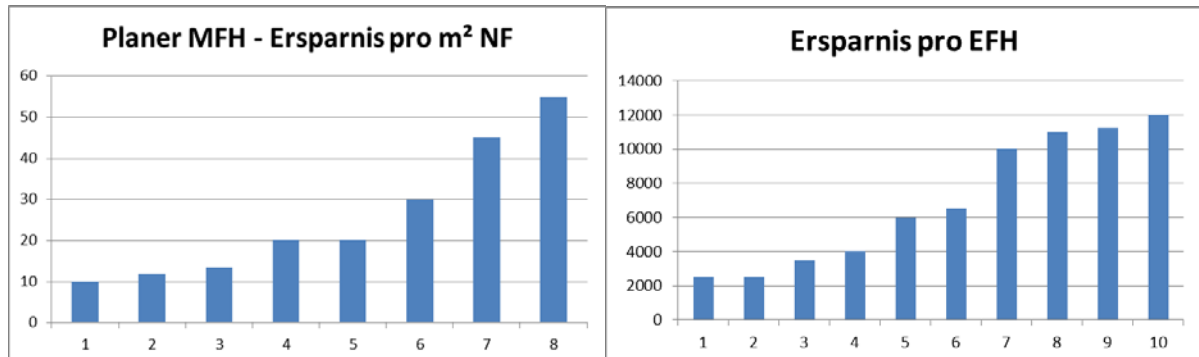


Abbildung 14: Geschätzte Einsparung (inkl. USt.) bei der Luftheizung fürs Mehrfamilienhaus in €/m<sup>2</sup>-Nutzfläche (links) und für Einfamilienhaus in € pro Objekt (rechts).

Bei der Frage zu den Wartungs- und Instandhaltungskosten wurde die Luftheizung relativ häufig als vorteilhaft bezeichnet (siehe Abbildung 15, links). Die meisten Befragten sahen jedoch keinen Unterschied. Die Frage zum Einfluss einer Luftheizung auf den Wert des Gebäudes, wurde eher „ausgeglichen“ beantwortet (siehe Abbildung 15, mittig). Eine positive Antwort lautete z.B. „Hochwertiger, da keine störenden Heizkörper im Raum“. Die Mehrheit der Haustechnikplaner beurteilte den Planungsaufwand für eine Luftheizung als gleich im Vergleich zu einem wassergeführten System; fünf bzw. drei Planer meinten er würde sich reduzieren bzw. erhöhen (siehe Abbildung 15, rechts).

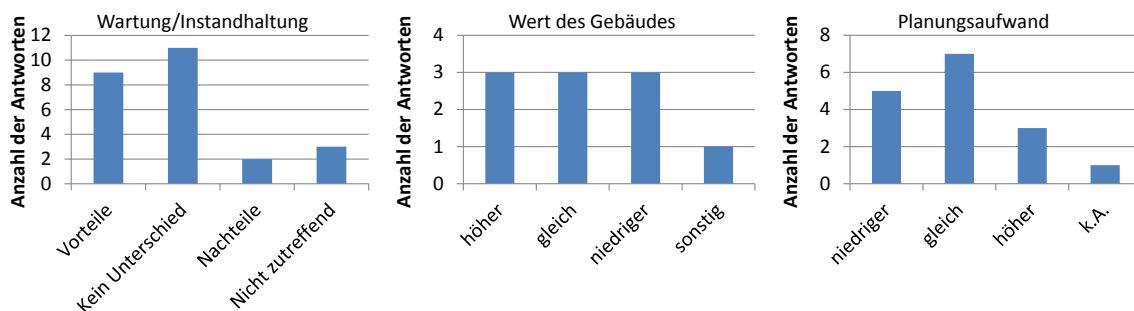


Abbildung 15: Befragungsergebnisse zur Beurteilung der Vor- und Nachteile in Bezug auf Wartung/Instandhaltung (links), des Einflusses auf den Wert des Gebäudes (mittig) und des Planungsaufwandes (rechts) einer Luftheizung.

### 3.3 Bewertung der Behaglichkeit mittels Simulationen

#### 3.3.1 Dynamische Gebäudesimulationen

##### 3.3.1.1 Ergebnisse Referenzfall

Betrachtet man die Häufigkeitsverteilung der operativen Temperatur während des Kernwinters (Dezember, Jänner und Februar) für das Wohnzimmer (Abbildung 16, links) so erkennt man keine maßgeblichen Unterschied zwischen den verschiedenen Systemen. Luft-,

Heizkörper-, Fußboden- und sogar Idealheizung haben eine fast idente Temperaturverteilung. Dies liegt daran, dass im Modell, so wie in Realität zu erwarten, eine adaptive Sollwertanpassung implementiert wurde. D.h. der Nutzer justiert den Sollwert nach seinem Behaglichkeitsempfinden (im Modell mit 22°C angenommen) einmal in der Woche nach. Die relative große Schwankungsbreite von ca. 21 bis 24°C (auch für die Idealheizung) ergibt sich durch die solaren Gewinne. Diese heizen das Wohnzimmer an sonnigen Tagen auf bis zu 25°C auf. Nachts kühlt es auf ca. 21°C ab. Im zeitlichen Mittel stellt sich der gewünschte Mittelwert von 22°C ein.

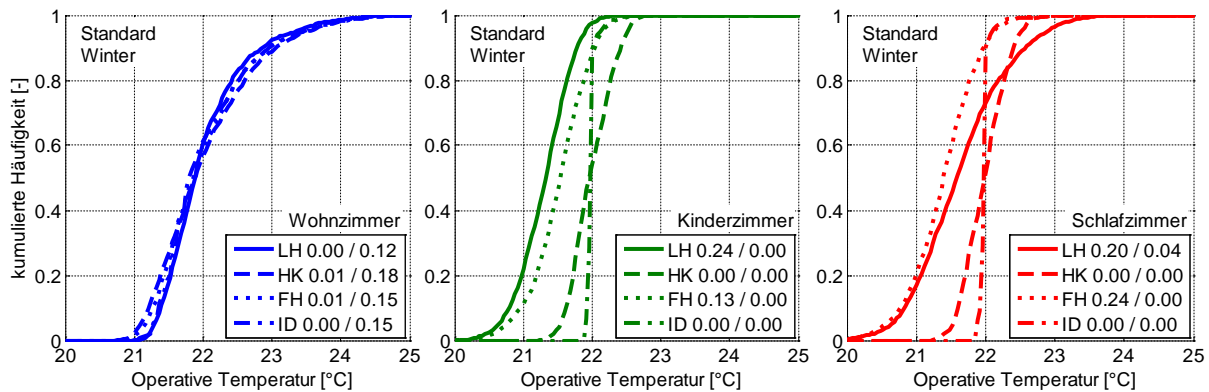
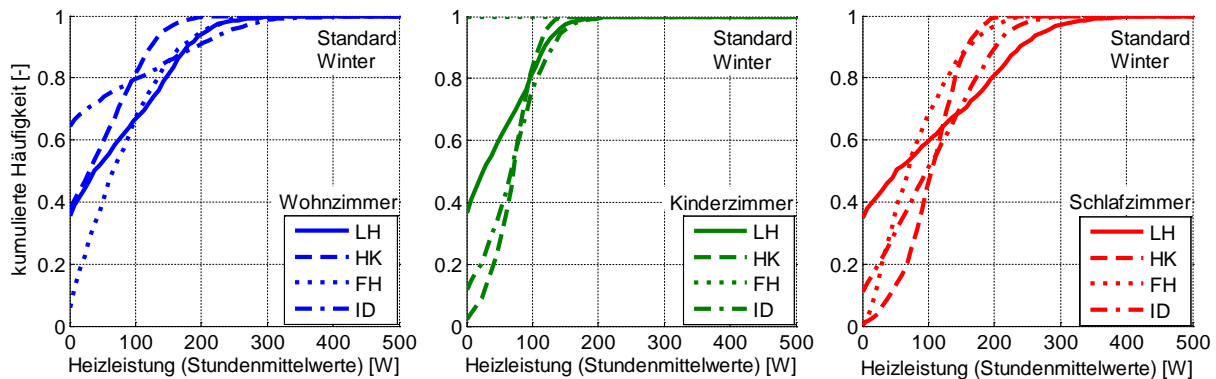


Abbildung 16: Kumulative Häufigkeitsverteilung der operativen Temperatur im Wohnzimmer (links), Kinderzimmer (mittig) und Schlafzimmer (rechts) für den Referenzfall mit Luftheizung (LH), Heizkörper (HK), Fußbodenheizung (FH) oder Idealheizung (ID).

Deutliche Unterschiede in der Temperaturverteilung zwischen den Wärmeabgabesystemen ergeben sich im Kinder- und Schlafzimmer (Abbildung 16, mittig und rechts). Die Idealheizung kann die Temperatur (fast) genau auf 22°C halten. Dies liegt daran, dass die die solaren Gewinne aufgrund des geringeren Verglasungsanteils und der Nordwest-Orientierung, kaum den Temperaturverlauf beeinflussen. Bei der Heizkörperlösung stellen sich im Mittel ebenfalls die gewünschten 22°C ein. Eine Schwankungsbreite von ca. +/- 0,7 K zeigt den Einfluss der Thermostatventilregelung im Vergleich zur Idealheizung. Bei der Luft- und Fußbodenheizung wird im Kinder- und Schlafzimmer die Solltemperatur im Mittel nicht eingehalten. Im Kinderzimmer ergibt sich bei der Luftheizung bzw. bei der Fußbodenheizung eine mittlere Temperatur von 21,3°C bzw. 21,5°C, im Schlafzimmer 21,7°C bzw. 21,4°C. Es sei angemerkt, dass bei der Fußbodenheizung die mittlere Temperatur per hydraulischen Abgleich angehoben werden könnte (typischerweise ist im Bad oder WC ein Unterputzverteilerkasten). Dieser mögliche Eingriff durch Bewohner oder Hausmeister wurde im Simulationsmodell nicht abgebildet.

Die Schwankungsbreite beträgt ca. +/-1K bzw. etwas mehr, sodass sich Minimaltemperaturen von ca. 20°C ergeben. Gerade im Fall des Schlafzimmers ist anzunehmen, dass die niedrigeren Temperaturen von den Bewohnern in der Regel nicht als große Komforteinbuße wahrgenommen wird, zumal sich die Temperatur zum Großteil der Zeit (knapp 80%) innerhalb der strengsten Behaglichkeitsklasse (A: +/-1°C) der ISO 7730 befindet. Ein kühleres Schlafzimmer wird von den meisten Bewohnern toleriert bzw. sogar gewünscht (Hermelink, 2004). Darum könnten hier eher die Zeiten mit höheren Temperaturen als unangenehm empfunden werden, zumal diese hier hauptsächlich nachts

eintreten (siehe Abbildung 18). Es sei angemerkt, dass sich die Temperaturunterschiede zwischen den Räumen durch geöffnete Türen stark reduzieren ließen (siehe Kap. 3.3.1.3). Der Referenzfall geht von davon aus, dass die Türen tagsüber (verteilt)  $6\frac{1}{4}$  Stunden offen stehen, sonst aber geschlossen bleiben. D.h. es ist anzunehmen, dass viele Nutzer in die Temperaturverteilung „aktiv eingreifen“ würden und z.B. die Kinderzimmertür (gerade bei Kleinkindern) offen lassen würden. Es gibt aber sicher auch Fälle wo eine geschlossene Tür explizit gewünscht ist (z.B. bei Kinderzimmer von älteren Kindern bzw. Jugendlichen), und die Untertemperaturen als störend empfunden werden.



**Abbildung 17:** Kumulative Häufigkeitsverteilung der Heizleistung im Wohnzimmer (links), Kinderzimmer (mittig) und Schlafzimmer (rechts) für den Referenzfall mit Luftheizung (LH), Heizkörper (HK), Fußbodenheizung (FH) oder Idealheizung (ID). (Anmerkung: die Verteilung für die Fußbodenheizung im Kinderzimmer ist aufgrund eines Auswertefehlers nicht dargestellt.)

Betrachtet man die zugehörige Verteilung der Heizleistung (Abbildung 17) erkennt man, dass die Untertemperaturen im Schlaf- und Kinderzimmer nicht auf mangelnde Heizleistung zurückzuführen sind. Bei der Luftheizung beträgt die maximal einbringbare Heizleistung aufgrund der Zuluftmengen ca. 300 W im Wohnzimmer, 200 W im Kinderzimmer und 400 W im Schlafzimmer. Diese Werte werden eigentlich nie erreicht. Man kann die Ursache aber auf Basis von Abbildung 17 erschließen: Aufgrund der wohnungsweisen Regelung ist bei der Luft- und Fußbodenheizung die Heizfunktion an die „Bedürfnisse“ des Wohnzimmers gekoppelt. Dies liegt daran dass im Flur der Temperatursensor sitzt, bzw. angenommen wurde, dass der Bewohner den Sollwert gemäß seinem Temperaturempfinden im Wohnzimmer nachjustiert. Man erkennt in Abbildung 17 (mittig und rechts), dass in ca. 40% der Zeit gar nicht geheizt wird (da das Wohnzimmer keine Beheizung erfordert), obwohl ein kleiner Heizbedarf erforderlich wäre (Vergleich mit Ideal- bzw. Heizkörperheizung). Abbildung 18 zeigt exemplarisch den zeitlichen Verlauf der Temperatur und der Heizleistung für die Luftheizung. Man erkennt, dass die niedrigsten Temperaturen im Schlaf- und Kinderzimmer tagsüber (bzw. abends) erreicht werden, die höchsten nachts bzw. in den frühen Morgenstunden, also gegenläufig zu den Wohnzimmertemperaturen.



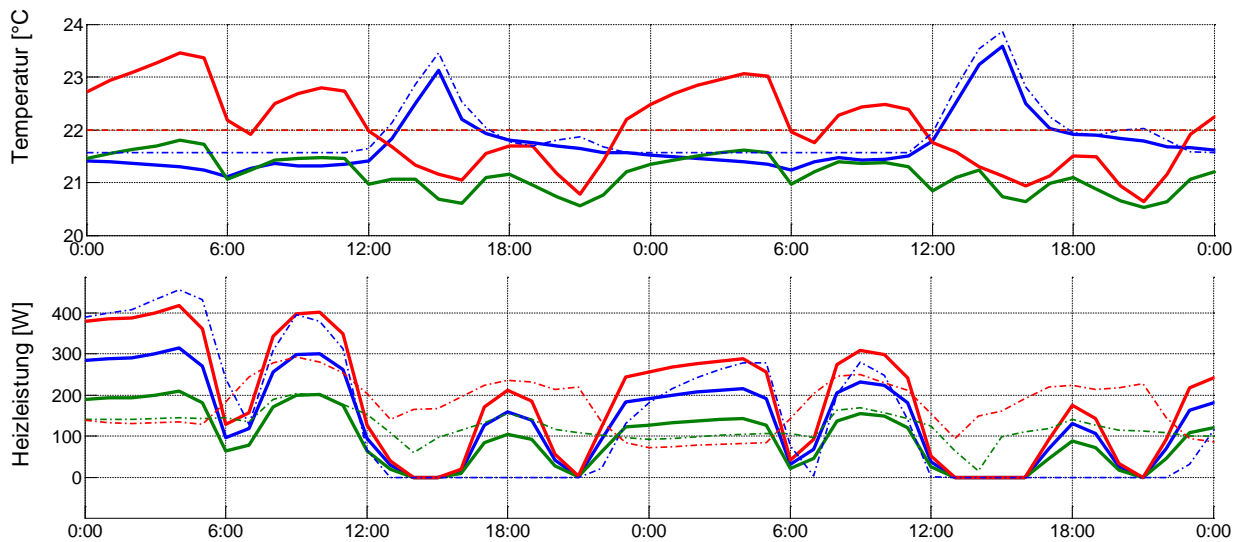


Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der operativen Temperatur und der eingebrachten Heizleistung für Luftheizung (durchgezogene Linie) und Idealheizung (strich-punktierte Linie) für das Wohnzimmer (rot), das Kinderzimmer (grün) und das Schlafzimmer (rot). Es wurden zwei typische Wintertage (48h) herausgegriffen.

### 3.3.1.2 Übersicht der Parametervariationen

Kategorie	Parameter	Referenzmodell	Variation
Nutzer	T soll	22°C	20°C bis 23°C
	Temp.diff SZ/KZ	0 K	-2K bis +1K
	Temperaturdiff. Nachbarwhg.	0 K	-2K
	Innentüröffnung	3 x 2 Std + 1 x 15 min	von fast durchgehend geöffnet bis durchgehend offen
	Belegungsdichte	3 Pers.	1 / 3 / 5 Pers.
Klima	Temperatur, Solar, Feuchte	Innsbruck	versch. österreichische und europäische Städte
Ausführung	Thermische Qualität	PH (13 kWh/m <sup>2</sup> a)	"PH+" (4 kWh/m <sup>2</sup> a) / "NEH" (27 kWh/m <sup>2</sup> a) / "OIB" (43 kWh/m <sup>2</sup> a)
	Außenwandanteil	SW + NW	SW+NW+Boden / SW+NW+Boden+Decke / (fast) alle
	Orientierung	SW	S / W / N / O
	Verglasungsfläche	10.3 m <sup>2</sup>	5,1 m <sup>2</sup> / 7,7 m <sup>2</sup> / 13 m <sup>2</sup>
	Bedarfslüftung	Nein (ZL ges: 90 m <sup>3</sup> /h)	Ja (60 m <sup>3</sup> /h von 8-22 Uhr, 90 m <sup>3</sup> /h sonst)
	Kaskadenlüftung	Nein (ZL ges: 90 m <sup>3</sup> /h)	Ja (ZL ges: 60 m <sup>3</sup> /h)

### 3.3.1.3 Variation des Nutzerverhaltens

Es zeigt sich, dass Wärmeabgabesysteme die Wohnzimmertemperatur unabhängig vom Nutzerverhalten im Mittel auf Wunschtemperatur halten können. Aufgrund der solar-induzierten Temperaturspitzen kommt es wie auch schon im Referenzfall zu kleinen Übertemperaturhäufigkeiten im Bereich von 10% (Abbildung 22). Einzig der Fall mit einer 5-Personen Belegung liefert massive Übertemperaturen. Falls die Bewohner nicht aktiv (z.B. durch Ablüften) eingreifen, ergibt sich ein Temperaturmittelwert von fast 24°C. Dies liegt daran, dass hier die Wohnung rein durch die internen und solaren Wärmegevinne beheizt wird. Für das Kinder- und Schlafzimmer ergeben sich zum Teil starke Unter- bzw. Übertemperaturen für die Luft- und Fußbodenheizung. Abgesehen von der Idealheizung, kann da nur die Heizkörperlösung mit Thermostatventilen die Temperaturvorgaben unabhängig vom Nutzerverhalten bis auf wenige Ausnahmen einhalten. Die Untertemperaturen bei der Luft- und Fußbodenheizung entstehen, wie schon oben erläutert, nicht aufgrund von fehlender Heizleistung, sondern wie für den Fall mit hoher Personenbelegung ersichtlich, aufgrund des Umstands, dass das Wohnzimmer keine Heizleistung „anfordert“. Die Übertemperaturen, vor allem im Schlafzimmer, sind auf das gleiche Phänomen zurückzuführen. Es zeigt sich im Fall der 1-Personen-Belegung wieder als vermeintliches Paradoxon, dass es bei verringerten internen Wärmequellen zu Übertemperaturen im Schlafzimmer kommt.

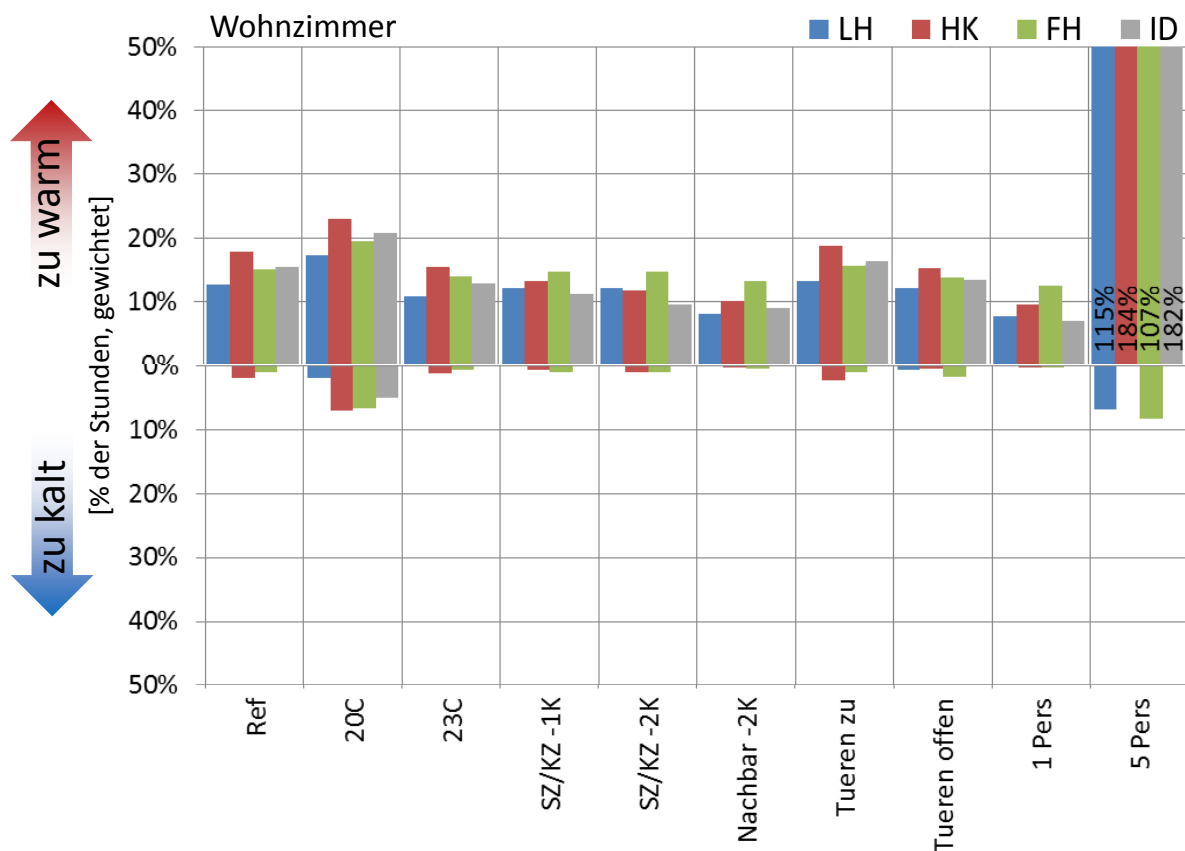


Abbildung 19: Über- und Untertemperaturen Wohnzimmer

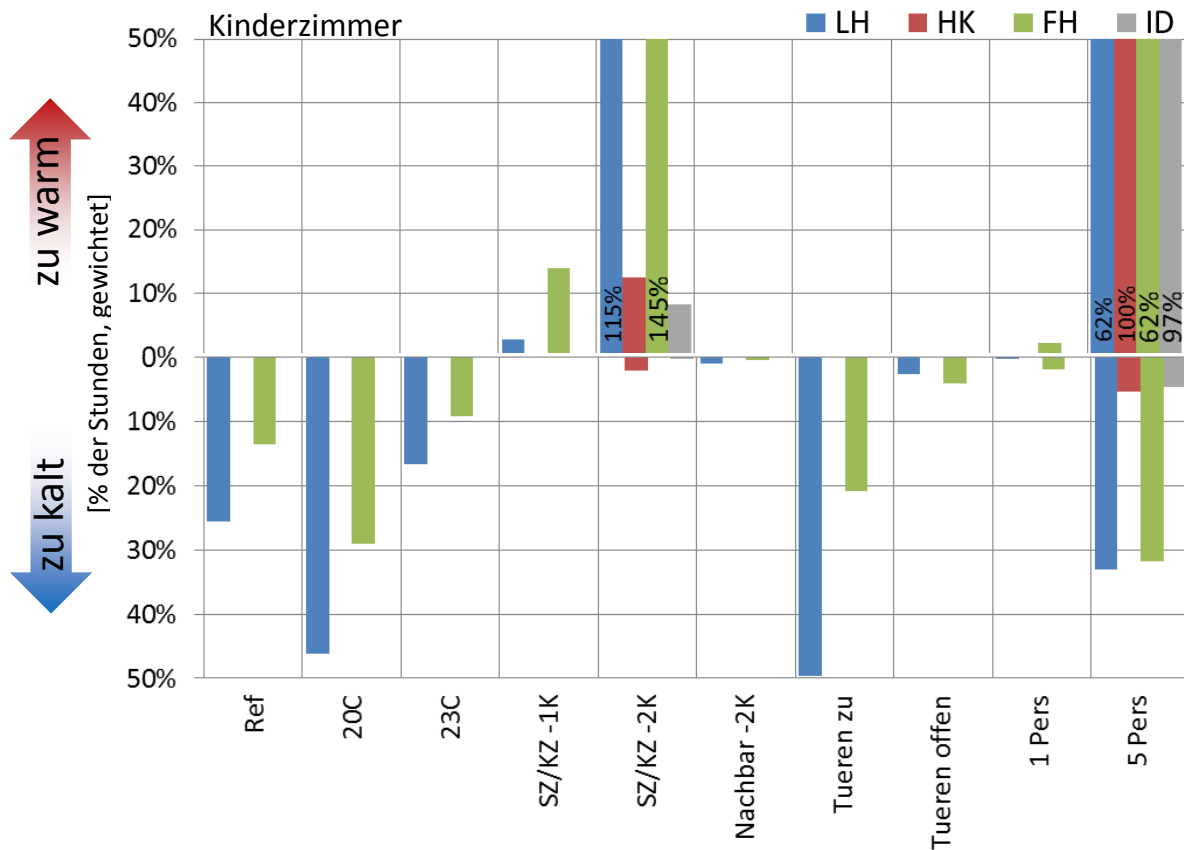


Abbildung 20: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer

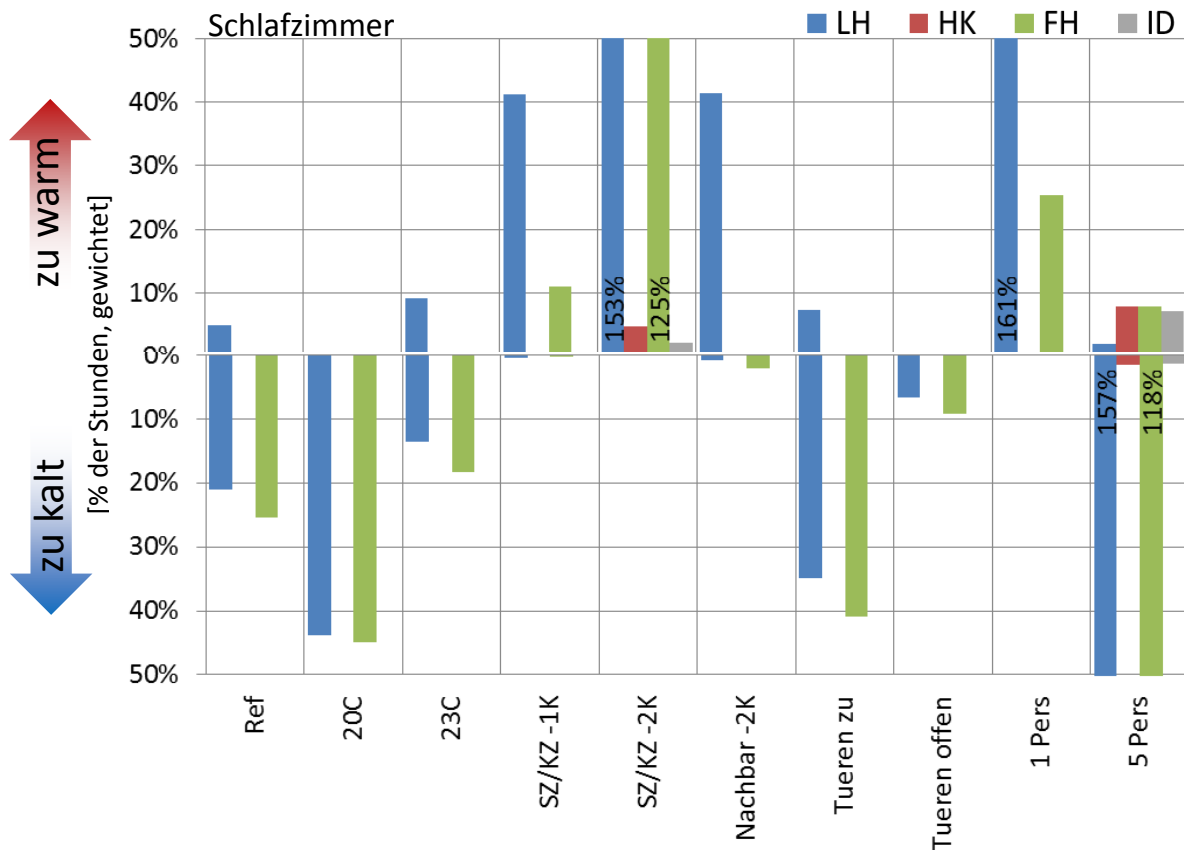


Abbildung 21: Über- und Untertemperaturen Schlafzimmer

### 3.3.1.4 Variation des Klimas

Bei der Variation der klimatischen Bedingungen ergibt sich ein ganz ähnliches Bild wie bei der Variation der Nutzerparameter. Die Wohnzimmertemperaturen können bis auf solarinduzierte Temperaturspitzen von allen drei Systemen gut eingehalten werden (Abbildung 22). Bei der wohnungsweisen geregelten Luft- und Fußbodenheizung kommt es aber in Kinder- und Schlafzimmer zu Unter- und Überschreitungen der Grenzen (21°C bzw. 23°C) der strengen Behaglichkeitsklasse „A“ (Abbildung 23 und Abbildung 24). Es zeigt sich wieder das Paradoxon: für solarreiche und/oder milde Standorte (wie z.B. St. Anton oder Bozen) häufen sich die Perioden mit Untertemperaturen, für kalte und solararme Standorte (wie z.B. Wien oder Minsk) treten des Öfteren Übertemperaturen auf.

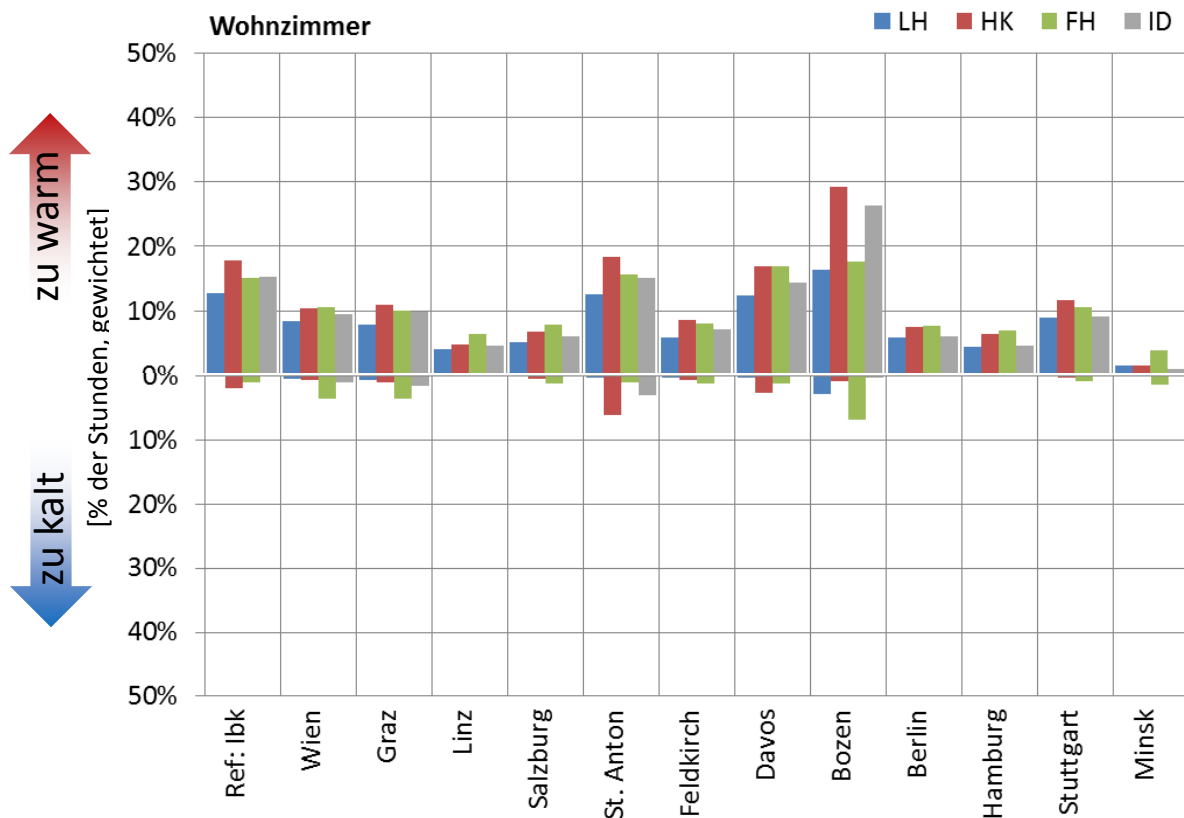


Abbildung 22: Über- und Untertemperaturen Wohnzimmer

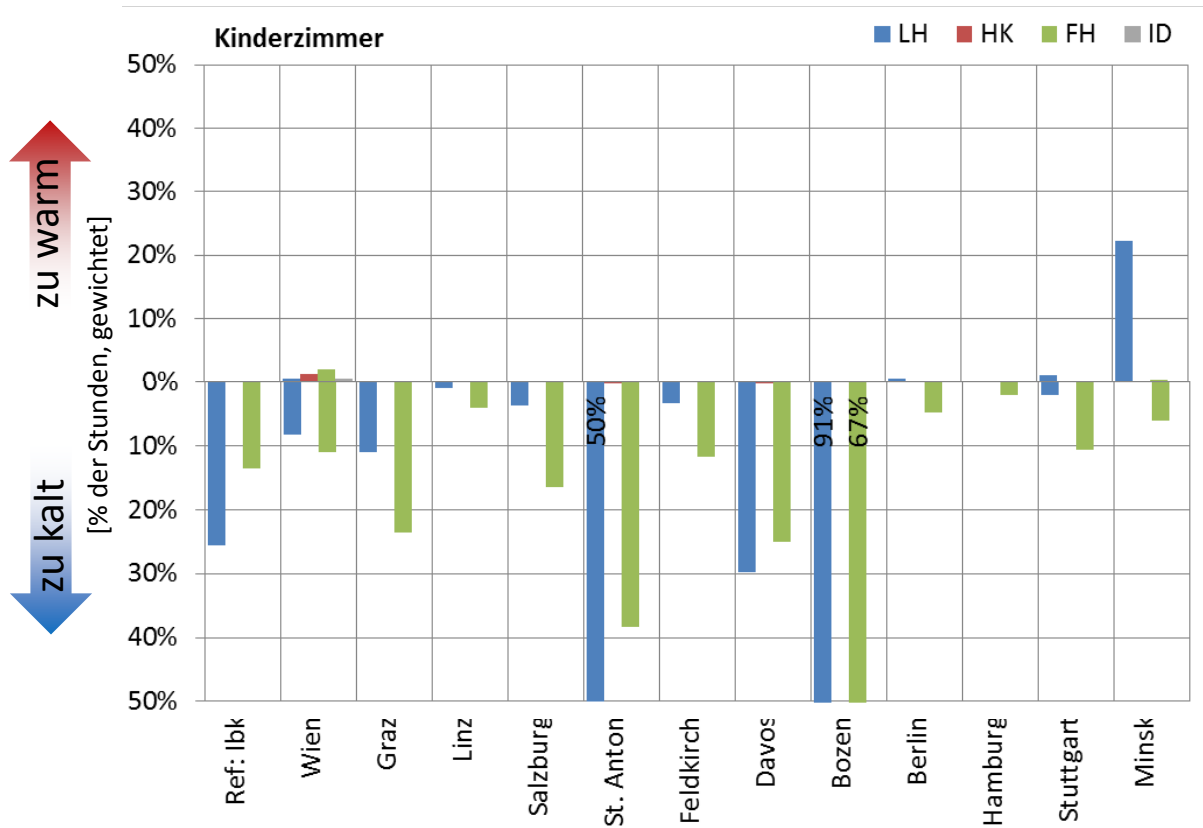


Abbildung 23: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer

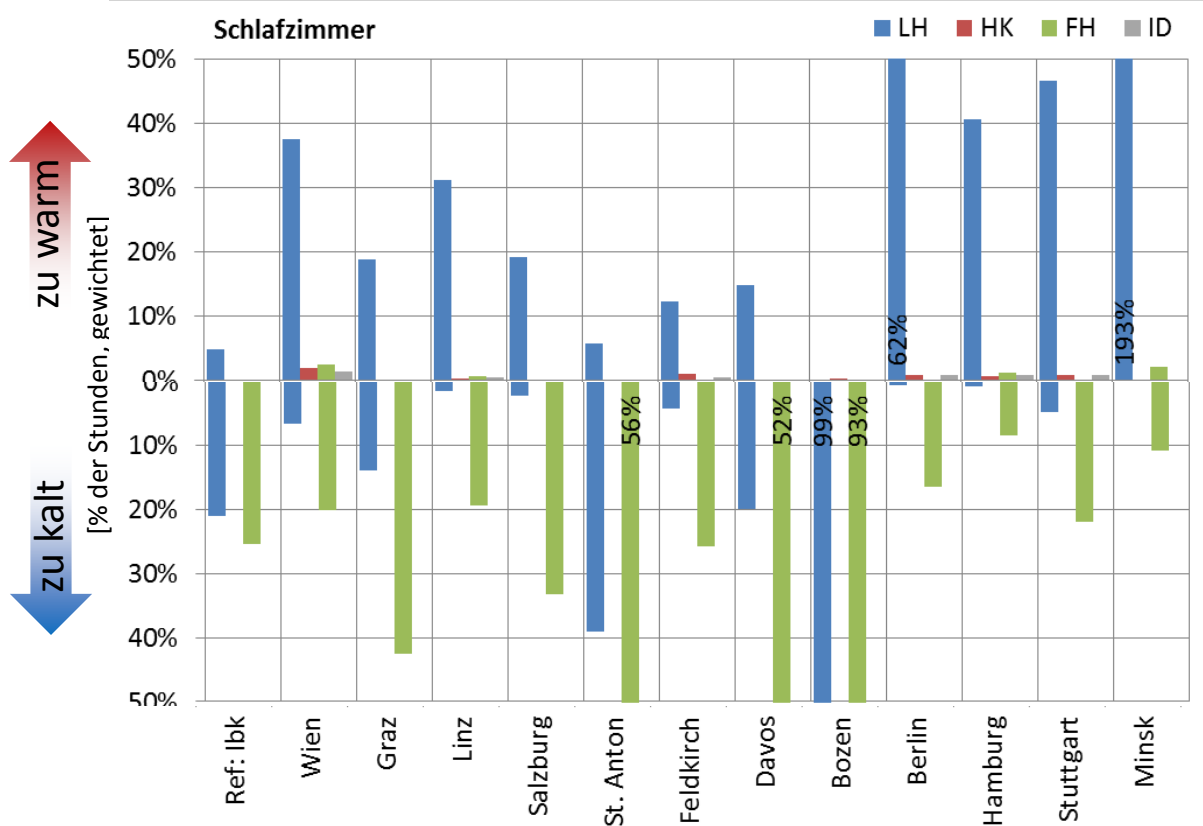


Abbildung 24: Über- und Untertemperaturen Schlafzimmer

### 3.3.1.5 Variation der Gebäudeausführung

Die Ergebnisse der verschiedenen Gebäudeausführungsvarianten bestätigen die Ergebnisse aus den Nutzer- und Klimavariationen. Die Heizkörpervariante mit Thermostatventil kann die Solltemperatur (fast) so gut wie eine Idealheizung einhalten. Zu größeren Über- bzw. Untertemperaturen kommt es nur wo es aufgrund von hohen solaren Gewinnen zu starken Temperaturschwankungen kommt, wie z.B. im Fall der Süd-Orientierung fürs Wohnzimmer oder im Fall der Ost-Orientierung (der Hauptfassade) fürs Kinder- und Schlafzimmer (Abbildung 25 bis Abbildung 27). In Realität ist davon auszugehen, dass der Nutzer bei Bedarf die solar-bedingten Temperaturspitzen mit Lüftungs- und/oder Verschattungsmaßnahmen reduziert. (So ein individuelles Nutzerverhalten wurde im Modell nicht abgebildet.) Bei den wohnungsweise geregelten Systemen (LH und FH) kommt es bei einigen Varianten zu einer hohen Untertemperaturhäufigkeit. Bei der Luftheizung erkennt man vor allem im Schlafzimmer für viele Ausführungsvarianten eine hohe Übertemperaturhäufigkeit. Nicht so für die Fußbodenheizung. Dies liegt daran, dass für die Fußbodenheizung die maximale Heizleistung (die Heizfläche) für jede Variante gemäß maximaler Heizlast, also für den Voll-Last-Heizfall, ausgelegt wurde. Dadurch ist die Heizleistungsverteilung zwischen den Räumen für den Voll-Last-Heizfall „richtig“ eingestellt, aber nicht unbedingt bei Teil-Last. Bei der Luftheizung hingegen basiert die Heizleistungsverteilung zwischen der Räumen rein auf den hygienischen Anforderungen (300 W, 200 W und 400 W für Wohn-, Kinder- und Schlafzimmer). Dies führt dazu, dass im Schlafzimmer der größte Heizeintrag stattfindet, obwohl aufgrund der Größe, der Ausführung und der internen Lasten (zwei Personen) ein deutlich geringerer Heizbedarf erforderlich wäre.

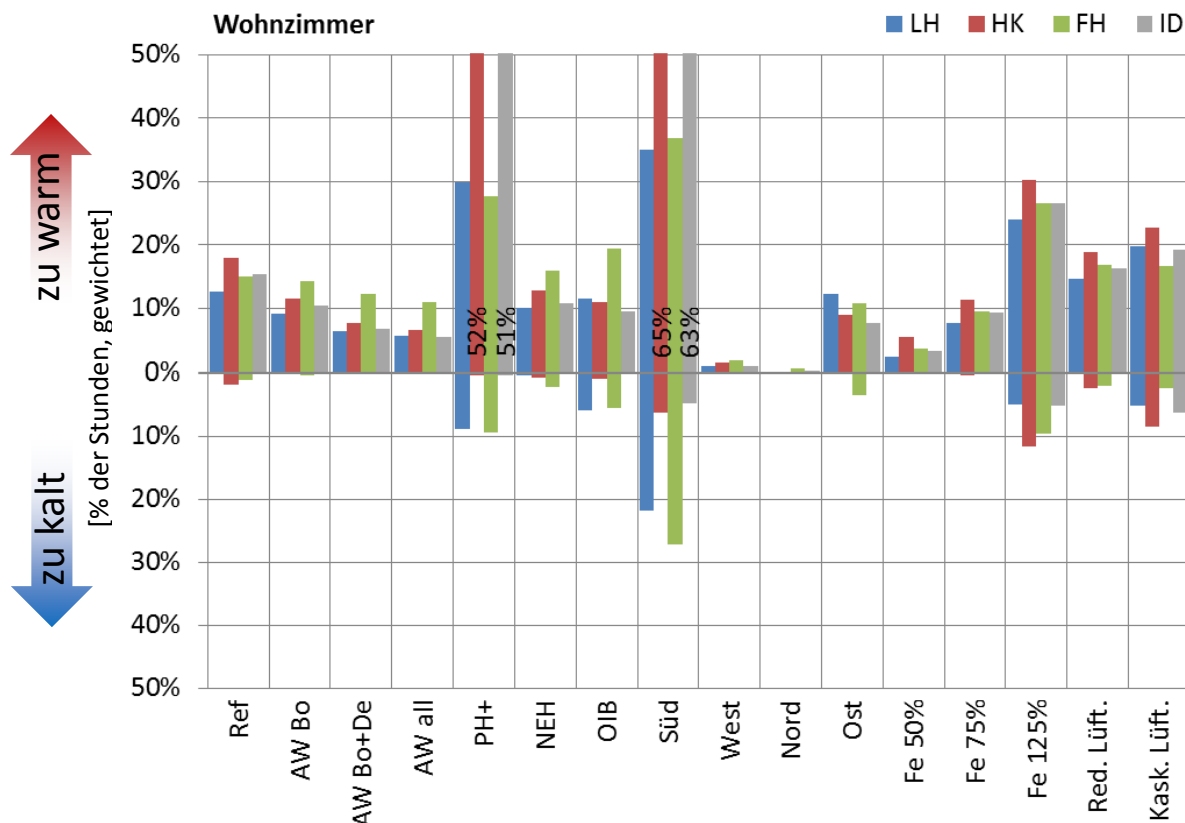


Abbildung 25: Über- und Untertemperaturen Wohnzimmer

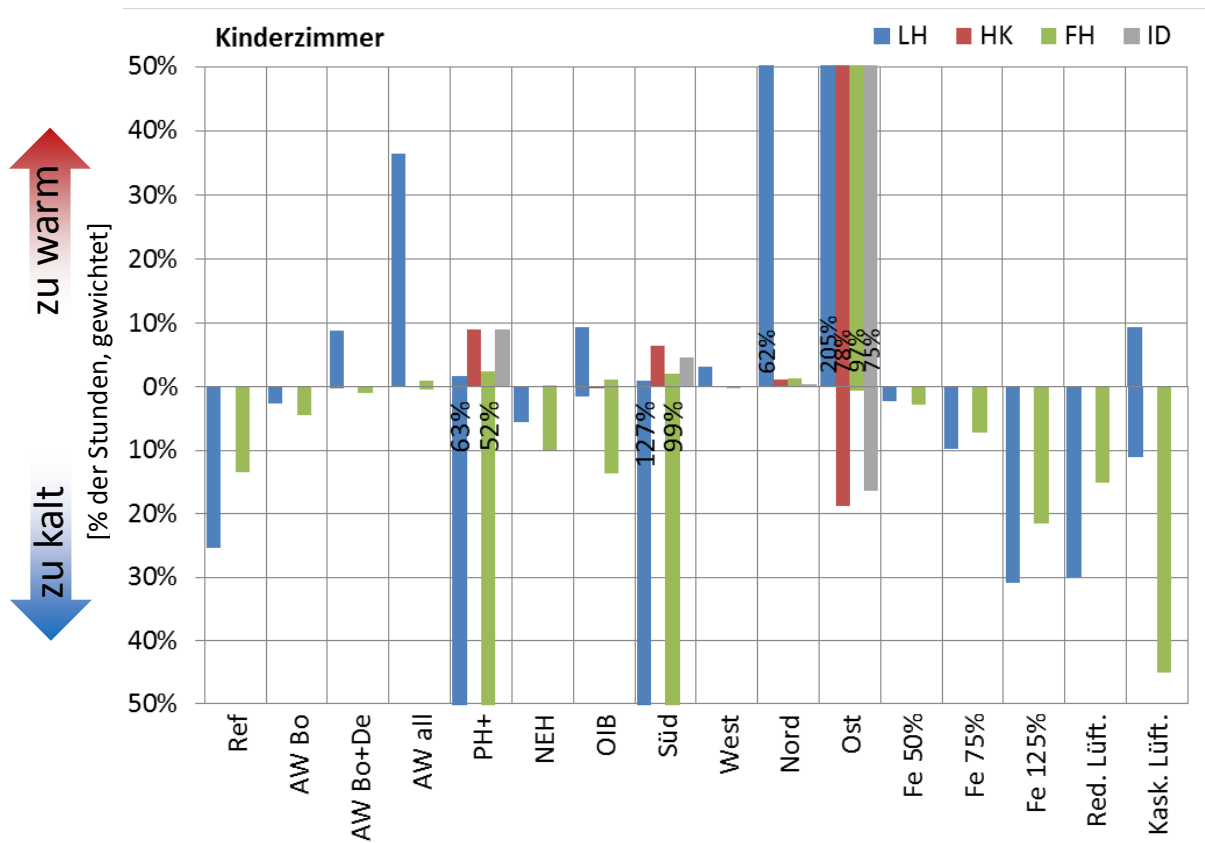


Abbildung 26: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer

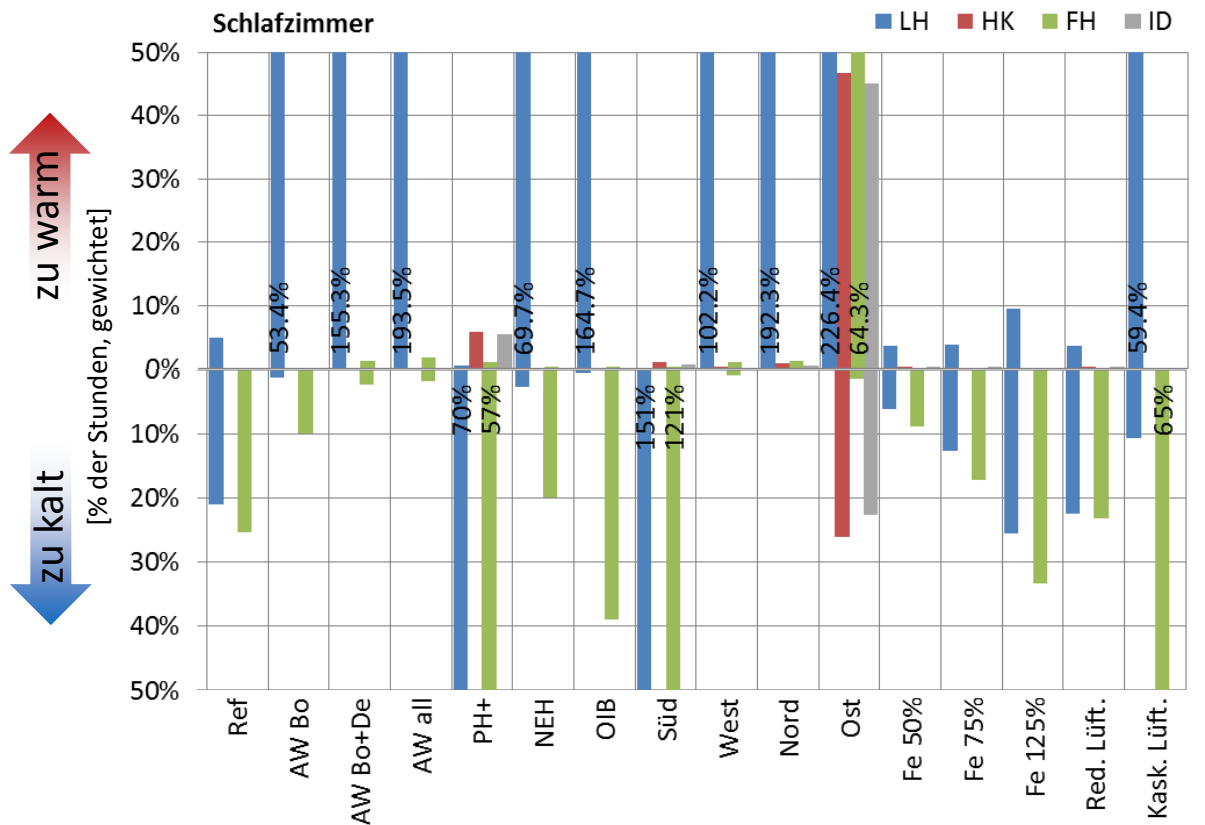
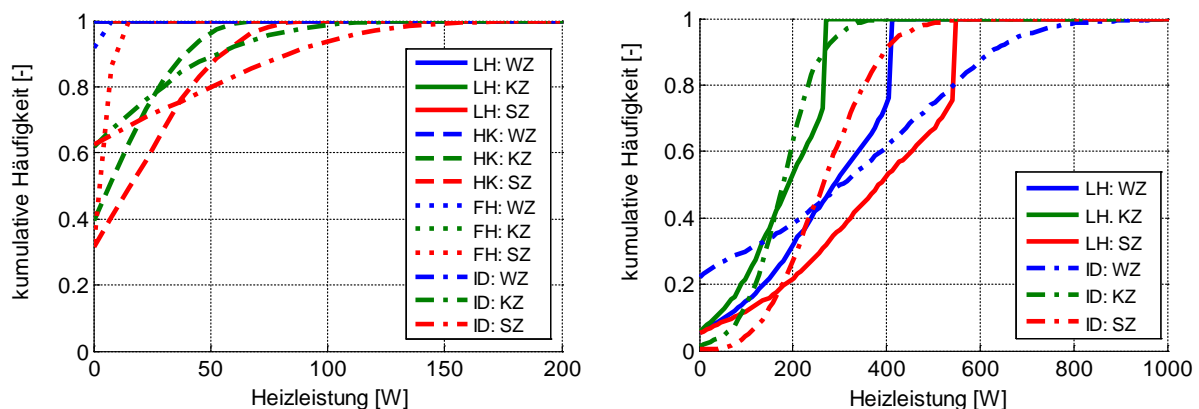


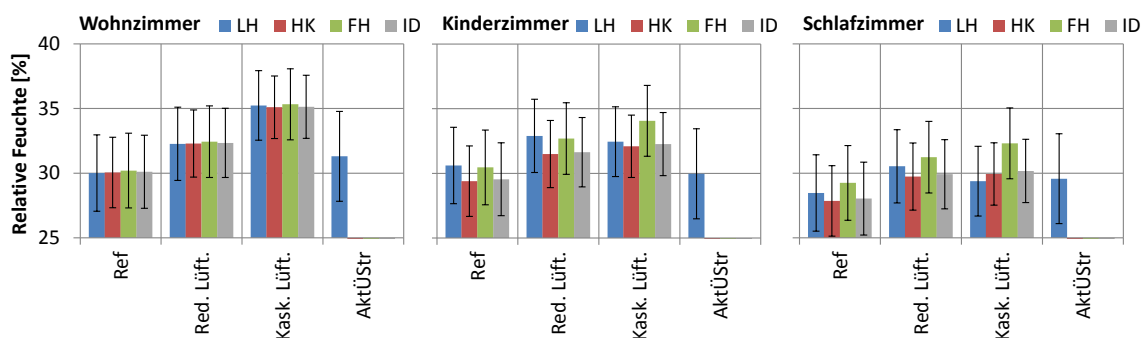
Abbildung 27: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer

Was überrascht, ist der Umstand, dass Ausführungsvarianten die das Heizlastkriterium für die Luftheizung (10 W/m<sup>2</sup>) deutlich überschreiten (wie z.B. die Variante OIB), dennoch keine nennenswerten Untertemperaturen aufweisen. Man erkennt jedoch in Abbildung 28 (rechts), dass die Luftheizung im Fall „OIB“ in fast 30% der Zeit auf maximaler Leistung läuft und dass die Heizlast des Wohnzimmers mit der Wohnzimmer-Zuluft eigentlich nicht bedient werden kann (Vergleich mit Idealheizung). Dass die Solltemperatur von 22°C im Wohnzimmer im Mittel dennoch eingehalten werden kann, liegt wohl an der Trägheit des Gebäudes und der Überheizung des Schlafzimmers. Es sei angemerkt, dass die Einhaltung der Solltemperatur nicht allein für die Erfüllung der Behaglichkeitskriterien ausreicht (Temperaturschichtung, Strahlungstemperatur-Asymmetrie, siehe Abschnitt 3.3.2).



**Abbildung 28: Heizleistungsverteilung für den Fall „PH+“ (links) und „OIB“ (rechts).** Da das Wohnzimmer (und somit der Gang immer auf oder über Solltemperatur ist, schaltet sich die Heizung nie zu (links). Als Folge bleibt das Schlaf- und Kinderzimmer unter der Solltemperatur. Im Fall des schlechter gedämmten Gebäudes läuft die Luftheizung während ca. 25% der Zeit auf Maximalleistung (rechts). Die Solltemperatur im Wohnzimmer/Flur kann im Mittel zwar erreicht werden, aber vor allem das Schlafzimmer wird stark überheizt. Am Fall der Idealheizung (ID) erkennt man die eigentlich erforderliche Heizleistungsverteilung um die Solltemperatur zu erzielen.

### 3.3.1.6 Relative Luftfeuchtigkeit



**Abbildung 29: Relative Feuchte im Wohn-, Kinder- und Schlafzimmer für verschiedene Lüftungskonzepte.**

Bei gleichen Feuchtequellen und Feuchtesenken ist der Feuchtegehalt in der Raumluft unabhängig vom Heizsystem. Dabei wurde unterstellt, dass der Einfluss unterschiedlicher Feuchtepufferwirkungen von Bauteilen oder Möbeln aufgrund der leicht unterschiedlichen konvektiven oder radiativen Bedingungen vernachlässigt werden kann (davon ist auszugehen). So sind die Unterschiede in den Simulationsergebnissen der relativen Feuchte nur abhängig von der Außenluftwechselrate und der Lufttemperatur (siehe Abbildung 29). Es



stellt sich daher die Frage ob ein Wärmeabgabesystem evtl. nicht mit einem möglichen (luftwechselärmeren) Lüftungskonzept kompatibel ist. Es wird deshalb exemplarisch der Referenzfall mit einer „vereinfachten“ Bedarfslüftung (Reduktion der Zuluftmenge um 50% zwischen 8 und 22 Uhr) und einer erweiterten Kaskadenlüftung (keine Zuluft ins Wohnzimmer, ergibt eine dauerhafte Reduktion um 50%) betrachtet. Abbildung 25 bis Abbildung 27 zeigt, dass nur im Fall der Kaskadenlüftung das Schlafzimmer mit merkbar mehr Übertemperaturstunden betroffen ist. Die Analyse der Heizlasten zeigt, dass auch in den Fällen mit reduzierter Zuluft die verfügbare Heizleistung ausreichend ist. Mit einer Einzelraumregelung könnte das Übertemperaturproblem im Schlafzimmer im Fall der Kaskadenlüftung gelöst werden (siehe Abschnitt 3.3.1.10).

Somit konnte gezeigt werden, dass auch bedarfsgeregelte Lüftungskonzepte mit Zuluftheizung realisiert werden können.

### **3.3.1.7 Aufheiz- und Regelverhalten**

Um mögliche Unterschiede im Aufheizverhalten zu untersuchen, wurde im ersten Simulationsjahr eine Aufheizphase mit vorhergegangener Heizpause simuliert. Vom 1. September bis 30. November war die Solltemperatur auf 12°C gestellt und die Heizung somit (quasi) ausgeschaltet. Ab 1. Dezember wurde die Solltemperatur wieder auf 22°C gestellt. In den folgenden Diagrammen (Abbildung 30 bis Abbildung 33) erkennt man die Aufheizdauer und den zugehörigen Verlauf der Heizlast. Da in einem Passivhaus die Innenraumtemperatur auch ohne Heizsystem nicht stark sinkt, starten die Diagramme bei einer operativen Temperatur von ca. 15,5°C und erreichen generell bereits nach wenigen Stunden eine operative Temperatur von 18°C. Eine Idealheizung ohne Leistungslimitierung würde die Solltemperatur natürlich innerhalb der ersten Stunde (=Ausgabeintervall) erreichen. Die zugehörige Heizleistung ist den Diagrammen nicht dargestellt, da diese >4000 W beträgt. Für den Referenzfall (Wohnzimmer siehe Abbildung 30, Schlafzimmer siehe Abbildung 32) übersteigt die Wohnzimmertemperatur nach ca. 12 Stunden erstmals die 20°C Grenze bei allen drei Varianten (Luft-, Heizkörper und Fußbodenheizung). Der schnelle Anstieg ist auch den solaren Gewinnen zu verdanken. Bei der Fußbodenheizung, steigt die abgegebene Heizleistung aufgrund der Trägheit langsam an. Erst nach ca. einem Tag erreicht sie Werte nahe der Auslegungs-Heizleistung von 320 W. Dadurch ergeben sich merkbare Verzögerungen im Aufheizverhalten gegenüber Luft- und Heizkörperheizung. Diese verhalten sich anfangs fast ident, da die über Luft übertragbare mit der von den Heizkörpern abgegebenen Heizleistung übereinstimmt. Mit steigender Raumtemperatur sinkt die Heizleistung der Heizkörper aufgrund der sinkenden Temperaturdifferenz zwischen Heizfläche und Luft-/Strahlungsknoten. Dadurch ergibt sich ein etwas schnelleres Aufheizerhalten der Luftheizung im Wohnzimmer (Abbildung 30).

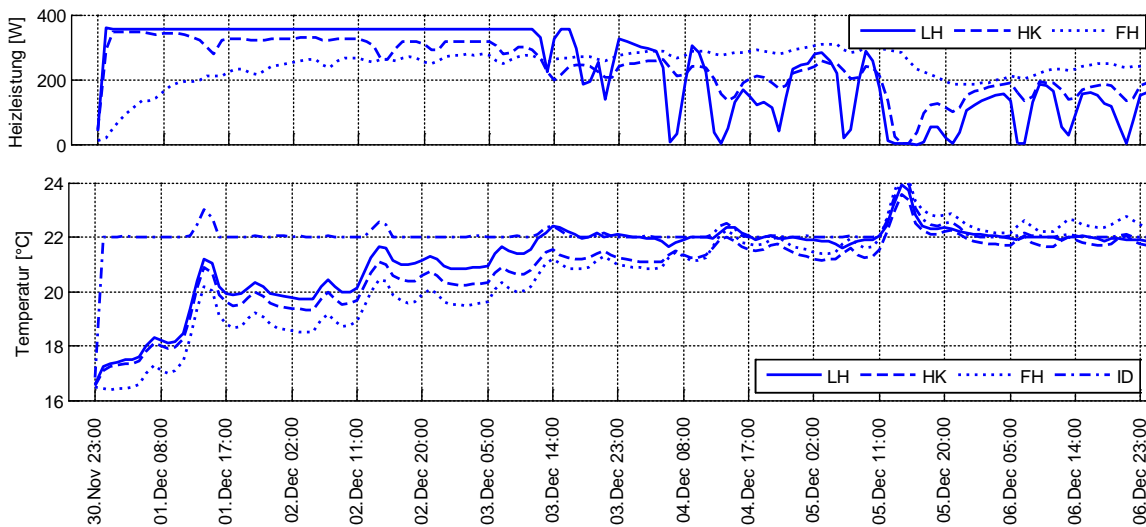


Abbildung 30: Aufheizverhalten des Wohnzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für Referenzfall

Da in der Baupraxis die Heizflächen aber typischerweise im Vergleich zur Heizlast „überdimensioniert“ werden, ist in Abbildung 31 der Vergleich nochmal für 1,5-fach größere ausgelegte Heizflächen abgebildet. Hier stellt sich die Heizkörperlösung als die „schnellste“ Lösung dar. Die Unterschiede sind aber sehr gering und die 20°C werden im Wohnzimmer fast unabhängig vom Wärmeabgabesystem nach ca. einem halben Tag, die 22°C nach ca. 2,5 Tagen erreicht. In Abbildung 32 ist der Aufheizverlauf auch für das Schlafzimmer (mit dicken Linien für den „überdimensionierten“ Heizflächen) dargestellt. Aufgrund des hygienisch bedingten Luftwechsels (40 m<sup>3</sup>/h) ist hier auch die Luftheizung von der maximalen einbringbaren Heizleistung im Vergleich zur Auslegungsheizlast deutlich „überdimensioniert“. Die gewünschten 22°C sind schon nach gut 24 Stunden erreicht, es kommt aber zu einer deutlichen Überwärmung des Schlafzimmers.

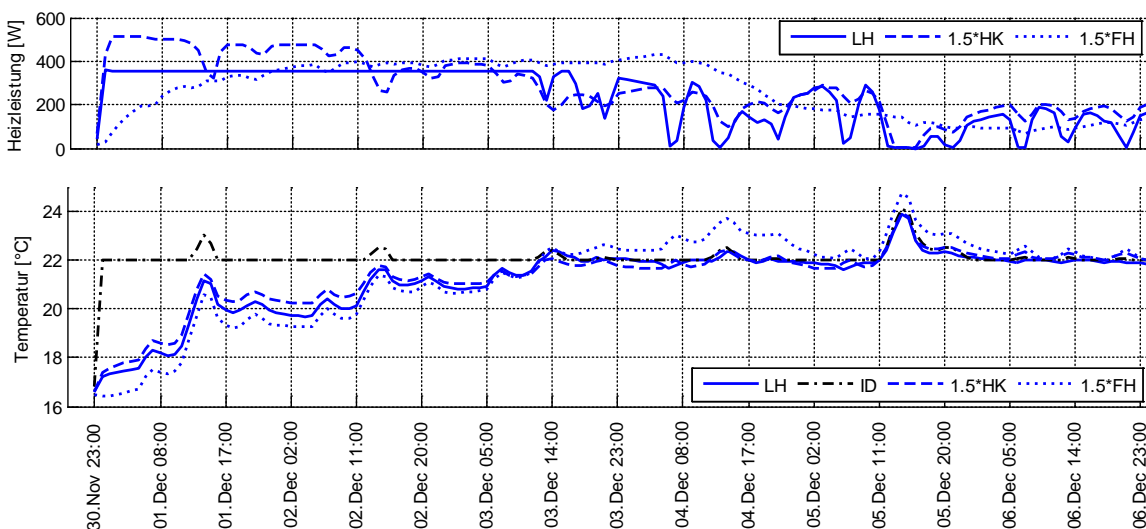


Abbildung 31: Aufheizverhalten des Wohnzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für Referenzfall aber mit 1,5-facher Heizleistungs-Auslegung (480 W statt 300 W) für Heizkörper und Fußbodenheizung. Dies soll die in der Realität oft umgesetzte „Überdimensionierung“ der Heizflächen abbilden.

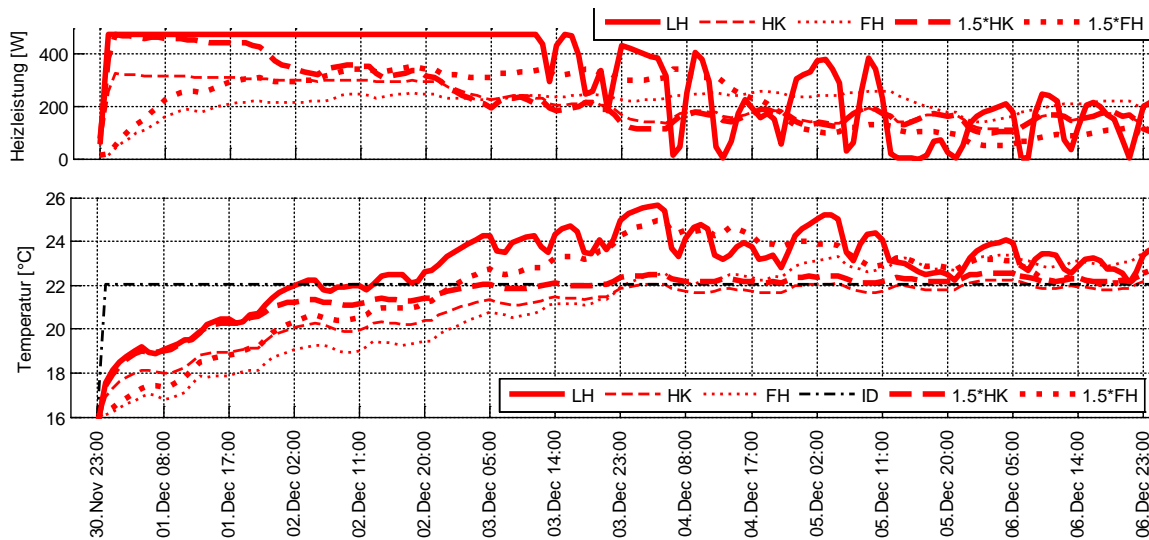


Abbildung 32: Aufheizverhalten des Schlafzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für Referenzfall. Neben der Original Heizleistungsauslegung für Heizkörper und Fußbodenheizung mit 300 W wurde die Aufheizkurve auch für den Fall mit 1,5-facher Heizleistung abgebildet.

Abbildung 33 zeigt das Aufheizverhalten für eine Wohnung mit erhöhtem Heizwärmebedarf (aufgrund eines erhöhten Außenwandanteils). Die Heizflächen wurden der erhöhten Heizlast angepasst, die maximal übertragbare Heizleistung der Luftheizung ist nun deutlich geringer als die der Heizflächen (HK und FH). Als Folge benötigt das luftbeheizte Wohnzimmer ca. einen Tag länger um die 20°C operative Temperatur zu erreichen. Das Erreichen der 22°C Grenze ist, aufgrund einer solar-bedingten (zufälligen) Temperaturspitze, wiederum fast zeitgleich.

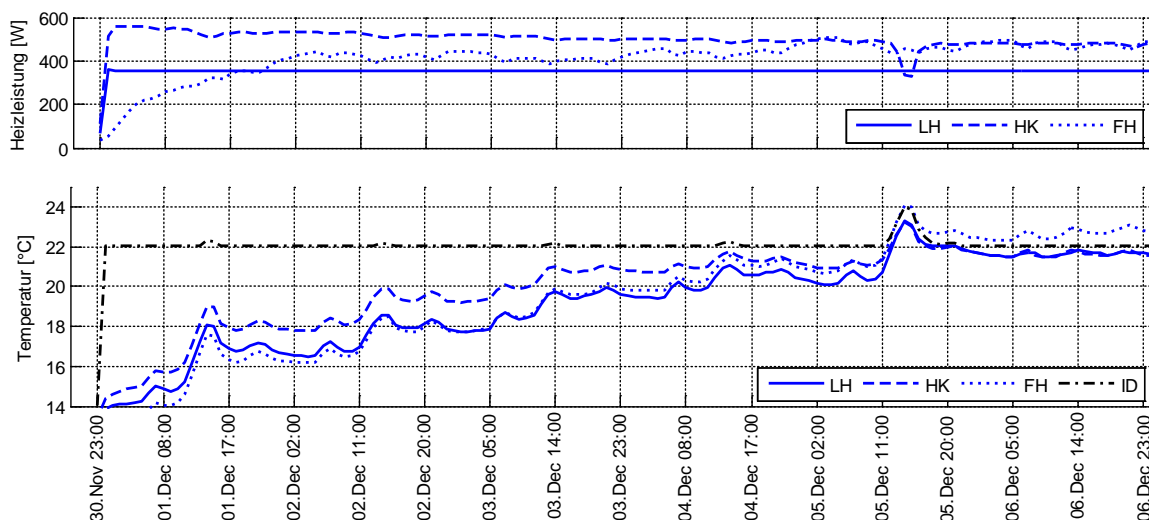


Abbildung 33: Aufheizverhalten des Wohnzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für den Fall mit „oben und unten“ Außenwandflächen. Die Heizflächen wurden der Heizlast dieses Falls angepasst (480 W), aber nicht „überdimensioniert“.

Betrachtet man die Temperaturverläufe bei einer plötzlichen Änderung der internen Last, kann man regel-bedingte Unterschiede darstellen. Abbildung 34 zeigt die Verläufe der operativen Temperatur- und Heizeinträge bei einer sprunghaften Erhöhung der internen Wärmequellen im Wohnzimmer. Während die Luftheizung und die Heizkörper sehr schnell reagieren können und die Heizleistung auf 0 reduzieren, fällt bei der Fußbodenheizung der

Heizeintrag nur sehr langsam ab. Die sich ergebenden Temperaturunterschiede sind aber minimal (Vergleiche HK und FH in Abbildung 34), da der Temperaturanstieg in diesem Szenario auch solar-bedingt ist. Die Temperaturspitze für den luftbeheizten Fall fällt niedriger aus, da ein größerer Wärmestrom in das kühlere Schlafzimmer abfließen kann, und hängt somit wieder mit der wohnungsweisen Regelung der Luftheizung zusammen.

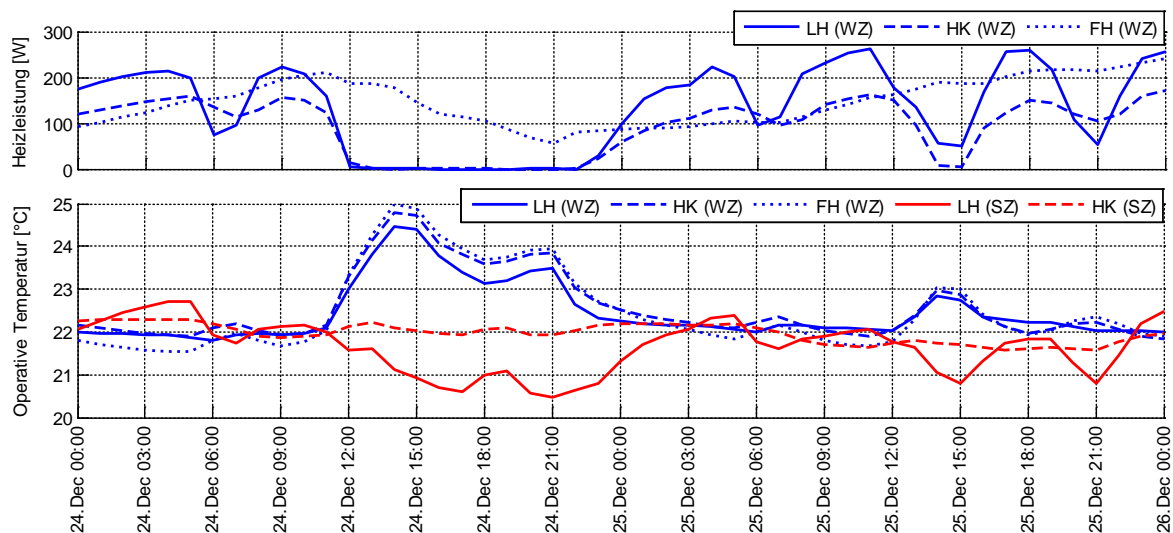


Abbildung 34: Regelverhalten bei sprunghafter Erhöhung der internen Wärmequellen (+500W zwischen 12 Uhr und 22 Uhr am 24. Dez.) im Wohnzimmer.

Fasst man die Ergebnisse in Bezug auf Aufheiz- und (zeitliches) Regelverhalten zusammen, kann gesagt werden, dass für die untersuchten Szenarien in der Praxis keine nennenswerten Vor- bzw. Nachteile zwischen den Wärmeabgabesystemen zu erwarten sind. Die Aufheizzeit ist maßgeblich von der zur Verfügung stehenden Heizleistung ab. Aufgrund der geringen Heizlast eines Passivhauses sind die (über das Wärmeabgabesystem) einbringbaren Wärmemengen im Vergleich zu den thermischen Speichermassen gering. Das bedeutet wiederum, dass es einer sehr großen „Überdimensionierung“ der Heizflächen bedürfte um eine deutliche Verkürzung der Aufheizzeit zu erzielen. Da ein Passivhaus aber auch sehr langsam und nicht so stark auskühlt, sind die Aufheizzeiten auch für „niedrig“ ausgelegte Heizleistungen nicht sehr lange. Die niedrige Heizlast eines Passivhauses zeigt sich auch verantwortlich für die Beobachtung, dass die unterschiedliche Trägheit/Zeitkonstante der Wärmeabgabesysteme kaum eine Rolle spielt. Die Trägheit/Zeitkonstante des zu beheizenden Raums ist um ein vielfaches höher, sodass regel-bedingte Unterschiede (wie z.B. das verzögerte Runterregeln bei der FH) kaum Auswirkungen im Temperaturverlauf zeigen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Luftheizung bei Anheizvorgängen keinen prinzipiellen Nachteil gegenüber wassergeführten Systemen aufweist, generell sollte aus Komfortgründen auf die winterliche mehrwöchige Auskühlung verzichtet werden, wenn auf rasches Erreichen der Komforttemperatur Wert gelegt wird.

### **3.3.1.8 Möglichkeiten zur Vermeidung von Unter- bzw. Übertemperaturen bei einer Luftheizung mit wohnungsweiser Regelung**

Der vorige Abschnitt befasste sich mit dem „zeitlichen Regelungsverhalten“ einzelner Räume. Die Abschnitte 3.3.1.1 bis 3.3.1.5 haben gezeigt, dass es zu Unterschieden im „räumlichen Regelungsverhalten“ kommen kann. Dieses Unterkapitel widmet sich der Frage ob und wie sich die oben gezeigten Abweichungen zwischen Soll- und Ist-Temperatur aufgrund einer wohnungsweisen Regelung mit geringem Zusatzaufwand vermeiden bzw. verringern ließen.

- Massive Innenwände

Zimmer-Trennwände werden heute in Österreich typischerweise in Leichtbauweise ausgeführt. Im Modell wurde eine doppelbeplankte Gipskartonständerwand (10 cm Mineralwolle) mit einem U-Wert von ca.  $0.4 \text{ W/m}^2\text{K}$  angenommen. Aufgrund des geringen U-Wertes ist die thermische Kopplung zwischen den Räumen bei geschlossenen Zimmertüren entsprechend gering. Es stellt sich die Frage inwieweit eine Ausführung der Innenwände in Massivbauweise eine merkbare Erhöhung der thermischen Kopplung mit sich bringt. Um das Potential dieser Maßnahme auszuloten wurde eine massive 12 cm dicke Betonwand für alle wohnungsinternen Trennwände angenommen.

Wie auch in schon (Schnieders, 2004a) für den Fall eines Reihenendhauses festgestellt, spielt der Wärmetransport durch die Innenwände im Vergleich zum Einfluss der Innentüröffnungsdauer eine untergeordnete Rolle. Es kann daher erwartet werden, dass eine massive Innenwandbauweise nur begrenzt Temperaturdifferenzen zwischen Räumen verringern kann.

- Tür zwischen Flur und Wohnzimmer

Wie oben festgestellt, sind die Über- und Untertemperaturen in Schlaf- und Kinderzimmer auf eine wohnungsweise Regelung zurückzuführen. Im Simulationsmodell wurde der Temperaturfühler in der Flur-Zone platziert. Dieser lieferte den Mittelwert aus Luft- und Strahlungstemperatur an die Regelung zurück. Im Referenzmodell wurde (wie im Original Grundriss dargestellt) angenommen, dass es keine Abtrennung zwischen Flur- und Wohnbereich gibt und dass ein entsprechend starker Luft- und somit Wärmeaustausch zwischen diesen beiden Zonen stattfindet. Aufgrund der starken Kopplung des Reglers an die Wohnzimmertemperatur, wurde das Schlafzimmer überbeheizt wenn das Wohnzimmer „abkühlte“, bzw. das Schlafzimmer (Kinderzimmer) unterbeheizt falls das Wohnzimmer aufgrund von solaren/internen Gewinnen keinen Wärmebedarf „meldete“. Um den Temperaturfühler und somit die wohnungsweise Regelung weniger stark an das Wohnzimmer und stärker an die Schlafräume zu koppeln, wurde eine Trennung zwischen Flur und Wohnzimmer angenommen. Die Öffnung dieser Tür wurde entsprechend der Öffnungsdauer der Schlaf- und Kinderzimmertür angenommen.

- Bypass des Heizregisters für Schlaf- und/oder Kinderzimmerzuluft

Gerade für die oben gezeigten Fälle mit resultierenden Übertemperaturen im Schlaf- und evtl. im Kinderzimmer stellt sich die Frage inwieweit ein einfacher Bypass des Heizregisters für den entsprechenden Schlafraum Abhilfe schaffen könnte. In (Schnieders, 2004c) wurde für den Fall eines Reihenendhauses bereits gezeigt, dass mit Hilfe eines Heizregister-Bypasses die Schlafzimmertemperatur im Mittel 17,5°C beträgt (bei Temperaturen im restliches Haus um die 20°C). In dieser Studie wurde außerdem der Einfluss eines „partiellen“ Heizregister-Bypasses untersucht (Helmut Schöberl et al., 2010).

- Ungedämmte Zuluftleitungen (innerhalb der Wohneinheit)

Es wurde untersucht inwieweit ungedämmte Zuluftleitungen den Wärmeeintrag in die Zulufräume (vor allem Schlafzimmer) verringern und Übertemperaturen somit entschärfen können.

- Raumweise Regelung

Wie genau eine raumweise geregelte Luftheizung die Solltemperaturen einhalten könnte, wurde ebenfalls dargestellt.

Es wurde jeweils ein Szenario mit vielen Über- bzw. Untertemperaturstunden herausgegriffen, um die Wirksamkeit der aufgeführten potentiellen Maßnahmen zu testen. Der Fall mit Südorientierung der Wohnzimmerfassade zeigte im Schlaf- und Kinderzimmer eine starke Tendenz zur Untertemperatur, der Fall mit Westorientierung der Wohnzimmerverglasung zeigte hingegen deutliche Übertemperaturprobleme im Schlafzimmer.

Abbildung 35 zeigt die Simulationsergebnisse für das Untertemperatur-Szenario. Mit Ausnahme der raumweisen Regelung kann keine der oben beschriebenen Maßnahmen die Untertemperaturen im Schlafzimmer nennenswert reduzieren. Die Bypass Szenarien erhöhen die Untertemperatur-Häufigkeit sogar. Der Vollständigkeit halber wird in Abbildung 35 auch die Temperaturverteilung im Wohnzimmer gezeigt. Aufgrund der höheren (auf Solltemperatur geführten) Schlaf- und Kinderzimmertemperatur wirken sich die solaren Gewinne im Wohnzimmer stärker aus und es ergeben sich (bei der Süd-Orientierung) mittlere Temperaturen >22°C. Dies ist auch bei der Heizkörper- und Idealheizung im selben Ausmaß zu beobachten.

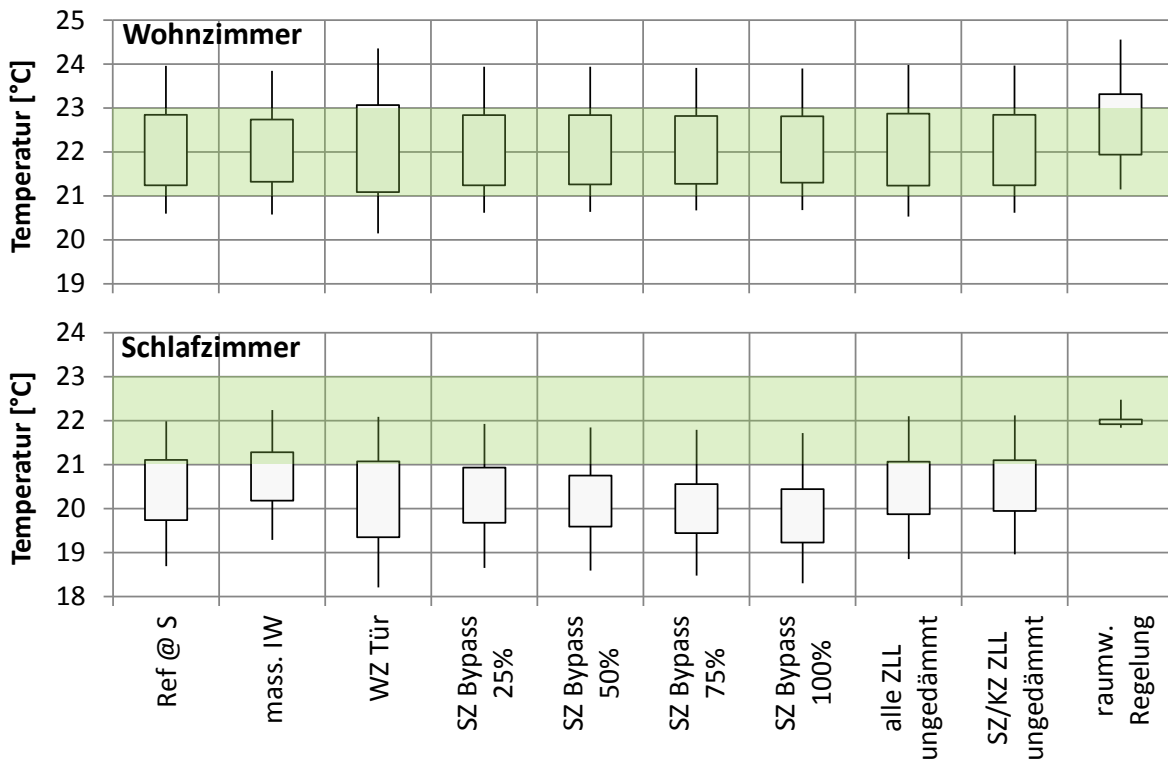


Abbildung 35: Szenario mit Untertemperaturen im Schlafzimmer bei wohnungsweiser Regelung (Süd Orientierung). Boxplot der operativen Temperaturverteilung bei verschiedenen möglichen Maßnahmen.

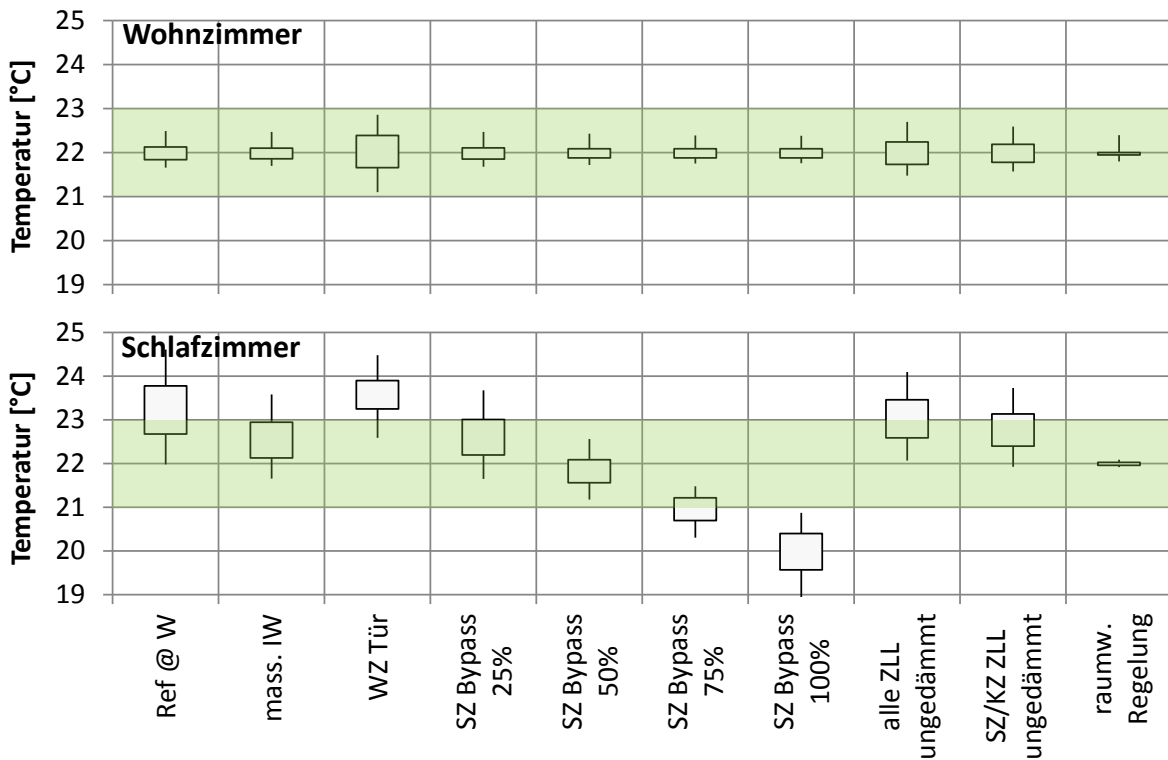


Abbildung 36: Szenario mit Übertemperaturen im Schlafzimmer bei wohnungsweiser Regelung (West Orientierung). Boxplot der operativen Temperaturverteilung bei verschiedenen möglichen Maßnahmen.

Beim Übertemperatur-Szenario zeigen sich einige der beschriebenen Maßnahmen als wirkungsvoll (Abbildung 36). Die Ausführung mit massiven Innenwänden, mit ungedämmten Zuluftleitungen ins Schlaf- und Kinderzimmer oder mit einem Heizregister-Bypass helfen die Übertemperaturhäufigkeit im Schlafzimmer maßgeblich zu reduzieren. Jedoch muss bei der

Bypass-Lösung der „passende“ Bypass-Anteil eingestellt werden. Dafür wäre z.B. eine manuell einstellbare Bypass-Klappe denkbar. Eine raumweise geregelte Luftheizung könnte die Solltemperaturvorgaben wieder fast punktgenau erfüllen. Dafür wäre jeweils ein eigenes Heizregister mit Temperatursensor und Regelventil erforderlich. Die Kosten dafür sind in Kap. 3.4.3.3 abgeschätzt. Eine andere Möglichkeit eine raumweise Temperaturregelung (mittels Heizregister-Bypass und sogenannten „Mischboxen“) umzusetzen wurde in einem Forschungsprojekt (Helmut Schöberl et al., 2010) untersucht. Die angegebenen Kosten pro Raum lagen mit 700 € pro Raum deutlich über den zu erwartenden Kosten für eine Lösung mit separatem Heizregister.

### 3.3.1.9 Luftheizung mit raumweiser Regelung

Die oben gezeigten Ergebnisse (in Abschnitt 3.3.1.1 bis 3.3.1.3) legen nahe, dass eine raumweise Temperaturregelung die Über- und Untertemperaturen im Schlaf- und Kinderzimmer deutlich reduzieren könnte. Ob und inwieweit dies auch für eine Luftheizung zutrifft wird im Folgenden für den Referenzfall und für ausgewählte Szenarien (mit hoher Unter- oder Übertemperaturhäufigkeit) näher untersucht.

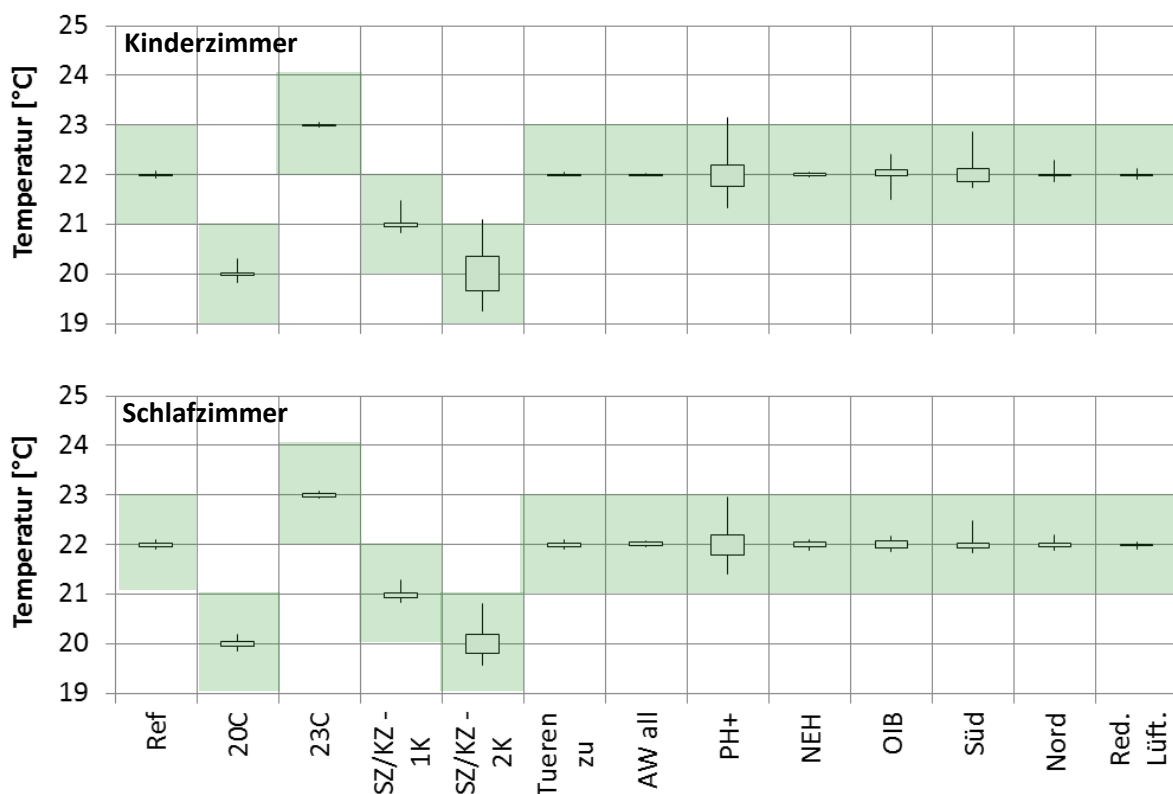


Abbildung 37: Boxplot der operativen Temperaturverteilung im Kinder- und Schlafzimmer für eine Luftheizung mit raumweiser Regelung für verschiedene Szenarien.

Die Simulationsergebnisse (Abbildung 37) zeigen eindrücklich, dass sich in allen untersuchten Fällen die Untertemperaturstunden in Schlaf- und Kinder auf null reduzieren. Es gibt lediglich drei Fälle mit wenigen Übertemperaturstunden (alle <10%) im Schlaf- und Kinderzimmer. Dies ist auf den sehr geringen Heizwärmebedarf (siehe Abbildung 38) in



diesen Fällen zurückzuführen. Sie besaßen auch beim Heizkörpersystem eine ganz ähnliche Anzahl an Übertemperaturstunden (siehe z.B. Abbildung 26 und Abbildung 20).

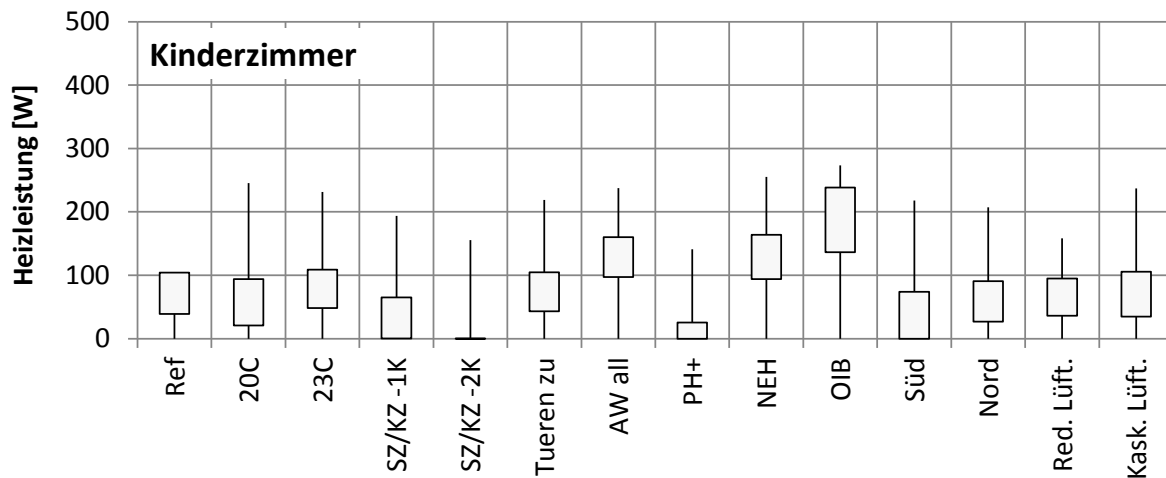


Abbildung 38: Boxplot der in das Kinderzimmer eingebrachten Heizleistung (Stundenmittelwerte). Dargestellt ist das Maximum / oberes Quartil / unteres Quartil / Minimum der Verteilung (obere Antenne / oberer Boxrand / unterer Boxrand / untere Antenne).

Im Wohnzimmer bleiben die Übertemperaturstunden im Vergleich zur wohnungsweisen Regelung für die meisten Fälle auf ähnlichem Niveau erhalten. Einzig für den Fall „PH+“ und „Süd“ ergibt sich, wie auch bei der Heizkörperheizung, eine deutlich höhere Anzahl an Übertemperaturstunden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nun kein maßgeblicher Wärmefluss vom Wohnzimmer in die anderen Räume stattfindet, da diese aufgrund der raumweisen Regelung genau auf 22°C gehalten werden. Betrachtet man den „Boxplot“ der Heizleistungsverteilung des Wohnzimmers (Abbildung 39), erkennt man in welchen Fällen die Untertemperaturstunden in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** auf fehlende Heizleistung zurückzuführen sind. Bei jenen Szenarien mit einem spezifischen Heizwärmebedarf weit jenseits der 15 kWh/m<sup>2</sup>a, nämlich „AW all“ (fast nur Aussenwände) und „OIB“ (verringerte Effizienz der Gebäudehülle und der Wärmerückgewinnung), fällt das obere Quartil mit der maximal einbringbaren Heizleistung zusammen, d.h. die Heizung „fährt oft auf Anschlag“. Es sei angemerkt, dass die maximal einbringbare Heizleistung im Fall „OIB“ und „NEH“ höher ist, da der niedriger angenommene Wärmerückgewinnungsgrad der Lüftungsanlage eine niedrigere Zulufttemperatur nach Wärmeübertrager zur Folge hat. Dies bedeutet wiederum eine höhere mögliche Temperaturerhöhung (bis 52°C) und somit eine höhere maximal mögliche Heizleistung.

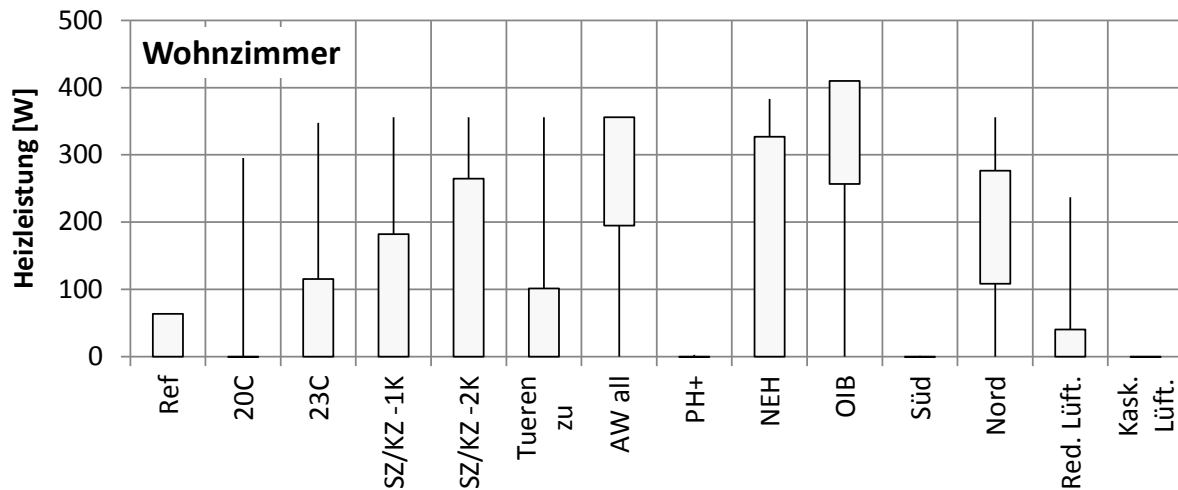


Abbildung 39: Boxplot der in das Wohnzimmer eingebrachten Heizleistung (Stundenmittelwerte). Dargestellt ist das Maximum / oberes Quartil / unteres Quartil / Minimum der Verteilung (obere Antenne / oberer Boxrand / unterer Boxrand / untere Antenne).

### 3.3.1.10 Verschiedene Lüftungskonzepte in Kombination mit Luftheizung mit raumweiser Regelung

Die Ergebnisse im vorigen Abschnitt haben gezeigt, dass mit einer raumweisen geregelten Luftheizung die Temperaturwünsche gut erfüllt werden können. Es stellt sich die Frage inwieweit sich auch ein vom Referenzfall abweichendes Lüftungskonzept realisieren ließe. Konkret wurde eine vereinfacht modellierte Bedarfslüftung und die erweiterte Kaskadenlüftung (keine Zuluft im Wohnzimmer) im Simulationsmodell implementiert. Die Bedarfslüftung wurde durch eine Reduktion der Luftmenge von 90 m<sup>3</sup>/h auf 60 m<sup>3</sup>/h zwischen 8 und 22 Uhr realisiert. Zwecks einfacher Modellierung wurde die maximale Heizleistung durchgehend (0-24h) um den Faktor 6/9 reduziert werden. Die Ergebnisse stellen somit eine „konservative“ Abschätzung einer möglichen Kombination Luftheizung – Bedarfslüftung dar. Eine zeitabhängige Anpassung der maximalen Heizleistung wäre mit deutlich mehr Modellierungsaufwand verbunden gewesen. Bei der erweiterten Kaskadenlüftung wurde die Zuluft im Wohnzimmer (30 m<sup>3</sup>/h) weggelassen, die Volumenströme ins Kinder- und Schlafzimmer blieben bei 20 bzw. 40 m<sup>3</sup>/h. Somit wurde die Gesamt-Luftwechselrate und somit auch die maximale Heizleistung dauerhaft um den Faktor 6/9 reduziert.

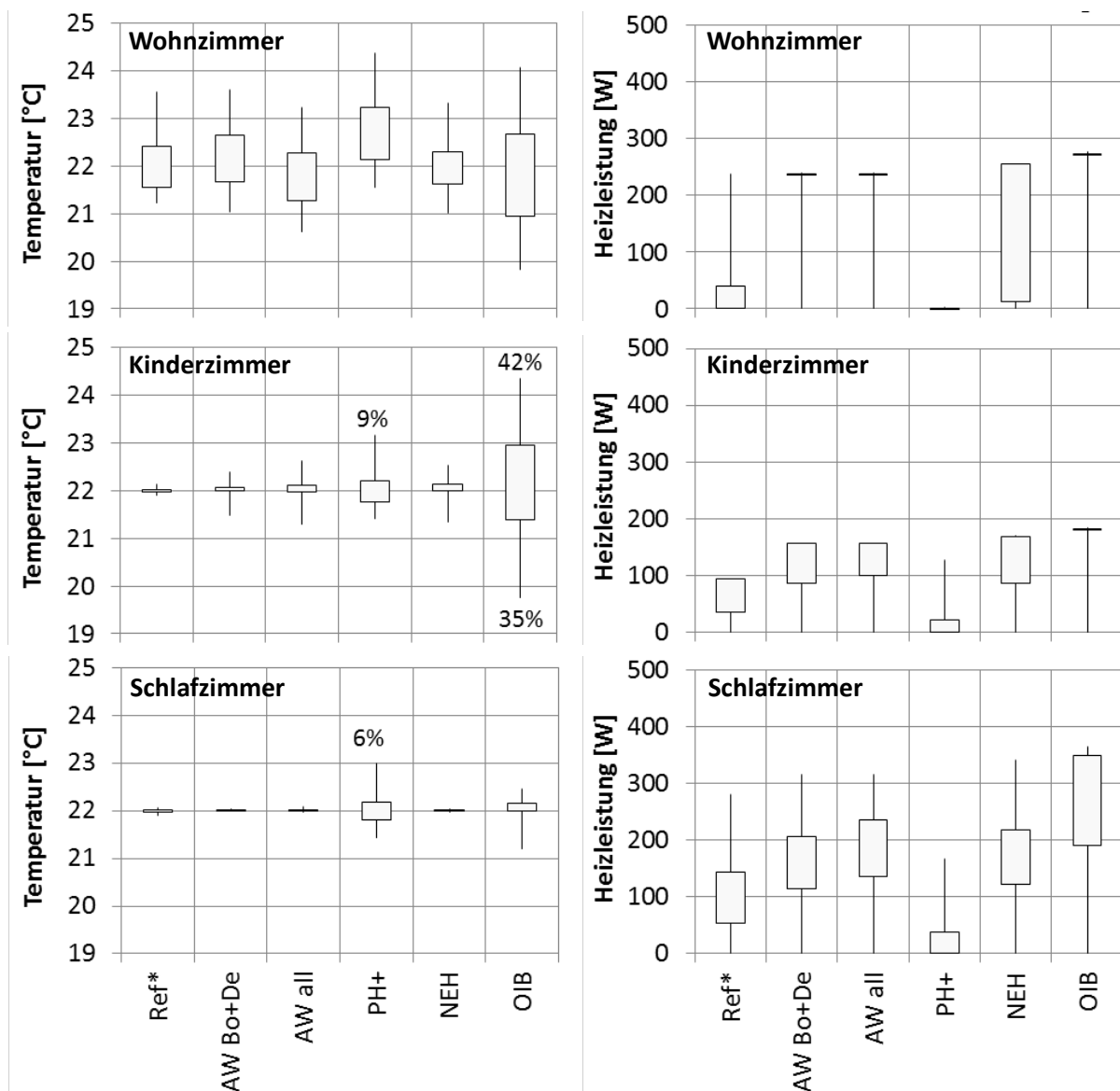


Abbildung 40: Temperatur- (P5/P25/P75/P95) und Heizleistungsverteilung (Min/P25/P75/Max) für Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer für eine Luftheizung in Kombination mit einer bedarfsgeführten (auf Luftqualität) Zuluftmenge (vereinfacht modelliert). Unter- bzw. Übertemperaturhäufigkeit >5% wurden für Kinder- und Schlafzimmer beschriftet. Dargestellt sind die Referenzausführung (Ref\*), zwei Fälle mit erhöhtem Außenwandanteil (AW Bo+De und AW all) und drei Fälle mit verschiedener Ausführungsqualitäten (PH+, NEH und OIB). Ausführungsdetails siehe Kap. 3.3.1.2.

Aufgrund der reduzierten Zuluftmenge und der damit verbundenen geringeren maximalen Heizleistung galt es zu testen ob auch für jene Randbedingungen/Szenarien mit erhöhtem Heizwärmebedarf die Heizleistung ausreichend ist. Abbildung 40 zeigt die Temperatur- und Heizleistungsverteilungen für die Fälle mit vereinfacht modellierter Bedarfslüftung. Man erkennt, dass die Temperaturen in den Fällen mit stark erhöhten Heizwärmebedarf („AW all“ und Fall „OIB“) nicht mehr so gut auf Solltemperatur gehalten werden können. Die zugehörige Verteilung der Heizleistung zeigt, dass in diesen Fällen auf fehlende Heizleistung zurückzuführen ist (vor allem im Wohnzimmer). Hier läuft die Heizung fast durchgehend auf Vollast (P25 und Max sind ident). Die Referenzausführung, aber auch eine Ausführung mit erhöhtem Heizwärmebedarf (NEH), scheinen trotz reduzierter Heizleistung noch genug Spielraum zu besitzen. Die Temperaturanforderungen können bestens eingehalten werden.

Betrachtet man die Simulationsergebnisse für die erweiterte Kaskadenlüftung (Abbildung 41) erkennt man, dass bei der Referenzausführung die Solltemperatur sogar im Wohnzimmer ganz gut eingehalten werden kann. Und dass obwohl hier keine Heizleistung zur Verfügung steht. Nicht so bei den anderen Ausführungsvarianten.

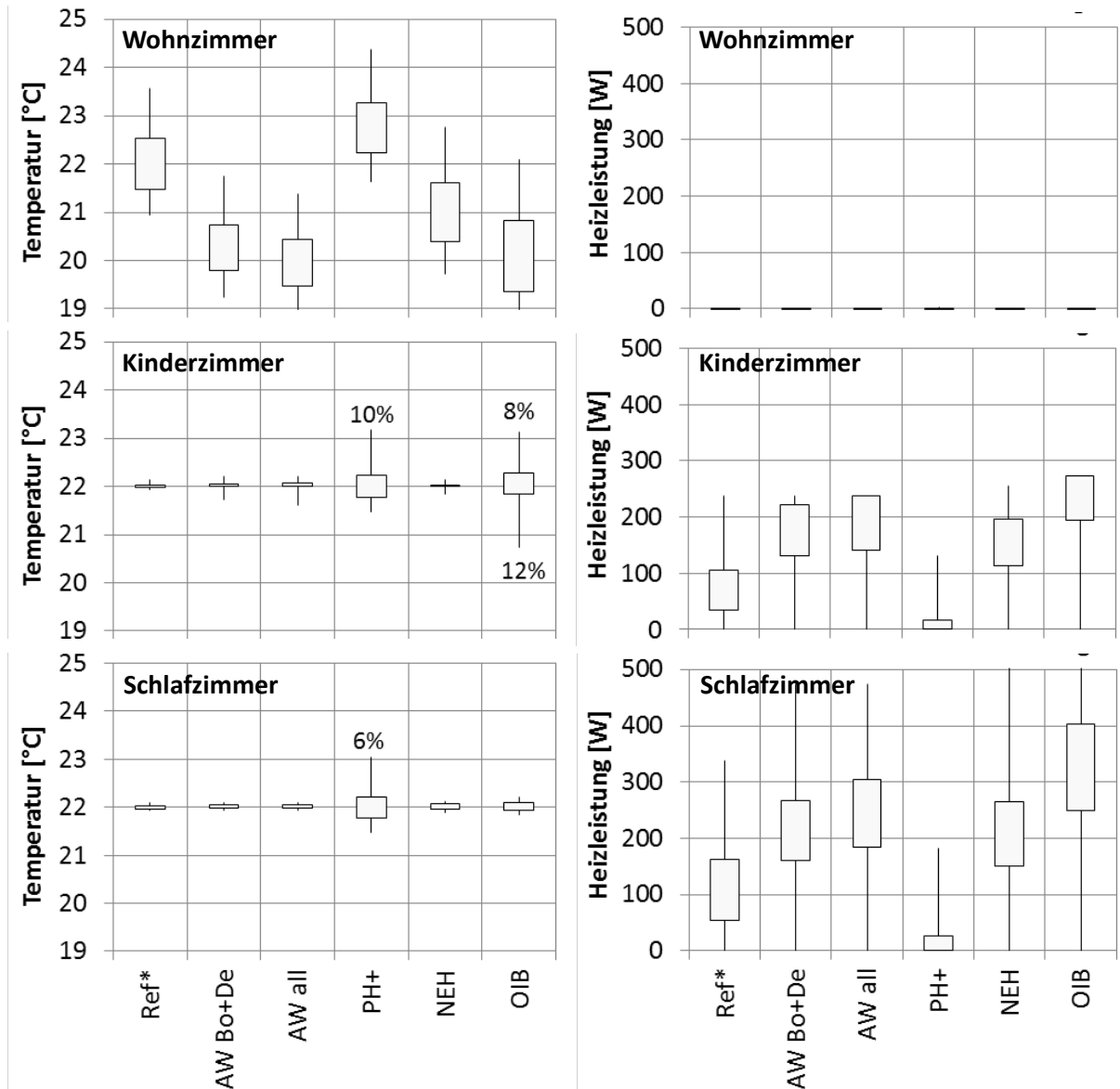


Abbildung 41: Temperatur- (P5/P25/P75/P95) und Heizleistungsverteilung (Min/P25/P75/Max) für Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer für eine Luftheizung in Kombination mit einer erweiterten Kaskadenlüftung. Unter- bzw. Übertemperaturhäufigkeit >5% wurden für Kinder- und Schlafzimmer beschriftet. Dargestellt sind die Referenzausführung (Ref\*), zwei Fälle mit erhöhten Außenwandanteil (AW Bo+De und AW all) und drei Fälle mit verschiedener Ausführungsqualitäten (PH+, NEH und OIB). Ausführungsdetails siehe Kap. 3.3.1.2.

Außerdem wurde das Heiz- und Lüftungskonzept mit aktiven Überströmgeräten mit integrierter Heizfunktion (jeweils für Schlaf- und Kinderzimmer) in der Simulation untersucht. Die Grundidee der Belüftung mit Hilfe von aktiven Überströmelementen liegt darin die Luftverteilung ohne Kanäle in der Wohnung zu bewerkstelligen. Daher ist es vor allem für die Sanierung ein interessanter Lösungsansatz [3encult, eli PHT2015]. Dabei wird die gesamte Zuluft (vom Lüftungsgerät kommend) in nur einen als „Verteiler“ wirkenden Raum (z.B. Flur oder Wohnzimmer) zugeführt. Vom „Verteillerraum“ werden die anderen Räume (Kinder-, Schlafzimmer) mit Luft versorgt. Bei geöffneten Türen erfolgt dies allein durch die natürliche

Konvektion, bei geschlossenen Zimmertüren sorgt ein Ventilator für die notwendige Überstromluft (aktiver Überströmer). Diese Idee wurde hier weitergeführt und davon ausgegangen, dass der aktive Überströmer zusätzlich mit einer Heizfunktion (z.B. mit Hilfe eines Multisplit-Gerätes) ausgestattet ist (Schema siehe Abbildung 42). Für diese Simulationsvariante wurde davon ausgegangen, dass der Gesamtvolumenstrom in die Wohnung bei 90 m<sup>3</sup>/h belassen wird und vollständig in den Wohnzimmer-Flur-Bereich geführt wird. Die aktive Überstromluft ins Kinder- bzw. Schlafzimmer wurde auf 40 bzw. 80 m<sup>3</sup>/h gesetzt. Bei dieser Einstellung würde sich nachts eine stationäre CO<sub>2</sub> Konzentration von ca. 1100 ppm (statt 1000 ppm mit Standardlüftung) im Kinder- bzw. Schlafzimmer einstellen. Dies würde eine leichte Verschlechterung der Raumluftqualität gegenüber dem Standardlüftungskonzept bedeuten. Andere Volumenstrom-Einstellungen, bei der keine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Konzentration zu erwarten ist, wären aber denkbar und möglich. Diese Optimierungsfrage zwischen Gesamtvolumenstrom und aktiven Überstromvolumenstrom in Bezug auf Raumluftqualität (Schadstoffe, Feuchte), Schall und Stromverbrauch wird in Rahmen einer derzeit laufenden Studie untersucht ("Sinfonia - Projekt Homepage," n.d.). Überströmer mit Heizfunktion, wie in Abbildung 42 dargestellt, können dagegen erst in einem künftigen Forschungsvorhaben untersucht werden.

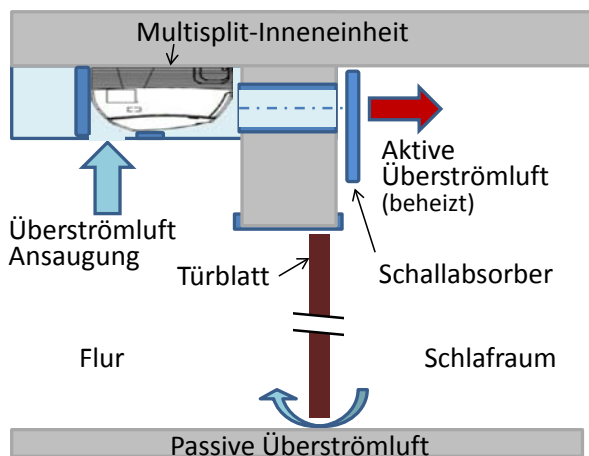


Abbildung 42: Schematische Darstellung einer möglichen Realisierung eines aktiven Überströmelements mit Heizfunktion auf Basis einer Multisplit-Inneneinheit. Belüftung und Beheizung (mit raumweiser Regelung) wird von diesem Gerät für den jeweiligen Raum abgedeckt.

Die Ergebnisse aus der dynamischen Gebäudesimulation zeigen, dass die Solltemperaturen in allen Räumen gut eingehalten werden können. Die maximal übertragbare Heizleistung (aufgrund der höheren Volumenströme deutlich höher als bei einer Standard Lüftung mit Luftheizung) wurde dabei zum Großteil der Zeit nicht ausgeschöpft. Die Heizleistungs-Limitierung würde sich bei einer solchen Ausführung eher durch die Wahl des Split-Gerätes ergeben.

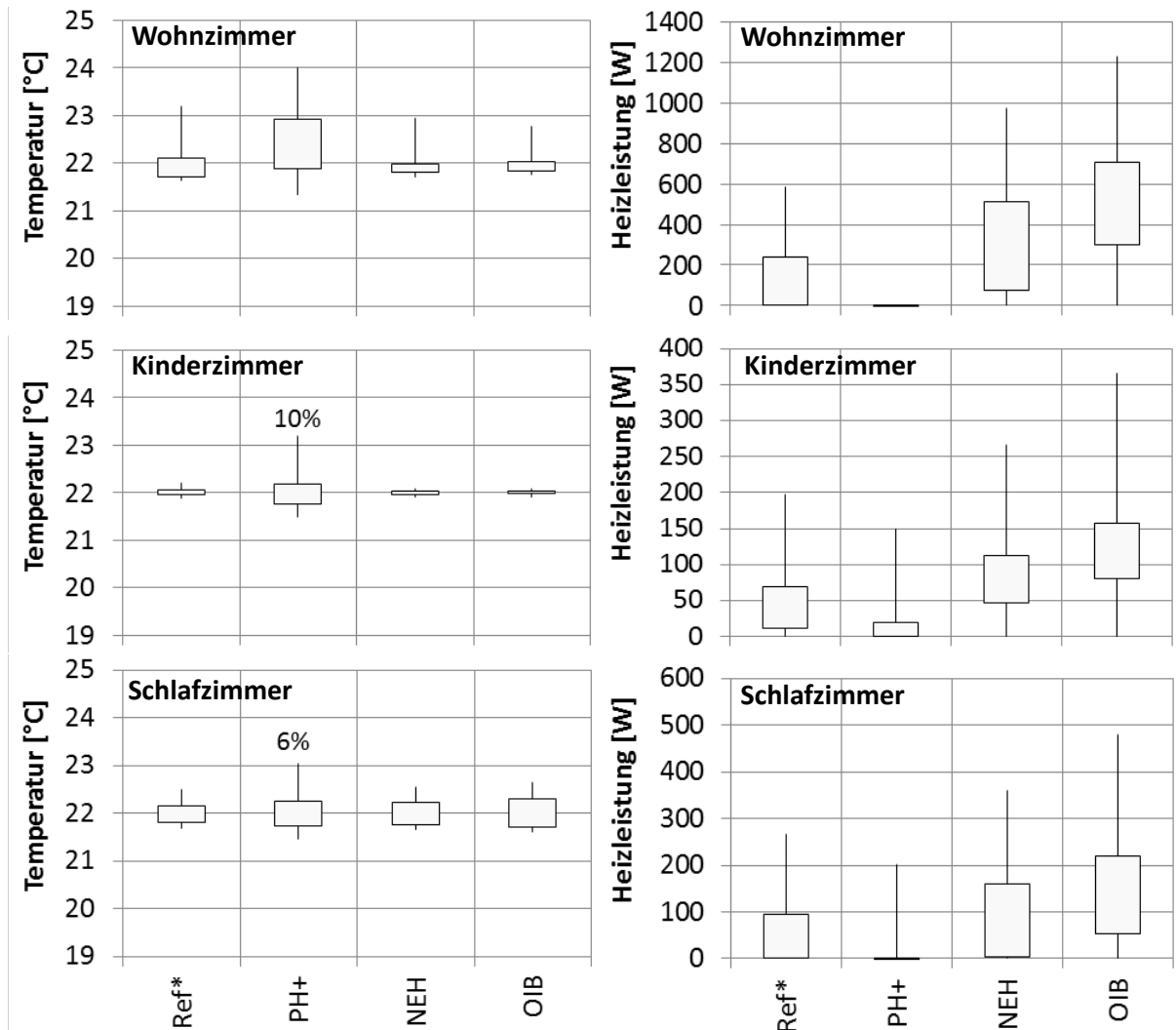


Abbildung 43: Temperatur- (P5/P25/P75/P95) und Heizleistungsverteilung (Min/P25/P75/Max) für Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer für eine Luftheizung in Kombination mit einem Lüftungskonzept basierend auf aktiven Überströmern mit Heizfunktion. Unter- bzw. Übertemperaturhäufigkeit >5% wurden für Kinder- und Schlafzimmer beschriftet. Dargestellt sind die Referenzausführung (Ref\*) und drei Fälle mit verschiedener Ausführungsqualitäten (PH+, NEH und OIB). Ausführungsdetails siehe Kap. 3.3.1.2.

### 3.3.1.11 Zusammenfassung Ergebnisse der dynamischen Gebäudesimulation

Aufgrund der Einzelraumregelung mittels Thermostatventil konnte die Heizkörpervariante alle drei Räume (Wohnzimmer, Kinder- und Schlafzimmer) bei fast allen untersuchten Szenarien auf Solltemperatur mit einer kleinen Schwankungsbreite halten. Bei der Luftheizung kam es je nach Szenario zu kleinen bis großen Abweichungen von der Solltemperatur. Die Simulationsergebnisse der untersuchten Szenarien zeigen, dass Untertemperaturen nicht auf eine fehlende Heizleistung, sondern auf die wohnungsweise Regelung zurückzuführen sind. Greift der Nutzer nicht aktiv durch z.B. Ablüften oder Verschatten ein, kann es aus demselben Grund auch zu Übertemperaturen vor allem im Schlafzimmer kommen. Dies liegt daran, dass die hygienisch bedingte Zuluftmenge (40 m<sup>3</sup>/h) einen relativ großen Heizeintrag verursacht und vor allem nachts die Türen möglicherweise geschlossen bleiben. Generell zeigt sich, dass das Ergebnis stark vom Nutzerverhalten abhängig ist. Offenen Innentüren reduzieren die Temperaturunterschiede zwischen den Räumen maßgeblich. Es sollte hier

angemerkt werden, dass der Nutzer generell mit aktiven Eingreifen bzw. Maßnahmen die Temperaturverhältnisse zu seinem Gunsten beeinflussen könnte. Diese Simulationsstudie ist in diesem Sinne als ein strenges Bewertungswerkzeug für den Vergleich der unterschiedlichen Wärmeabgabesysteme zu betrachten und nicht unbedingt als ein Abbild der Realität.

Die dynamischen Gebäudesimulationen zeigen, dass auch die Luftheizung mit einer raumweisen Regelung die Solltemperaturen in allen Räumen sehr gut (auf dem Niveau der Idealheizung) einhalten kann. Sie erweist sich dann als äußerst robust gegen unterschiedliches Nutzerverhalten und verschiedenste Ausführungs- und Standort-Varianten. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass sich gerade im mehrgeschossigen PH-Wohnbau wo die Heizlasten niedrig sind, eine Luftheizung auch mit einer bedarfsgeführten Lüftung kombinieren ließe. Von einer Kombination mit der erweiterten Kaskadenlüftung muss im Allgemeinen abgeraten werden, da es zu stärkeren Untertemperaturen im Wohnzimmer kommen kann.

### **3.3.2 Strömungssimulationen (CFD)**

Um auch den Einfluss der Luftströmungsverhältnisse im Raum auf die Behaglichkeit zu berücksichtigen, wurden numerische Strömungssimulationen (CFD) für den Vollast-Heizfall (maximale Heizlast) durchgeführt. Dafür wurde die Wohnzimmergeometrie der im Kapitel 2.4.3 untersuchten Referenzwohnung herangezogen. Da größere Möbelstücke die Raumluftströmungen beeinflussen können, wurde auch eine typische Möblierung für Koch- und Wohnbereich angenommen (Abbildung 44).

Es wurden fünf verschiedene Systemvarianten untersucht:

- Luftheizung mit Weitwurfdüse über Türsturz
- Luftheizung mit Tellerventilauslass an der Decke
- Luftheizung mit Bodenauslass vor Fenster
- Heizkörper (mit Lüftung über Weitwurfdüse über Türsturz)
- Fußbodenheizung (mit Lüftung über Weitwurfdüse über Türsturz)

Folgende stationäre Randbedingungen wurden für die Simulationen angenommen:

- Außentemperatur:  $-10^{\circ}\text{C}$
- Zulufttemperatur (für Fälle mit Luftheizung):  $52^{\circ}\text{C}$
- Zulufttemperatur (für Fälle mit Flächenheizung):  $18^{\circ}\text{C}$
- Überströmlufttemperatur:  $22^{\circ}\text{C}$
- Temperatur in Nachbarwohnungen (Ost, Oben und Unten):  $20^{\circ}\text{C}$
- Temperatur in Nebenräumen (Nord):  $22^{\circ}\text{C}$  -> Wärmestrom vernachlässigt
- Effektive U-Werte der Wände, Verglasungen und Türen (Wärmebrücken eingerechnet) aus Dynbil-Simulation übernommen und auf U\*-Werte (ohne inneren Wärmeübergangskoeffizient ( $h_i$ ), da dieser sich aus der Simulation ergibt) umgerechnet
- Interne Gewinne: Person 75 W und Kühlschrank 55 W

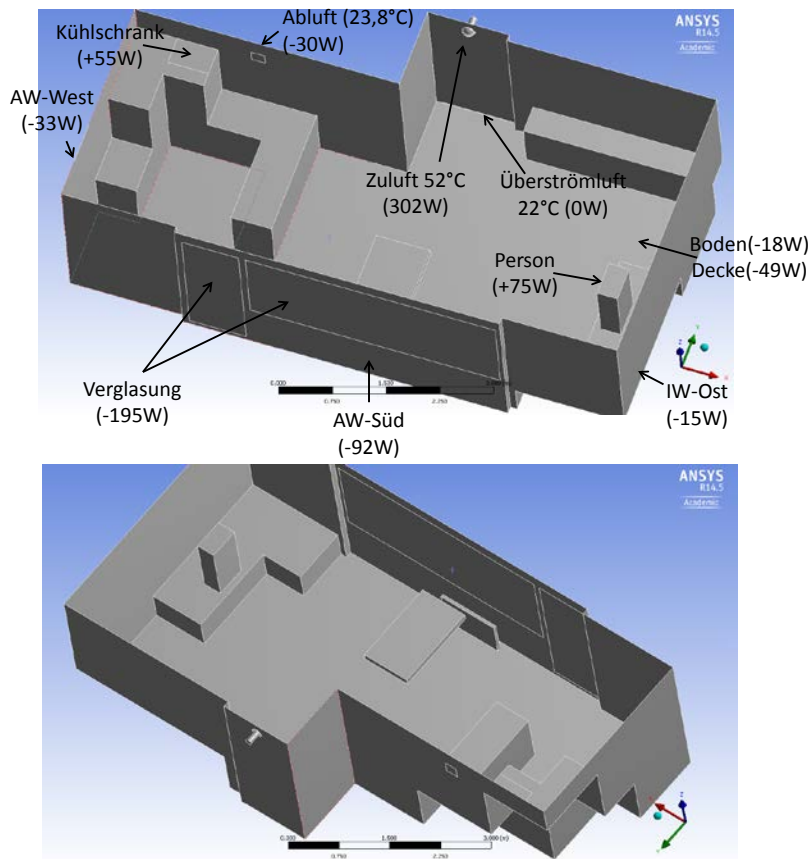


Abbildung 44: 3D Ansichten der untersuchten Wohnzimmer-Geometrie aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln. Die Lage und Stärke der verschiedenen Wärmequellen und -senken sind ebenfalls (oben) für den Fall LH über Weitwurfdüse eingezeichnet. Nur der Wärmefluss von Person und Kühlschrank sind fix vorgegeben, die anderen ergeben sich aus den sich einstellenden Temperatur- und Strömungsverhältnissen und den U\*-Wert Vorgaben (\*ohne inneren Wärmeübergangskoeffizient, dieser ergibt sich aus der Simulation). Die konvektiven Wärmeströme beziehen sich auf eine Referenztemperatur von 22°C.

Aus dieser Bilanz sollte sich, bei perfekter Durchmischung und einem  $h_i=8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , eine Raumtemperatur von 22°C einstellen. Da in der Strömungssimulation die Durchmischung und der  $h_i$  von den errechneten Strömungsverhältnissen abhängen, ergibt sich eventuell eine davon abweichende mittlere Raumtemperatur. Bei der Bewertung der thermischen Behaglichkeit müssen jeweils Aktivitätsgrad und eine Bekleidungsstärke angenommen werden. Würde diese nun so angenommen werden, dass sich eine „Wunschtemperatur“ (PMV=0) von 22°C ergibt, würde die Bewertung der CFD-Ergebnisse unrealistisch stark von den Strömungsverhältnissen abhängen. Dies liegt daran, dass die Temperatur im Simulationsmodell nicht geregelt ist, sondern sich rein aus der Energiebilanz ergibt und daher von den „gewünschten“ 22°C abweichen kann.

In Realität passt der Nutzer die Solltemperatureinstellung oder seine Bekleidung gemäß seinem Temperaturempfinden an. Um diesen Umstand Rechnung zu tragen, wurde bei der Auswertung der CFD-Ergebnisse die Bekleidungsstärke angepasst. Und zwar so, dass sich in Raummitte (Position 4, siehe Abbildung 45) ein über die Raumhöhe von 0 bis 2 m (~Aufenthaltsbereich) gemitteltes PMV von 0 ergibt. Dies entspricht somit einer Situation, in der der Bewohner seine Bekleidungsstärke gemäß seinem Temperaturempfinden in Raummitte anpasst. Die Bewertung der CFD-Ergebnisse liefert somit Aussagen wie



gleichmäßig die räumliche Verteilung der thermischen Behaglichkeit abhängig von der Systemvariante ist.

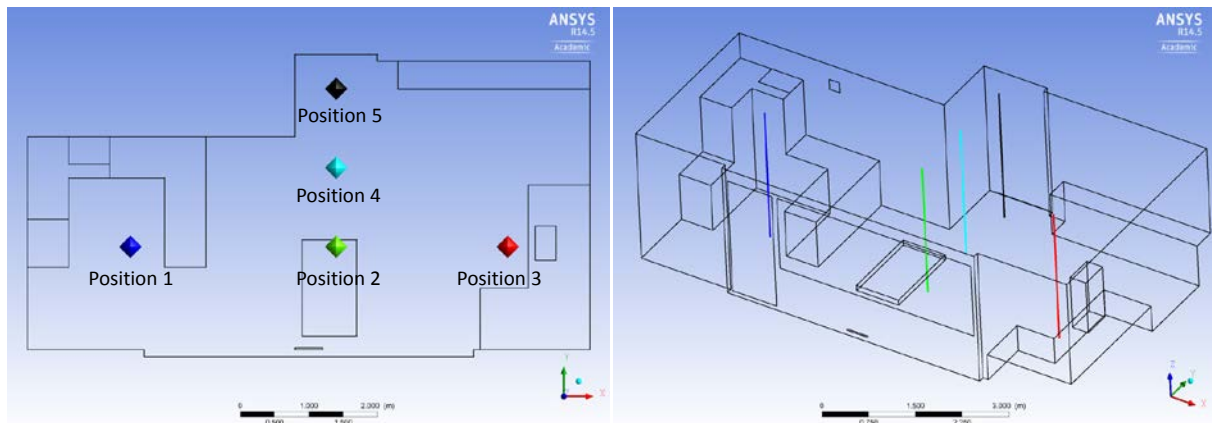


Abbildung 45: Die fünf herangezogenen Auswertepositionen in Draufsicht (links) und 3D Ansicht (rechts).

Folgende Behaglichkeitsparameter wurden gemäß ISO 7730 an fünf Positionen im Raum über die gesamte Raumhöhe ausgewertet (Abbildung 45):

- **Vorausgesagtes mittleres Votum (PMV)**

„Das PMV ist ein Index, der den Durchschnittswert für die Klimabeurteilung durch eine große Personengruppe anhand folgender 7-stufiger Klimabeurteilungsskala vorhersagt.“ (ÖNORM EN ISO 7730:2006)

-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
kalt	kühl	etwas kühl	neutral	etwas warm	warm	heiß

Dieser Wert wird mit Hilfe einer empirischen Formel auf Basis der Lufttemperatur, der mittleren Strahlungstemperatur, der relativen Luftgeschwindigkeit und der Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit des Aktivitäts- und Bekleidungsgrades der Person berechnet.

- **Vorausgesagter Prozentsatz an Unzufriedenen (PPD) in %**

„Anhand des PPD-Indexes lässt sich aus einer großen Personengruppe die Anzahl derjenigen Personen voraussagen, die mit dem Umgebungsklima unzufrieden sind.“ (ÖNORM EN ISO 7730:2006)

Dieser Wert wird direkt mit Hilfe einer empirischen Formel aus dem PMV Wert berechnet und beträgt im Idealfall (PMV=0) 5%.

- **Zugluft (DR) in PD (Prozentsatz an Unzufriedenen, %)**

Bewertet die Beeinträchtigung durch Zugluft. In die empirische Formel fließen die lokale Lufttemperatur, die lokale mittlere Luftgeschwindigkeit und der lokale Turbulenzgrad ein. Diese können aus den CFD-Ergebnissen extrahiert werden.

- **Vertikaler Lufttemperaturunterschied in PD (Prozentsatz an Unzufriedenen, %)**

„Ein hoher vertikaler Lufttemperaturunterschied im Bereich zwischen Kopf und Fußgelenk kann zu Unbehaglichkeit führen“ (ÖNORM EN ISO 7730:2006)

Die Temperaturdifferenz wurde gemäß Tabelle A.2 (ÖNORM EN ISO 7730:2006) zwischen 1,1 m und 0,1 m über den Fußboden bestimmt.

- **Warme und kalte Fußböden in PD (Prozentsatz an Unzufriedenen, %)**

Für die Auswertung wurde die sich ergebende Oberflächentemperatur aus der CFD-Simulation verwendet.

– **Asymmetrie der Strahlungstemperatur (warme Decke)**

Die Norm unterscheidet vier Fälle: warme Decke, kalte Wand, kalte Decke und warme Wand. Für die untersuchten Randbedingungen (Passivhausqualität) können Unbehaglichkeiten aufgrund von kalten Wänden/Decken ausgeschlossen werden. Am ehesten könnte sich vor allem bei der Luftheizung eine im Vergleich zum restlichen Raum wärmere Decke ergeben. Daher wurde nur die empirische Formel für warme Decken mit Hilfe der Oberflächentemperatur aus der CFD-Simulation ausgewertet.

Die sich ergebenden Behaglichkeitsparameter wurden gemäß Tabelle A.1 (ÖNORM EN ISO 7730:2006) bewertet. Darin wird in drei Behaglichkeitskategorien (A, B und C) unterschieden. In den folgenden Grafiken wurden die jeweiligen Grenzwerte mit grün (A), gelb (B) und rot (C) eingezeichnet.

**3.3.2.1 Luftheizung mit Bodenauslass vor Fenster**

Die Ergebnisse der Behaglichkeitsparameter für den Fall mit Luftheizung über einen Bodenauslass im Fensterbereich sind in Abbildung 47 und Abbildung 48 dargestellt. Zur Veranschaulichung wurden die sich ergebenden Strömungs- und Temperaturverhältnisse in einer 3D Ansicht abgebildet (Abbildung 46).

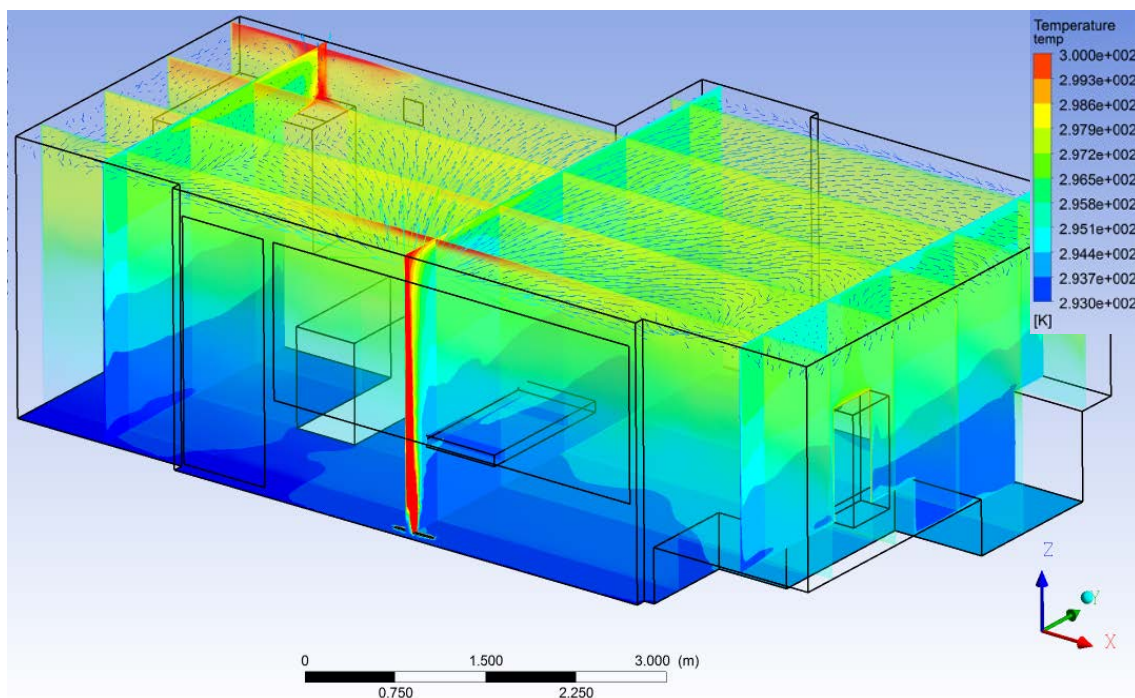


Abbildung 46: Visualisierung der simulierten Strömungsverhältnisse (Peile) und Temperaturverteilung (Farben) für den Fall mit Luftheizung mit Bodenauslass.

Man erkennt einen Gradienten des PMV (Abbildung 47, links) über die Raumhöhe für alle fünf Positionen. Dieser ergibt sich aus der sich einstellenden leichten Temperaturschichtung. Dennoch liegen die Werte über die gesamte Raumhöhe in der strengsten Behaglichkeitskategorie A. Dies gilt auch für die lokalen Behaglichkeitsparameter (Abbildung 48). Das Zugluftrisiko (Abbildung 47, rechts) ist im Aufenthaltsbereich auch weit unter dem Grenzwert (10%) für Kategorie A. Dieser Grenzwert wird außerhalb des Aufenthaltsbereichs

nur in Bodennähe an Position 5 (vor Überströmöffnung) und in Deckennähe in Position 2 und 4 überschritten.

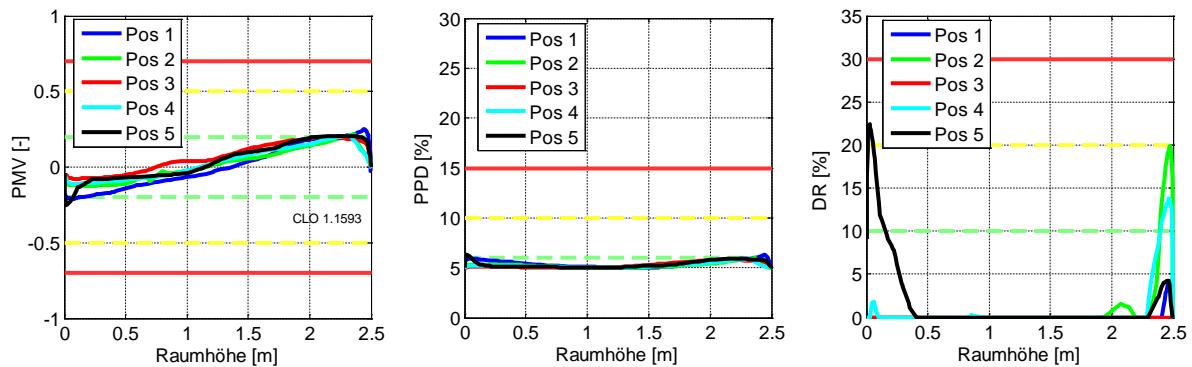


Abbildung 47: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Bodenauslass vor Fenster.

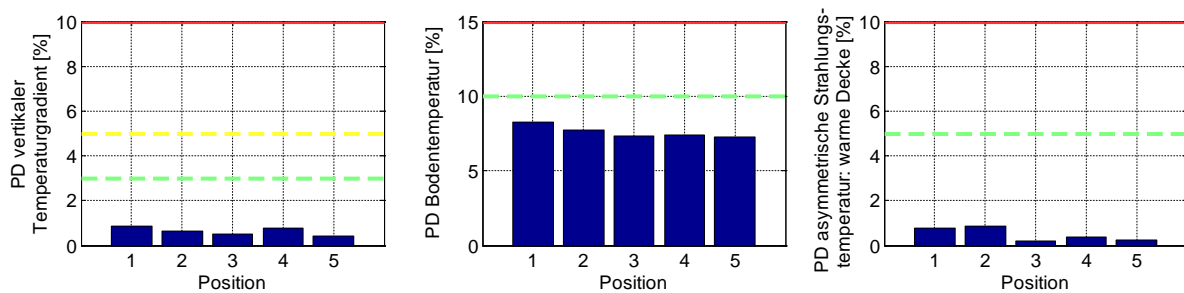


Abbildung 48: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Bodenauslass vor Fenster.

### 3.3.2.2 Luftheizung mit Tellerventil an der Decke

Die Ergebnisse für die Luftheizung mit Tellerventil an der Decke (Abbildung 49 und Abbildung 50) zeigen ein ähnliches Bild. Ein leichter Temperaturgradient zwischen Boden und Decke erzeugt einen Gradienten des PMV Indexes. Dieser bleibt bis zur einer Raumhöhe von 2 m aber innerhalb der Kategorie A. Darüber (außerhalb des Aufenthaltsbereichs) ergeben sich aufgrund höherer Zulufttemperaturen leicht höhere PMV bzw. PPD Werte. Alle anderen Parameter bleiben ebenfalls innerhalb der strengsten Grenzwert Kategorie.

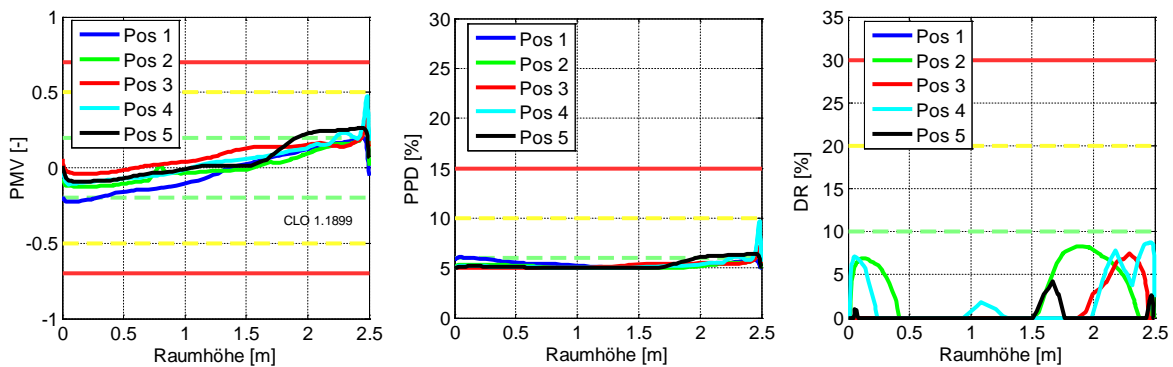


Abbildung 49: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Tellerventil an der Decke.

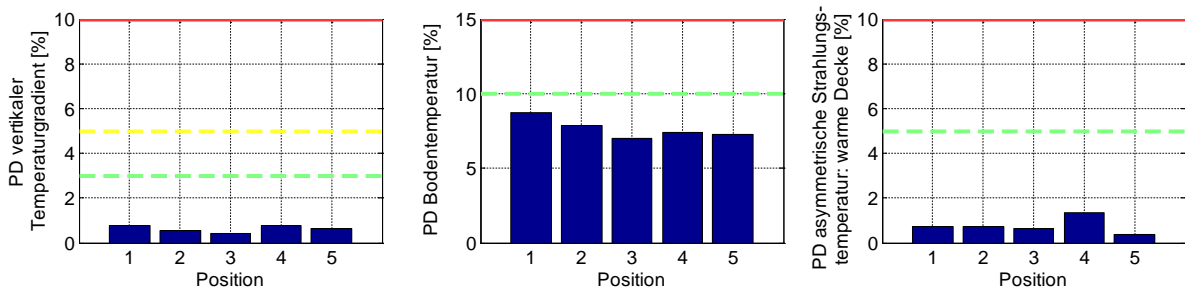


Abbildung 50: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall Luftheizung mit Tellerventil an der Decke.

### 3.3.2.3 Luftheizung mit Weitwurfdüse über Türsturz

Wird die Luftheizung über eine Weitwurfdüse über dem Türsturz betrieben, ergeben sich in Deckennähe leicht erhöhte Temperaturen. Dies spiegelt sich in einem PMV-Index  $>0,2$  ab einer Höhe von 2 m wider. Darunter, also im Aufenthaltsbereich bleibt der PMV, aber auch alle anderen Behaglichkeitsparameter innerhalb der Kategorie-A-Grenzen. Siehe Abbildung 51 bis Abbildung 52.

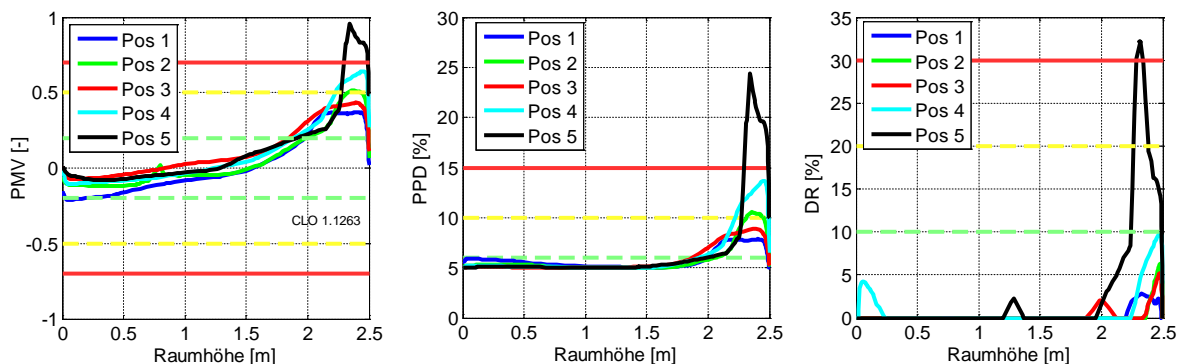


Abbildung 51: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Weitwurfdüse über Türsturz.

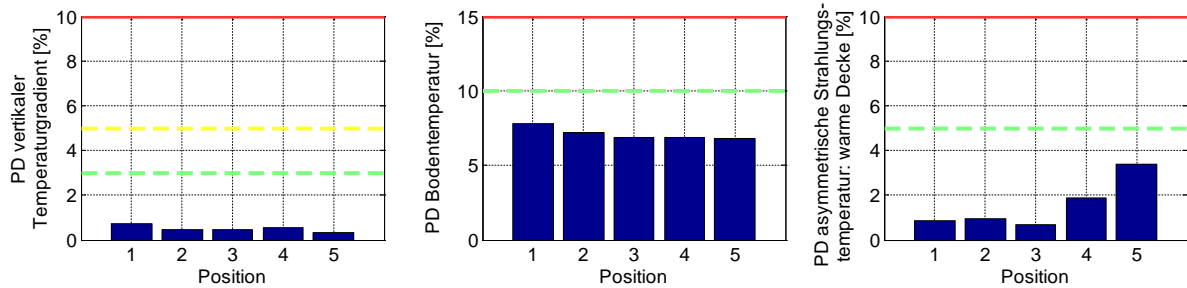


Abbildung 52: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall Luftheizung mit Weitwurfdüse über Türsturz.

### 3.3.2.4 Heizkörper

Wird die Wärmeabgabe über einen Heizkörper vor dem Fenster modelliert, erfüllen im Aufenthaltsbereich alle Behaglichkeitsparameter die Anforderungen der Kategorie A. Man erkennt die, über die Weitwurfdüse einströmende, kühlere Zuluft (18°C). Sowohl die PMV- als auch die Zugluft-Bewertung über- bzw. unterschreiten hier (Position 4 und 5 in Deckennähe) die Grenzwerte.

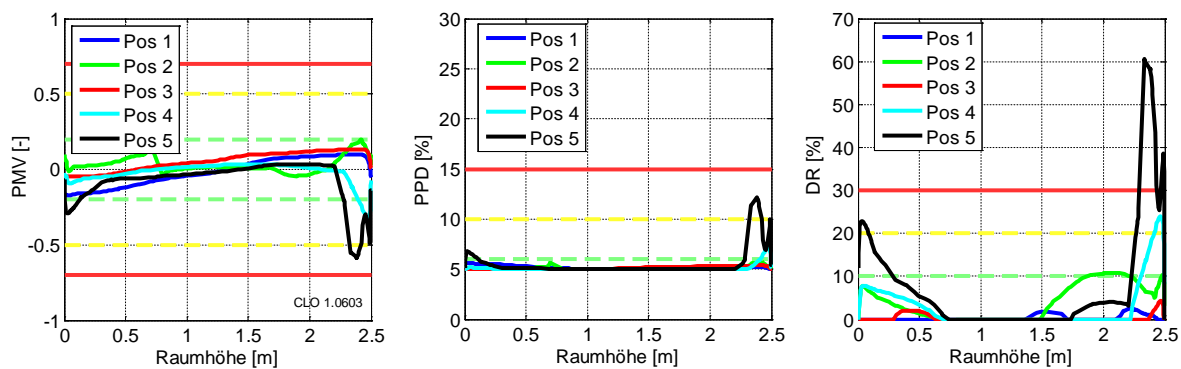


Abbildung 53: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Heizkörper.

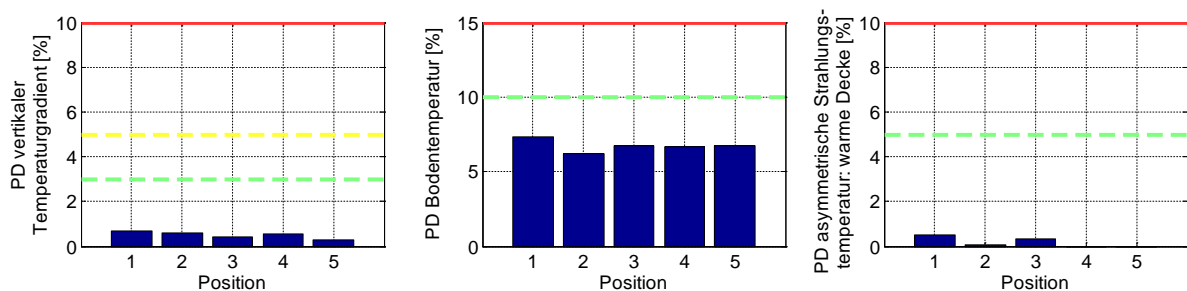


Abbildung 54: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Heizkörper.

### 3.3.2.5 Fußbodenheizung

Die Ergebnisse der Fußbodenheizung zeigen erwartungsgemäß den geringsten Temperaturgradienten über die Höhe. Dies zeigt sich an einem höhenunabhängigen PMV-Verlauf (Abbildung 55, links). Man erkennt einen ganz leichten „Wärmestau“ unter der

Tischplatte. Wie schon beim vorigen Fall (Heizkörper) kann man den sogenannten Coanda-Effekt bei der Betrachtung des Zuglufttrisikos (Abbildung 55, rechts) erkennen. Obwohl die über die Weitwurfdüse einströmende Zuluft kühler als die Umgebungsluft ist, sinkt diese nicht ab, sondern bleibt bis zum Abbau des „Wurfimpulses“ an der Decke „kleben“. Dies erkennt man an den erhöhten DR-Werten für die Positionen 2, 4 und 5. Insgesamt kann hier ebenfalls zusammengefasst werden, dass die Behaglichkeitsparameter im Aufenthaltsbereich der Kategorie A entsprechen.

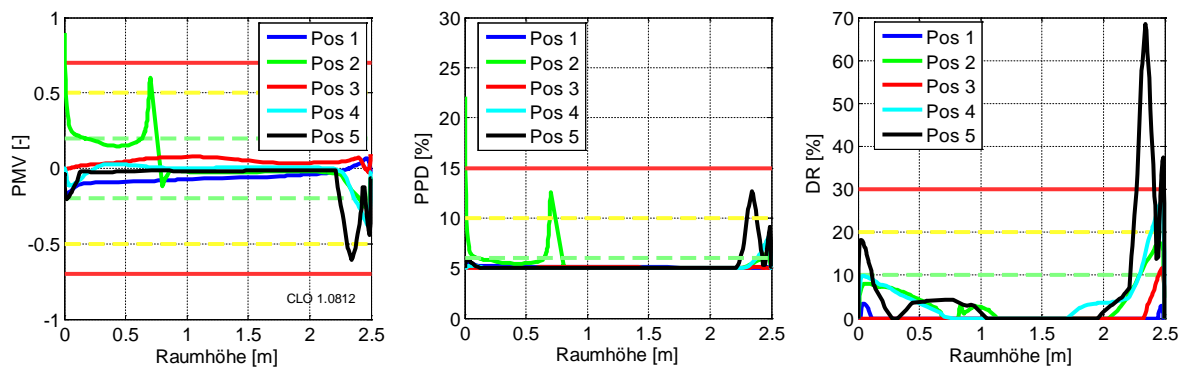


Abbildung 55: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Fußbodenheizung.

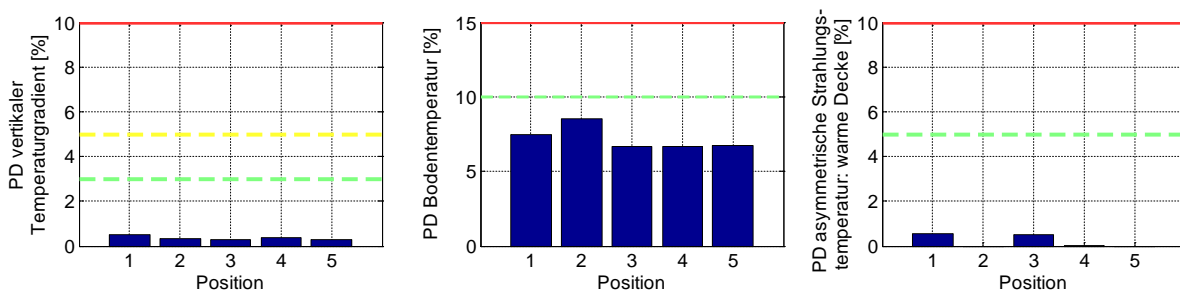


Abbildung 56: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Fußbodenheizung.

### 3.3.2.6 Zusammenfassung CFD Simulationen

Alle fünf untersuchten Fälle erfüllen somit die Anforderungen der strengsten Behaglichkeitsklasse A gemäß ISO 7730 bzw. der Comfort Class A, ASHRAE 55.

## 3.4 Bewertung der Wirtschaftlichkeit

### 3.4.1 Investitionskosten nach Projekten

Es wurden drei Passivhaus-Projekte mit Heizkörper und zwei Passivhaus-Projekte mit Fußbodenheizung aus Tirol ausgewertet. Leider konnte kein direkter Zugang zu den Kostendaten (Leistungsverzeichnisse) für ein in Österreich realisiertes Passivhausprojekt mit Luftheizung erhalten werden. Kooperierende Wohnbauträger hatten keine entsprechenden Projekte im Portfolio. Diverse Anfragen bei den Verantwortlichen von den bekannten in Österreich mit Luftheizung realisierten Projekten (CEPHEUS) wurden abgelehnt bzw. nicht



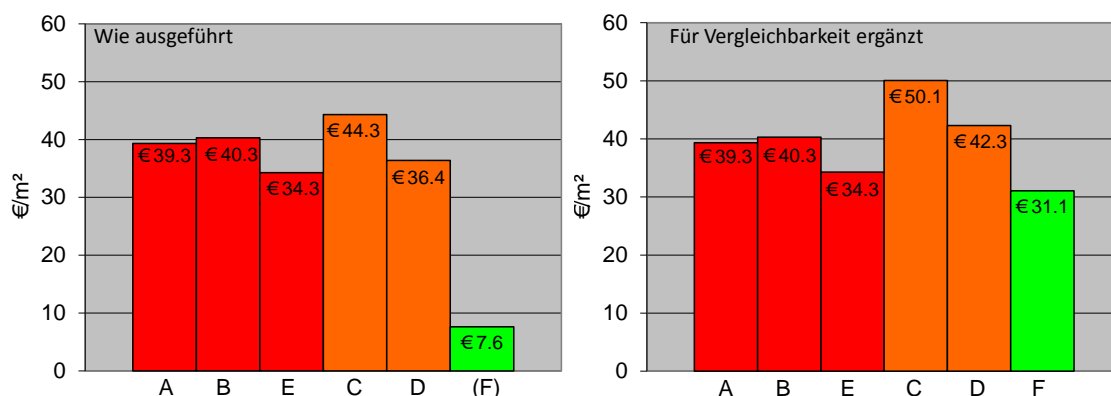
erwidert. Daher wurden die projektspezifischen Kosten aus einem in Deutschland realisierten PH-Wohnobjekt mit Luftheizung herangezogen. Im Rahmen eines anderen Forschungsprojektes (Kaufmann, Ebel, & Feist, 2010) wurden die entsprechenden Kostendaten recherchiert und dokumentiert und auf Anfrage auch für diese Studie zur Verfügung gestellt. Da nicht die Original Leistungsverzeichnisse vorlagen, konnten nicht alle für diesen Vergleich relevanten Positionen (z.B. Regelventil inkl. Stellantrieb) erhoben werden. Diese Kosten wurden für einen besseren Vergleich ergänzt. Um auch eine Vergleichbarkeit in Punkto Komfort und Funktionalität zu schaffen, wurden außerdem, da wo nicht bereits inkludiert, die Kosten für Badheizkörper und Wohnungsstation hinzugefügt. Die Kosten für die „fehlenden“ Komponenten wurden aus den anderen Projekten übernommen (siehe Kap. 3.4.2).

**Tabelle 6: Liste der ausgewerteten Projekte**

Projektbezeichnung	Verteilsystem	Baujahr	Anzahl Wohneinheiten [WE]	Nutzfläche [m <sup>2</sup> ]
Projekt A	Radiatoren	2014	45 WE	3.100
Projekt B	Radiatoren	2014	45 WE	3.400
Projekt C	Fußbodenheizung	2014	22 WE	1.700
Projekt D	Fußbodenheizung	2009	354 WE	24.500
Projekt E	Radiatoren	2010	255 WE	14.500
Projekt F*	Luftheizung	2014	15 WE	980

\* Daten nicht direkt LV, sondern aus Dokumentation aus einem vergangenen Forschungsprojekt, Kosten für Regelventil und Stellantrieb nicht dokumentiert.

Die Ergebnisse der projektspezifischen Auswertung mit und ohne Ergänzungen sind in Abbildung 57 zusammengefasst. Weitere Details sind in vollem Umfang in der, im Rahmen dieser Studie angefertigten, Bachelorarbeit (Krissmer, n.d.) nachzulesen. Es sei angemerkt, dass die in Abbildung 57 dargestellten Kosten inklusive der Wohnungsstation sind. Man kann einen „systematischen“ Unterschied zwischen Projekten mit Heizkörper (rot), Fußbodenheizung (orange) und Luftheizung (grün). Außerdem machen sich jene beiden Groß-Projekte mit mehr als 200 Wohneinheiten mit deutlich reduzierten Kosten (flächenspezifisch) bemerkbar.



**Abbildung 57: Bauliche Kosten des Wärmeabgabesystems inklusive Wohnungsstation der verschiedenen Projekte wie umgesetzt und dokumentiert (links), bzw. mit den für die Vergleichbarkeit fehlenden Komponenten (Badheizkörper, Wohnungsstation) ergänzt (rechts).**

### 3.4.2 Investitionskosten nach Positionen / Bauteilen

Bei der Bestimmung der Investitionskosten nach Positionen, wurden die relevanten Positionen für das jeweilige System aus den Leistungsverzeichnissen bestimmt, und anschließend unter Berücksichtigung der Teuerungsrate seit dem Zeitpunkt der Angebotslegung, gemittelt. Neben den oben genannten Projekten wurden zusätzlich noch die LV's von vier weiteren Tiroler Wohnbauprojekten ausgewertet. Aufgrund fehlender Angaben, unterschiedlicher Gruppierungen und stark abweichender Positionspreise, welche wohl auf eine strategische Anpassung der Angebotsleger zurückzuführen sind, ist die Anzahl der berücksichtigten Positionen unterschiedlich. Da auf die abgerechneten Kosten von nur einem Luftheizungsprojekt zurückgegriffen werden konnte, wurden für das Heizregister Kosteninformationen aus der Literatur (H Schöberl, Lang, & Handler, 2011) entnommen (und auf das Jahr 2014 angepasst). Die folgenden Angaben sind netto und inkludieren Lohn und Material.

#### 3.4.2.1 Heizkörperausführung

##### Verrohrung

Für die Verrohrung wurde der Einfachheit halber die bei den Projekten am häufigsten (wohnungsintern) verwendete Rohrtype bzw. -dimension (Metallverbundrohr DN15 mit 10 mm Wärmedämmung) berücksichtigt. Es konnten die Daten aus dem LV von vier Projekten herangezogen werden. Es ergab sich ein Mittelwert von **14,71 €/lfm** und eine Standardabweichung von **2,66 €/lfm**.

##### Wohnungsstation

Für die Wohnungsstation konnten sieben LV's berücksichtigt werden. Hierbei wurde die Wohnungsstation inkl. der Inbetriebnahme, welche oft eigens ausgewiesen wurde, berücksichtigt. Dabei ergab sich für die Wohnungsstation ein Preis von **1104 €/Stück** und eine Standardabweichung von **133 €/Stück**.

##### Badheizkörper

Der mittlere Preis aus sechs Projekten beträgt **178 +/- 67 €/Stück**.

##### Anschlussverschraubung

Für die Anschlussverschraubung der Badheizkörper entfallen **45,3 +/- 7,9 €/Stück** (aus vier Projekten entnommen).

##### Doppelrosetten

Aus sieben LV's: **3,1 +/- 1,2 €/Stück**

##### Heizkörper

Es wurden für eine Vielzahl von unterschiedlichen Heizkörpergrößen die Kosten aus den diversen LV's ausgelesen und die zugehörige Heizleistung aus einer Hersteller-Tabelle [VuN]. Die Heizleistungen gelten für eine Vorlauftemperatur von 45 Grad Celsius, eine



Rücklauf­temperatur von 40 Grad Celsius und eine Raumtemperatur von 20 Grad Celsius. Die dabei erhaltenen Werte wurden in einem Diagramm eingetragen und linear interpoliert.

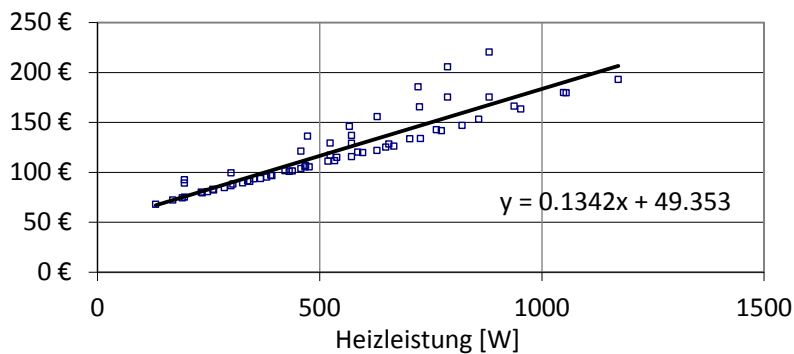


Abbildung 58: Heizkörperkosten als Funktion der Heizleistung (für 45/40/20°C).

### 3.4.2.2 Fußbodenheizung

#### Fußbodenheizungsrohre

Die Kosten der Fußbodenheizungsrohre wurden aus den LV's von drei verschiedenen Projekten ermittelt. Sie betragen 2,84 +/- 0,91 €/lfm.

#### Verschraubung

Für die Verschraubung ergaben sich Kosten von 4,19 +/- 1,11 € pro Stück. Im Mittel wurde in den ausgewerteten Projekten eine Verschraubung pro 18 m Rohr eingesetzt. Damit wurde die erforderliche Menge an Verschraubungen für die Referenzwohnung bestimmt.

#### Wohnungsstation, Heizkreisverteiler und Sonstiges

Bei bestimmten LV war eine detaillierte Kosten-Aufschlüsselung der verschiedenen Komponenten für eine Fußbodenheizungs-Ausführung möglich, wie z.B. für das in Abbildung 59 dargestellten Projekt.

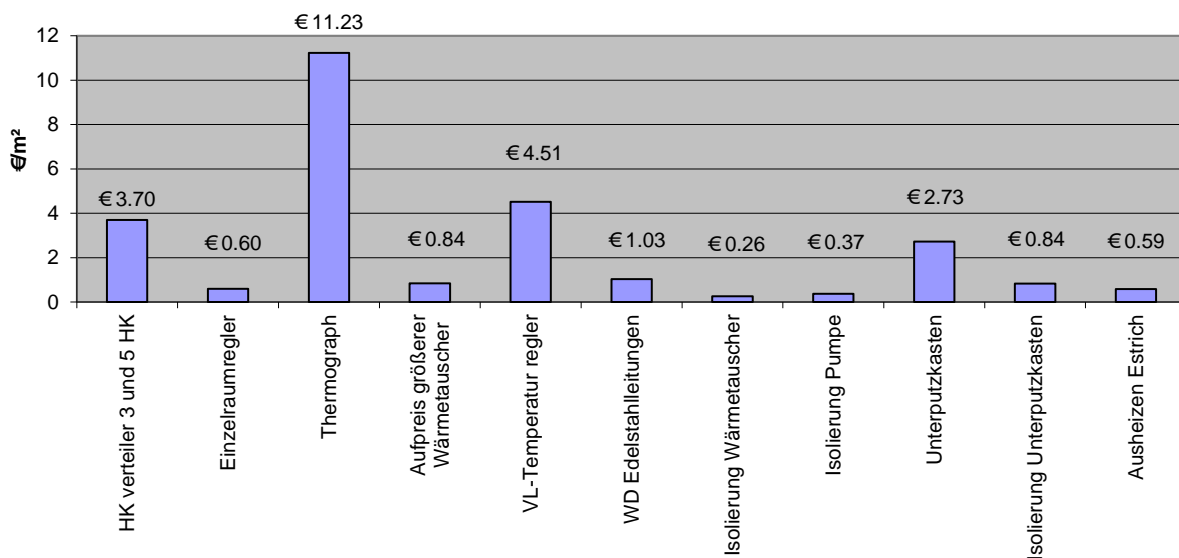


Abbildung 59: Flächenspezifische Kosten für diverse Komponenten für die Fußbodenheizung entnommen aus einem gut aufgeschlüsselten Leistungsverzeichnis.

Andere LV's ließen aber keine genaue bzw. vergleichbare Aufschlüsselung der Komponenten zu. Daher wurden alle erforderlichen Komponenten (außer Rohre, Verschraubungen und Badheizkörper inkl. Zubehör) in eine Position zusammengefasst. Aus vier Projekten wurde für diesen Summenposten ein Mittelwert von 1634 € pro Wohnung mit einer Standardabweichung von 69 € ermittelt. Um den Kostenvergleich auch ohne Wohnungsstation darstellen zu können, wurde die Kosten für eine „Standard-Wohnungsstation“ (aus Abschnitt 3.4.2) abgezogen. Man erhält so eine Posten der vor allem die Mehrkosten der Wohnungsstation für den Fußbodenheizkreis (Pumpe, etc.) und die Heizkreisverteiler inklusive Unterputzkasten beinhaltet. Dieser „Mehrkosten-Posten“ beträgt 529 +/- 150 € pro Wohnung.

#### Badheizkörper inklusive Zubehör und Verrohrung

Hier wurden die Positionspreise aus den Heizkörperprojekten übernommen.

#### **3.4.2.3 Luftheizung**

##### Heizregister

Die mittleren flächenspezifischen Kosten für ein Heizregister sind in Tabelle 7 dargestellt. Zusätzlich wurde für die Referenzwohnung ein elektronisches Raumthermostat und ein Stellantrieb zu 148 € (aus einem LV der oben genannten Projekte) angesetzt.

**Tabelle 7: Kosten in € pro Nutzfläche für Heizregister inklusive Einbau**

\* aus (H Schöberl et al., 2011)

Heizregister	EP	Baujahr	EP Angepasst
Universumsstrasse*	€ 2,50	2010	€ 2,72
Utendorfgasse*	€ 2,42	2006	€ 3,03
Mühlweg*	€ 2,43	2006	€ 3,05
Projekt F	€ 4,32	2014	€ 4,32
		Mittelwert	€ 3,28
		Standardabw.	€ 0,71

#### Dämmung Lüftungskanäle

Die Kosten für Dämmung der Lüftungskanäle wurde aus Projekt F entnommen. Sie betragen pro Wohneinheit 140,6 €. Bezogen auf die Nutzfläche der Referenzwohnung (76 m<sup>2</sup>) ergeben sich 1,85 €/m<sup>2</sup>.

#### Stellantrieb und Raumthermostat

Die Kosten für Stellantrieb und Raumthermostat wurden aus LV's aus Fußbodenheizungs- bzw. Heizkörperprojekten entnommen, sei belaufen sich auf 148 €

#### Wohnungsstation und Badheizkörper inklusive Zubehör und Verrohrung

Hier wurden die Positionspreise aus den Heizkörperprojekten übernommen.

### 3.4.3 Investitionskostenvergleich für die Referenzwohnung

Mit den oben ermittelten bauteilbezogenen Kosten (zusammengefasst in Tabelle 8) wurde ein Kostenvergleich für die Referenzwohnung erstellt. Dafür wurde der gleiche Grundriss wie in Kap. 2.4.3 herangezogen. Die Ausrichtung wurde mit einer nach Süden orientierten Wohnzimmerverglasung angenommen.

Tabelle 8: Kostenbasis zur Bestimmung der baulichen Kosten der Referenzwohnung.

Verrohrung Heizkörper pro Laufmeter	15 €	+/-	2.7 €
Heizkörper pro Stk. als Fkt. der Heizleistung bei 45/20/20°C	50 € + 135 € pro kW		
Zubehör für Heizkörper	19 €	+/-	3.4 €
Thermostatventil pro Stk.	11 €	+/-	1.3 €
Badheizkörper + Zubehör pro Stk.	223 €	+/-	75 €
FBH Rohr pro Laufmeter	2.8 €	+/-	0.9 €
Verschraubungen für FBH pro Stk.	4.2 €	+/-	1.1 €
Sonstiges für FBH (Heizkreisverteiler, Pumpe,...)	529 €	+/-	150 €
Heizregister für LH pro Whg.	249 €	+/-	54 €
Dämmung Luftkanäle für LH pro Whg.	128 €		-
Stellantrieb und Thermostat für LH pro Whg.	148 €		-
Mehrkosten Estrich* für FBH pro m <sup>2</sup>	2 €		-
*geschätzt aus Gesprächen mit Planern und ausführenden Firmen			

#### 3.4.3.1 Referenzwohnung mit Heizkörper

Für die Auslegung der Wohnung wurde bei einem lokal ansässigen Heizungs-Installateur angefragt. Die Berechnung der Heizlast erfolgte dabei nach EN 12831 und ergab 825 W fürs Wohnzimmer, 142 W fürs Kinderzimmer und 220 W fürs Schlafzimmer. Dabei wurde eine Raumtemperatur von 22°C für das Wohnzimmer, 20°C für das Kinder- und Schlafzimmer und 24°C fürs Badezimmer angesetzt. Diese Heizlastberechnung lieferte deutlich höhere Werte für das Wohnzimmer als die dynamische Gebäudesimulation (WZ: 320 W, KZ: 200 W, SZ: 220 W, jedoch in SW-Orientierung und andere Solltemperaturannahmen, siehe Kap. 3.3.1.1). Die Fachfirma dimensionierte die Radiatoren zusätzlich noch größer als die Heizlastberechnung nach EN 12831 ergab. Fürs Schlafzimmer wurde ein 11VM mit einer Bauhöhe von 600 mm und einer Baulänge von 900 mm vorgeschlagen. Daraus resultiert eine Heizlast von 301 W. Im Kinderzimmer wurde ein Heizkörper des Typs 11VM 600/600 mit einer Heizlast von 196 W und im Wohnzimmer zwei des Typs 12 VM600/1200 mit jeweils 572 W Heizlast angesetzt. Die Auslegung inklusive Verrohrung ist in Abbildung 60 dargestellt.

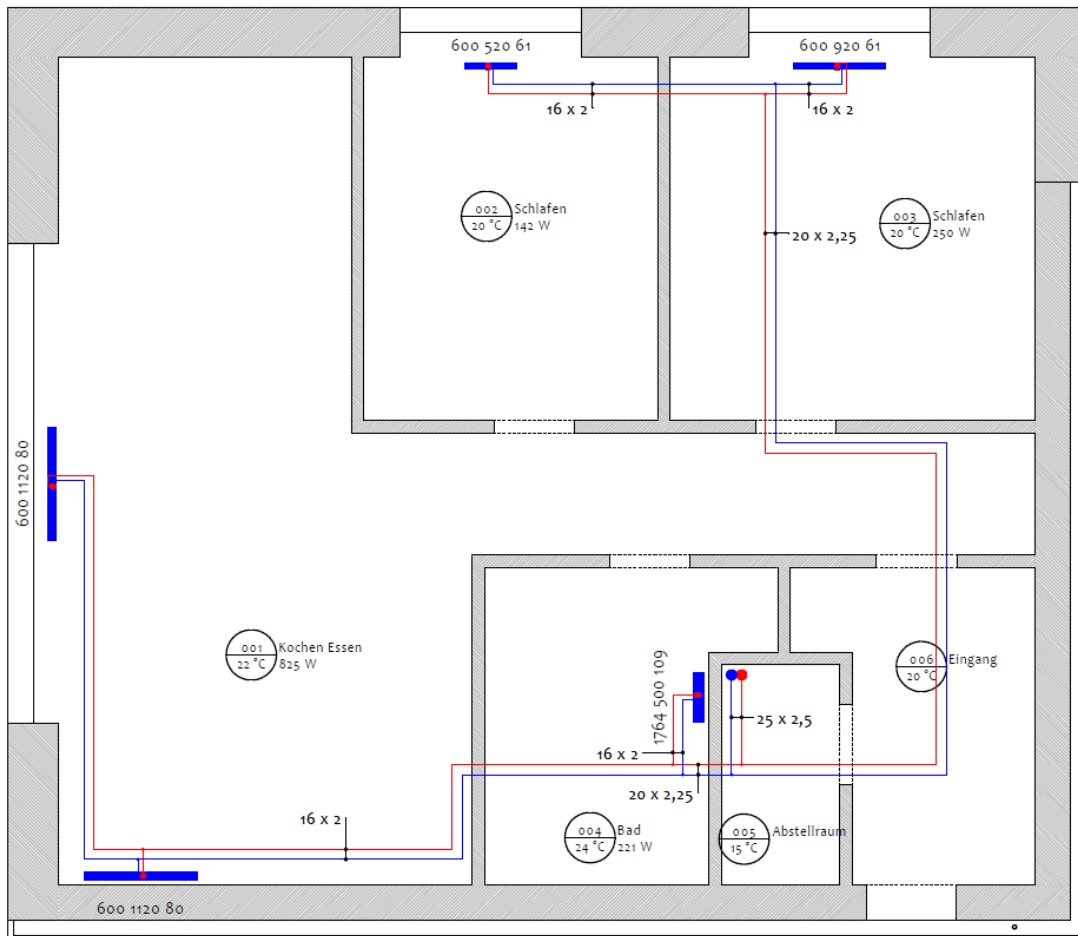


Abbildung 60: Grundriss der Referenzwohnung mit Heizkörper Auslegung durch einen Heizungsinstallateur.

Die Gesamtkosten für das Wärmeabgabesystem mittels Heizkörper belaufen sich für die Referenzwohnung mit 76 m<sup>2</sup> Wohnfläche auf 1644 € bzw. 21,60 €/m<sup>2</sup>. Die Zusammenstellung ist in Abbildung 61 dargestellt.

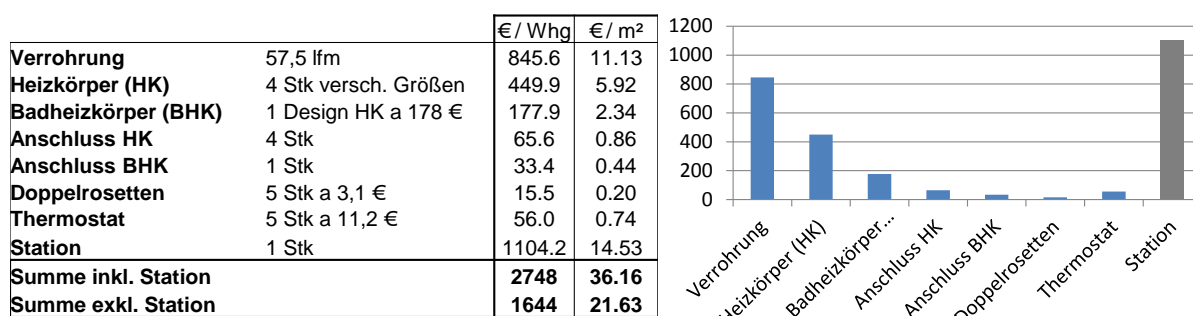


Abbildung 61: Kostenzusammenstellung für ein Heizkörpersystem für die Referenzwohnung.

### 3.4.3.2 Referenzwohnung mit Fußbodenheizung

Die Dimensionierung der Fußbodenheizung wurde durch den gleichen Heizungsinstallateur auf Basis der Heizlastberechnung (EN 12831) wie schon für die Heizkörperlösung durchgeführt. Es wurden 89,4 m für das Wohnzimmer, 44,9 m fürs Kinderzimmer, 53,4 m fürs Schlafzimmer, 55,6 m für Gang, 45 m für das Bad und 29 m für den Eingangsbereich, insgesamt also 317 m, an benötigter FBH-Rohr-Länge ermittelt. Es wurde der gleiche

Badheizkörper wie bei der Heizkörper-Variante gewählt. Die zu erwartenden Kosten für diese Referenzwohnung mit Fußbodenheizsystem sind in Abbildung 63 zusammengestellt, die Gesamtkosten belaufen sich auf 1943 € bzw. 25,60 €/m<sup>2</sup>.

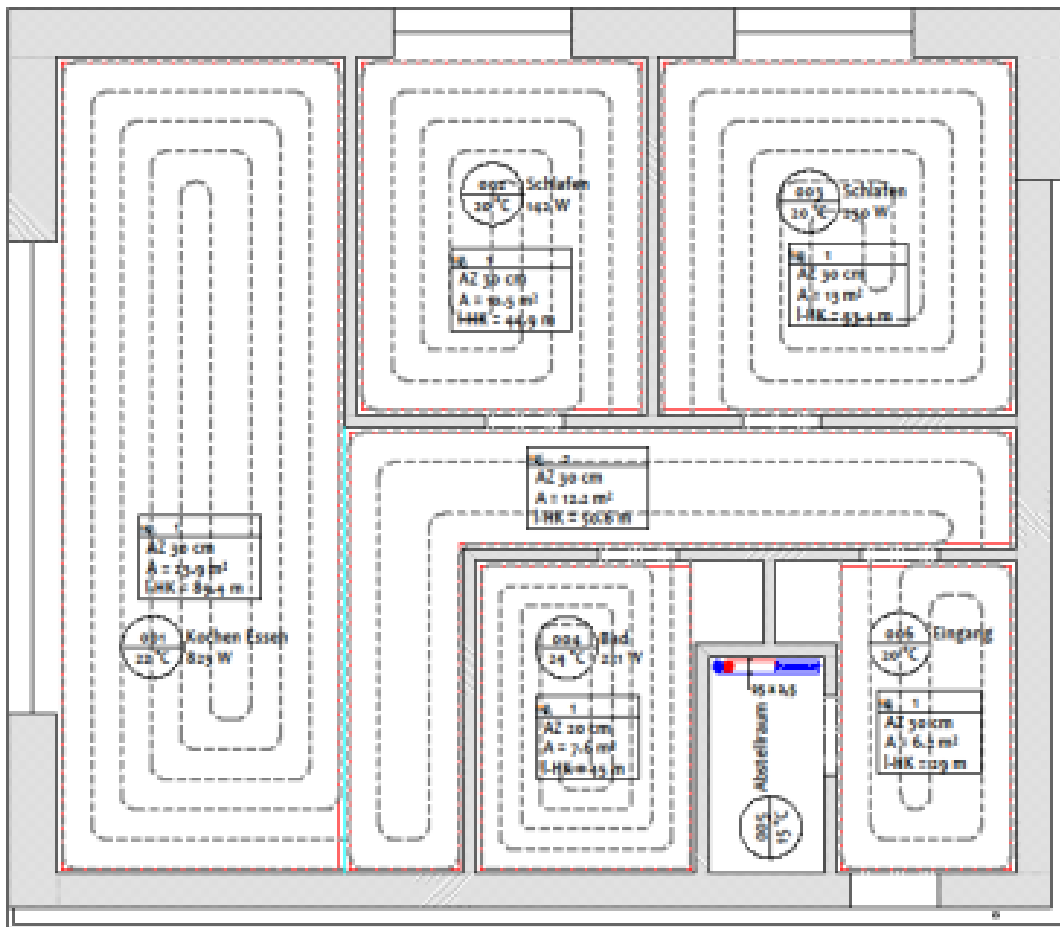


Abbildung 62: Grundriss der Referenzwohnung mit Fußbodenheizungs-Auslegung durch einen Heizungsinstallateur.

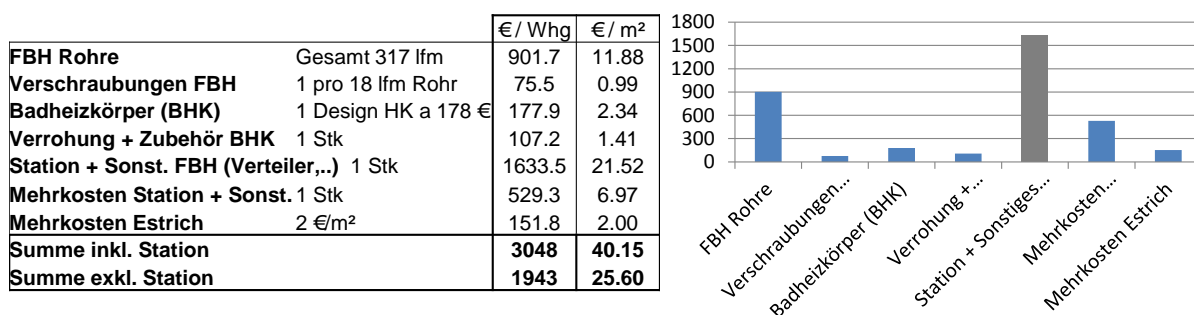


Abbildung 63: Kostenzusammenstellung für eine Fußbodenheizung für die Referenzwohnung.

### 3.4.3.3 Referenzwohnung mit Luftheizung

Die Auslegung der Heizregister erfolgte pauschal aus Projekten mit vergleichbaren Wohnungen. Bei der Luftheizung stellen sich die Kosten aus einem Heizregister, der Dämmung der Lüftungskanäle und den Thermostat mit dem Stellenantrieb zusammen. Sie sind in Abbildung 64 dargestellt und belaufen sich inklusive Badheizkörper aber ohne Wohnungsstation auf 810 € bzw. 10,7 €/m<sup>2</sup>.

		€/ Whg	€/ m <sup>2</sup>
<b>Heizregister</b>	1 Stk DN125	248.9	3.28
<b>Dämmung ZL-Leitungen</b>		128.0	1.69
<b>Stellantrieb + Thermostat</b>	1 Stk	148.1	1.95
<b>Badheizkörper (BHK)</b>	1 Design HK a 178 €	177.9	2.34
<b>Verrohrung + Zubehör BHK</b>	1 Stk	107.2	1.41
<b>Station</b>	1 Stk	1104.2	14.55
<b>Summe inkl. Station</b>		<b>1914</b>	<b>25.22</b>
<b>Summe exkl. Station</b>		<b>810</b>	<b>10.67</b>

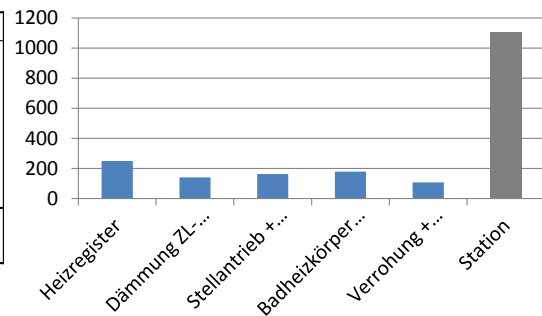


Abbildung 64: Kostenzusammenstellung für eine Luftheizung für die Referenzwohnung.

### 3.4.4 Lebenszykluskosten und Auswirkungen auf den Klimaschutz

Eine vollständige ökonomische Bewertung sollte auf Basis einer Lebenszykluskostenanalyse durchgeführt werden. D.h. neben den Investitionskosten, müssen auch Betriebs-, Wartungs- und auch Entsorgungs- bzw. Recyclingkosten berücksichtigt werden.

Recherchen und Gespräche mit den entsprechenden Personen der Bauträger bzw. Gebäudeverwalter ergaben, dass keine besonderen Unterschiede bzw. kostentreibende Aspekte bei der Wartung der hier untersuchten Wärmeabgabesysteme zu erwarten sind. Deshalb wurden für die Lebenszykluskostenberechnung pauschal 2% der baulichen Kosten (nach VDI 2067:1999) für Wartung und Instandhaltung angesetzt. Auch für die Entsorgungskosten wurde angenommen, dass keine maßgeblichen Unterschiede zu erwarten sind, sie wurden der Einfachheit halber in dieser Analyse nicht berücksichtigt.

Unterschiede für den Hilfsstrom der verschiedenen Systeme (z.B. Pumpenstrom, Druckverlust am Lüftungsheizregister,...) wurden mit Hilfe von Herstellerangaben in Bezug auf Druckverlust, Pumpwirkungsgrad, etc. abgeschätzt. Für den Heizkörperkreis wurde der erforderliche Pumpstrom auf Basis des errechneten Druckverlustes im Heizkreis (der längste hydraulische Kreis innerhalb der Wohnung) und des Pumpenwirkungsgrades ermittelt. Der Druckverlust wurde aus den Auslegungsunterlagen des Installateurs entnommen, dieser betrug 7000 Pa und wird maßgeblich durch den Heizkörper (bzw. dessen Ventil) bestimmt. Für den Pumpwirkungsgrad wurde von einer zentralen Pumpe für die gesamte Wohnanlage mit 20 Wohneinheiten (Verteilleitung Druckverlust 5 mWS) ausgegangen ( $\eta=53\%$ ). Mit Hilfe eines Hersteller Pumpen Auslegungstools (Grundfos, 2015) konnte die Differenz an Pumpstrom für einen Fall mit (57000 Pa @ 150 kg/h) und ohne (50000 Pa @ 150 kg/h) Heizkörperkreis über eine Heizperiode bestimmt werden.

Für die Fußbodenheizung wurde der Pumpstrom in ähnlicher Weise ermittelt. Der zu erwartende Druckverlust und der erforderliche Massenstrom im längsten Heizkreis (Wohnzimmer: 90 m) inklusive Verteiler (10000 Pa @ 150 kg/h) ergab laut Pumpenauslegungstool einen Stromverbrauch von 38 kWh/a pro Heizperiode.

Bei der Luftheizung wurde die wasserseitige und luftseitige Erhöhung des Pumpenstroms bzw. des Ventilatorstroms abgeschätzt. Der luft- und wasserseitige Druckverlust wurde mit Hilfe eines Herstellerdatenblatts mit 3500 Pa (wasserseitig) und 15 Pa (luftseitig) angesetzt. Der Ventilatorwirkungsgrad der Lüftungsanlage wurde mit  $\eta=7\%$  angenommen. Mit Hilfe der

Beziehung  $P = \frac{p \cdot \dot{V}}{\eta}$  wurde der Ventilatorstrom für ein gesamtes Jahr (44 kWh/a)

abgeschätzt.

Die so errechneten Unterschiede im Hilfsstrom des jeweiligen Wärmeabgabesystems flossen bei der Lebenszykluskostenanalyse in die Bestimmung der jährlichen Hilfsstromkosten bzw. der betriebsgebundenen Kosten ein (siehe Tabelle 9).

Die Bestimmung des CO<sub>2</sub> Ausstoßes und des Primärenergieaufwandes erfolgte auf Basis anerkannter Datenbanken. Der Heizwärmebedarf und die daraus resultierenden Heizkosten wurden aus den Ergebnissen der dynamischen Gebäudesimulation (Kap. 3.3.1) ermittelt. Die Unterschiede sind klein und auf die leicht unterschiedliche Einhaltung der Temperaturniveaus zurückzuführen.

Betrachtet man die sich ergebenden jährlichen Gesamtkosten (Abbildung 65) so setzen sich diese zu ca. 30-50% aus den Heizkosten zusammen. Klammert man die Heizkosten aus, so betragen die annuitätischen baulichen Kosten 70-76% der jährlichen Gesamtkosten. Die Unterschiede zwischen den drei Wärmeabgabesystemen ergeben sich somit hauptsächlich durch die Investitionskotenunterschiede. Die Unterschiede in Hilfsenergiekosten betragen nur ca. 3% der jährlichen Gesamtkosten und sind somit fast zu vernachlässigen. Bei den Lebenszykluskosten macht sich somit der erhöhte bauliche Aufwand bemerkbar. Die Lösung mit Heizkörper mit Thermostatventilen kostet ca. 40%, die Fußbodenheizung ca. 60% mehr als die Luftheizung. Bezieht man die annuitätischen Kostenunterschiede auf die Gesamtkosten ohne Heizenergiekosten, so kostet das Heizkörpersystem ca. 80%, die Fußbodenheizung ca. 120% mehr als die Luftheizung.

Die Nachhaltigkeitsbewertung (Primärenergie-Aufwand und CO<sub>2</sub>-Ausstoss) ergibt keine großen Unterschiede, da diese durch die Heizwärmeerzeugung dominiert wird (Abbildung 66). Herstellung und Hilfsenergie machen nur ca. 7-15% des Gesamt-PE-Aufwandes bzw. des CO<sub>2</sub>-Ausstosses aus. Klammert man wieder die Heizenergie aus der Betrachtung aus, so stellt sich die Heizkörperlösung, aufgrund des geringeren Hilfsstrombedarfs, mit den niedrigsten Werten (ca. 30-40% geringer als bei der Luftheizung) dar.

Tabelle 9: Jährliche Gesamtkosten, CO<sub>2</sub>-Ausstoss und Primärenergie(PE)-Aufwand für Wärmeabgabesysteme (nur innerhalb der Wohneinheit)

			Luftheizung	Heizkörper	Fußbodenhgz
Fläche	76 [m <sup>2</sup> ]				
<b>Simulation</b>					
Heizwärme spezifisch für Referenzfall	[kWh/m <sup>2</sup> a]		13.5	14.0	13.4
Heizwärme für Referenzfall	[kWh/a]		1028	1060	1017
Wirkungsgrad Kessel	[-]		0.9	0.9	0.9
Endenergie Heizung	[kWh/a]		1142	1178	1130
Hilfsstrom Pumpe (Anteil Wohnung)	[kWh/a]		1.0	1.8	38.0
zusätzlicher Ventilatorstrom	[kWh/a]		45	0	0
Hilfsenergie gesamt	[kWh/a]		46.0	1.8	38.0
Hilfsenergie spezifisch	[kWh/m <sup>2</sup> a]		0.60	0.02	0.50
<b>bauliche Investitionskosten</b>	[€]		<b>810</b>	<b>1644</b>	<b>1943</b>
	[€/m <sup>2</sup> ]		10.7	21.6	25.6
jährliche Kosten					
Kalkulationszinssatz	0.03 [-]				
Kalkulationszeitraum	20 [a]				
Annuitätsfaktor	0.06 [-]				
<b>annuitätische Kapitalkosten</b>	[€/a]		<b>52.0</b>	<b>105.5</b>	<b>124.7</b>
mittlere Energiekosten Strom	0.15 [€/kWh]				
mittlere Energiekosten Gas	0.07 [€/kWh]				
jährliche Heizkosten	[€/a]		79.9	82.5	79.1
jährliche Hilfsenergiekosten	[€/a]		6.9	0.3	5.7
Wartungskostenanteil	0.02 [-]				
<b>betriebsgebundene Kosten</b>	[€/a]		<b>16.2</b>	<b>32.9</b>	<b>38.9</b>
<b>jährliche Gesamtkosten</b>	[€/a]		<b>155.0</b>	<b>221.1</b>	<b>248.3</b>
<b>spezifische jährliche Gesamtkosten</b>	[€/m <sup>2</sup> a]		<b>2.0</b>	<b>2.9</b>	<b>3.3</b>
CO2 Ausstoss für Herstellung	kg/WE		121.6	410.4	395.2
Primärenergieaufwand (PE Aufwand)	kWh/WE		633.3	1921.1	2681.1
Lebensdauer (=Kalkulationszeitraum)	20 a				
CO2 Ausstoss für Heizenergie (Gas)	kg/a		285.4	294.5	282.5
CO2 Ausstoss für Hilfsstrom (Strom-Mix)	kg/a		31.2	1.2	25.8
PE Aufwand für Heizenergie (Gas)	kWh/a		1255.9	1295.8	1242.9
PE Aufwand für Hilfsstrom (Strom-Mix)	kWh/a		119.5	4.7	98.8
<b>CO2 Ausstoss Gesamt</b>	kg/a		<b>323</b>	<b>316</b>	<b>328</b>
<b>PE Aufwand Gesamt</b>	kWh/a		<b>1407</b>	<b>1397</b>	<b>1476</b>



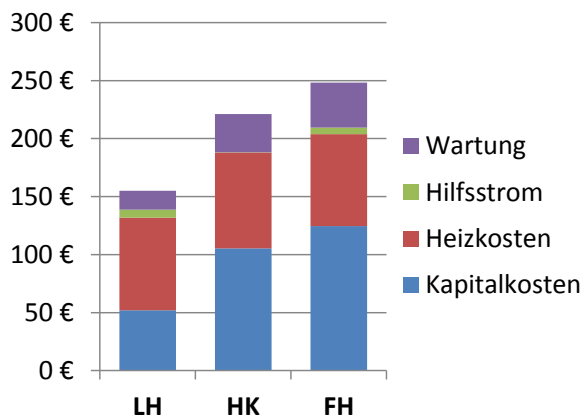


Abbildung 65: Vergleich der jährlichen Gesamtkosten für Luftheizung (LH), Heizkörper (HK) und Fußbodenheizung (FH)

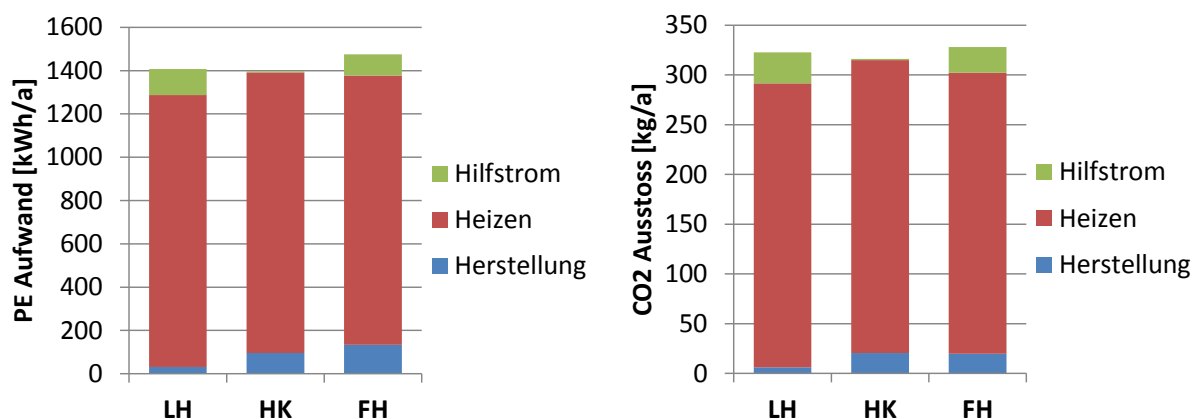


Abbildung 66: Vergleich des Primärenergie-Aufwands (links) und des CO<sub>2</sub>-Ausstosses (rechts) für Luftheizung (LH), Heizkörper (HK) und Fußbodenheizung (FH)

### 3.4.5 Einsparpotentiale

Für das Heizkörpersystem stellt sich die Frage inwieweit sich die dargestellten Kosten reduzieren lassen, wenn man von der gängigen Baupraxis abweicht. Die Heizkörper werden typischerweise auch im Passivhaus noch unter die Fenster platziert. Dies wäre aus bauphysikalischer Sicht nicht mehr erforderlich, den bei einer Gebäudehülle in Passivhaus-Qualität müssen kalten Außenwand- oder Verglasungsoberflächen nicht mehr „strahlungskompensiert“ werden. Im Folgenden wurde anhand der erhobenen Kostendaten abgeschätzt wie weit sich die Kosten für die Heizkörper-Installation verringern ließen. Dafür wurde, unabhängig von architektonischen Gesichtspunkten, eine „Verrohrungs-minimale“ Heizkörperanordnung gewählt. Diese ist in Abbildung 67 dargestellt und könnte direkt in der abgehängten Decke im Flur verlegt sein. Es wurde von einer Montage der Schlaf- und Kinderzimmerheizkörper über dem Türsturz ausgegangen. Die Heizkörpergröße wurde dafür auf das Notwendige reduziert.

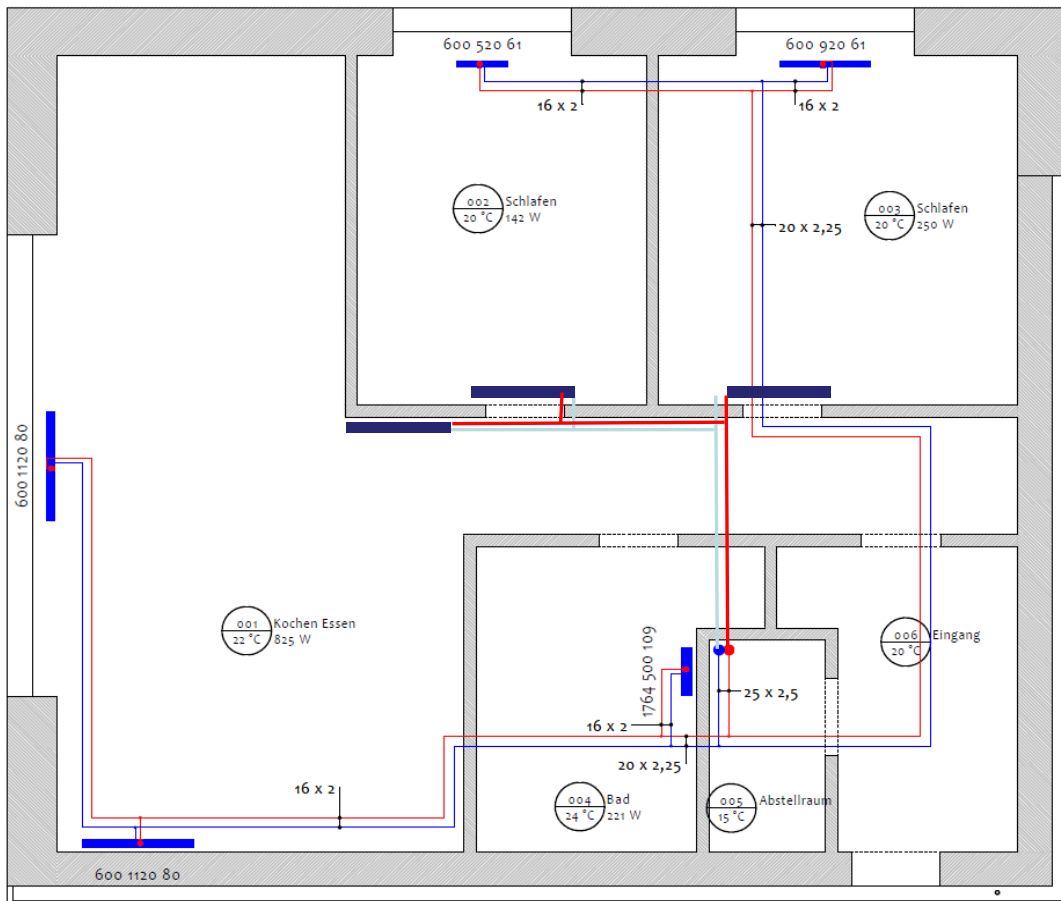


Abbildung 67: Grundriss mit ursprünglicher (unter Fenster) und kostenoptimierter Heizkörperanordnung.

Vor allem aufgrund der reduzierten Verrohrungslänge (-65%) könnten die Kosten für das Heizkörpersystem auf fast die Hälfte auf ca. 900 € reduziert werden (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Kostenvergleich zwischen ursprünglicher und kostenoptimierter Heizkörperanordnung.

	Kosten pro Einheit	PH Installateur		PH Optimiert	
		Einheit	Kosten	Einheit	Kosten
Verrohrung	15 €	57lm	855	20lm	300
Heizkörper WZ1	50€ + 135€/kW	572W	127	310W	92
Heizkörper WZ2	50€ + 135€/kW	572W	127		
Heizkörper KZ	50€ + 135€/kW	196W	76	190W	76
Heizkörper SZ	50€ + 135€/kW	301W	91	290W	89
Thermostat	11 €	5Stk	55	4Stk	44
Zubehör f. HK	19 €	4Stk	76	3Stk	57
Badheizkörper (inkl. Zubehör)	223 €	1Stk	223	1Stk	223
<b>Summe</b>			<b>1,631 €</b>		<b>881 €</b>

Bei der Luftheizung werden mögliche Kostenreduktionspotentiale von den Autoren nicht bauseits sondern in der Fertigung der Heizregister vermutet. Hier ist anzunehmen, dass eine erhöhte Stückzahl die Kosten deutlich reduzieren könnte.

## **4 Detailangaben in Bezug auf die Ziele des Programms**

### **4.1 Einpassung in das Programm**

Für die Erreichung der von der Europäischen Union (EU) vorgeschriebenen Ziele für die Energieeffizienz von Gebäuden (EPBD) bedarf es umsetzbare Baukonzepte.

Das Passivhauskonzept ist eine mögliche Schlüsseltechnologie für Gebäude der Zukunft, es ermöglicht eine drastische Reduktion des Heizwärmebedarfs gegenüber dem Gebäudebestand, und bietet gleichzeitig einen sehr hohen thermischen Komfort für die Benutzer. In Österreich gibt es derzeit ca. 6000 Passivhäuser. In zahlreichen Monitoringprojekten (Exner & Mahlknecht, 2012; Feist et al., 2001; Krapmeier & Drössler, 2001; Pfluger & Feist, 2001; Wagner et al., 2012) wurde das Energiesparpotential validiert und die Nutzerzufriedenheit dokumentiert. Damit sich das Passivhauskonzept als Gebäudestandard in der österreichischen Baupraxis besser etablieren kann, sind noch einige rechtliche, wirtschaftliche und technologische Fragestellungen bzw. Herausforderungen zu klären.

### **4.2 Beitrag zum Gesamtziel des Programms**

Diese strategische Arbeit sollte speziell für Passivhäuser beantworten, wie stark die Wahl des Wärmeabgabesystems die Lebenszykluskosten zum einen, und die thermische Behaglichkeit zum anderen, beeinflusst. Die Ergebnisse ergänzen die im Rahmen des Programms „Haus der Zukunft“ in einer Vielzahl von Studien bereits gewonnenen Erkenntnisse. Die Akteure der Bauwirtschaft können somit auf diesen umfangreichen „Wissensschatz“ für die erfolgreiche Umsetzung von hoch energieeffizienten und gesunden Wohnbauprojekten zurückgreifen.

### **4.3 Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt**

Bereits am Anfang dieses Projekts wurden die relevanten Zielgruppen im Rahmen der Telefonbefragung einbezogen. Ihre Antworten und Hinweise flossen bei der Detail-Ausrichtung und bei der Abarbeitung der Forschungsfragen innerhalb dieser Studie ein.

Bei der Kostenrecherche wurde eng mit Wohnbauträgern zusammen gearbeitet. Sie stellten dankenswerterweise nicht nur den Zugang zu den Kostendaten zur Verfügung, sie lieferten in persönlichen Austausch wertvolles Know-How und Hinweise für das erfolgreiche Erstellen dieser Studie.

Im Rahmen der Verbreitungsaktivitäten wurden die Ergebnisse für Planer, Wohnbauträger, Energieberater, und Wohnbauförderer aufbereitet, verschickt und mehrfach präsentiert. So

wurde eine schriftliche Kurzfassung der Ergebnisse an alle Teilnehmer der Telefonumfrage, u.a. auch die Wohnbauförderstellen verschickt. Zusätzlich wurden die Ergebnisse im Rahmen einer 3-stündigen Informationsveranstaltung an der Universität Innsbruck zum Thema Luftheizung für das „regionale Fachpublikum“ vorgestellt. Des Weiteren wurde eine Zusammenfassung der Erkenntnisse auf der internationalen Passivhaustagung 2015 in Leipzig vorgetragen.

#### **4.4 Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse**

Nicht zutreffend

### **5 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen**

Diese Studie zeigt, dass in Passivhäusern (mehrgeschossiger Wohnbau) ein luftgeführtes Heizsystem ebenso die strengste Behaglichkeitsklasse erfüllt wie ein wassergeführtes. Dies gilt für den Wohnbereich (bzw. jenen Raum wo der Temperatursensor positioniert ist). Sollen auch die Schlafräume durchgehend die strengste Behaglichkeitsklasse erfüllen, bedarf es einer raumweisen Temperaturregelung. Bei einer wohnungsweisen Regelung (wie üblicherweise bei der Luft- und Fußbodenheizung implementiert) können je nach Randbedingung und Nutzerverhalten unerwünschte Temperaturdifferenzen zwischen den einzelnen Räumen entstehen. Eine erhöhte planerische Sorgfalt ist in diesen Fällen erforderlich.

Die Kostenrecherche zeigt, dass bei aktueller Baupraxis bei einer Luftheizung (mit wohnungsweiser Regelung) von 800 € bzw. 1100 € Einsparung gegenüber der Radiatorheizung bzw. der Fußbodenheizung ausgegangen werden darf. Mögliche Passivhaus-bedingte Einsparpotentiale (kostenoptimierte Positionierung und kleinere Heizflächen) können diese Kostenunterschiede noch verringern.

Für eine raumweise Regelung (ein Heizregister pro Raum) sind derzeit für die Luftheizung ähnliche Kosten wie für die Heizkörperlösung (mit Thermostatventil) anzusetzen. In diesem Fall bleibt der Vorteil einer erhöhten architektonischen Freiheit einer Luftheizung im Vergleich zu einer Lösung mit Heizkörper. Die Fußbodenheizung besitzt auch diesen Vorteil, jedoch bei etwas höheren Kosten. Demgegenüber stehen Einschränkungen bei der Wahl des Lüftungssystems. Das Prinzip der erweiterten Kaskadenlüftung und das Einlegen der Luftleitungen in die Betondecke sind bei einer Luftheizung nicht bzw. nur bedingt möglich. Eine bedarfsgeführte Volumenstromanpassung kann unter Umständen nicht in vollem Umfang implementiert werden. Gegenüber der Fußbodenheizung besitzt die Luftheizung außerdem den Nachteil, dass die Beheizung nicht mit Niedertemperaturwärme möglich ist.

Die hier erarbeiteten Ergebnisse können künftig eingesetzt um behagliche, effiziente und ökonomisch günstige Heizverteilsysteme zu entwickeln und zu verbessern. Sie sind nicht nur für das Projektteam sondern vor allem auch für Wohnungsbaugesellschaften, PlanerInnen und Förderstellen von Interesse.

## **6 Ausblick und Empfehlungen**

Die im Projekt LUNA erarbeiteten Ergebnisse und Erkenntnisse bilden eine wertvolle Grundlage für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Heizwärmeverteilung und Heizwärmeübergabe für Passivhäuser. Das Passivhaus, welches die Grundlage für die effiziente und kostengünstige Umsetzung des von der EU im Rahmen der EPPD geforderten NZEB bildet, bietet gerade im Bereich der Gebäudetechnik noch immer weitgehend unerschlossene Einsparpotenziale. Reduzierte – und damit ökonomisch günstige Wärmeversorgungs- und Verteilsysteme eröffnen neue finanzielle Spielräume bei der Effizienz der Gebäudehülle. Wie diese aktuelle Studie gezeigt hat, ist der klassische Heizkörper mit Thermostatventil aufgrund der hohen Stückzahlen nur geringfügig teurer als die Luftheizung und ermöglicht problemlose Einzelraumregelung. Gegenüber der klassischen Heizkörperinstallation unter dem Fenster, ermöglicht das Passivhaus die praktisch beliebige Anordnung und damit reduzierte Kosten für das Verteilnetz. Weitere Einsparungen werden durch die reduzierte Heizleistung des Wärmereizers sowie reduzierte Heizkörperflächen ermöglicht.

Neben dieser klassischen hydraulischen Heizwärmeverteilung spielt in der Sanierung bei nachträglichem Einbau von Lüftungsanlagen die Möglichkeit der aktiven Überströmung eine wichtige Rolle, wenn auf Zuluftkanäle und Deckenabhängung weitgehend verzichtet werden soll. Hier könnte die Luftheizung künftig in Form von aktiven Überströmern mit Heizfunktion (anknüpfend an die Erkenntnisse im Abschnitt 3.3.1.11) einen interessanten Einsatzbereich finden. Auch bei dieser Lösung sind die Kosten durch die Massenproduktion der Multisplitgeräte gering, eine Einzelraumregelung ist ebenso möglich. Allerdings sind hierfür noch weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten notwendig, um den reibungslosen Praxiseinsatz mit allen planerischen und baupraktischen Herausforderungen zu ermöglichen.

Die genannten aktiven Überströmern mit Heizfunktion bauen zwar auf handelsüblichen Innenheiten von Multisplitgeräten auf, benötigen allerdings gerätetechnische und bauliche Adaptionen. Darüber hinaus besteht bei der Umsetzung noch ein gewisses Entwicklungsrisiko. Eine exemplarische Umsetzung gemeinsam mit einem Hersteller im Rahmen eines Demonstrationsvorhabens ist für den „proof of concept“ unerlässlich.

## 7 Literatur-/ Abbildungs- / Tabellenverzeichnis

### 7.1 Literaturverzeichnis

- Beele, H. E. (2002). Auslegung von Thermostatventilen. *IHKS Fachjournal*, 03, 62–67. Retrieved from <http://www.ihks-fachjournal.de/oobe/teaser.php?id=33>
- Blay, D., Mergui, S., & Niculae, C. (1992). Confined turbulent mixed convection in presence of a horizontal buoyant wall jet. *ASME-PUBLICATIONS-HTD*, 213, 65–72.
- Dorer, V., & Haas, A. (2004). *Optimierte Luftheizung für MINERGIE-P und Passivhäuser*. Bern.
- Exner, D. (Ed. .), & Mahlknecht, H. (Ed. .) (2012). *Enerbuild: User habits, impact on energy consumption in passive houses*. Bozen, Italy: EURAC, Bozen. Retrieved from [http://www.enerbuild.eu/publications/2012-06\\_ENERBUILD-result\\_5-4.pdf](http://www.enerbuild.eu/publications/2012-06_ENERBUILD-result_5-4.pdf)
- Feist, W. (n.d.-a). DYNBIL DYNamische Gebäude Energie-BILanzen. Retrieved from [http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus\\_D/DYNBIL.htm](http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/DYNBIL.htm)
- Feist, W. (n.d.-b). Heizlast in Passivhäusern. *Passivhaus Institut, Darmstadt*. Retrieved from [http://www.passipedia.de/passipedia\\_de/grundlagen/bauphysikalische\\_grundlagen/heizlast](http://www.passipedia.de/passipedia_de/grundlagen/bauphysikalische_grundlagen/heizlast)
- Feist, W. (n.d.-c). Passivhaus Definition. *Passivhaus Institut, Darmstadt*. Retrieved from [http://passipedia.passiv.de/passipedia\\_de/grundlagen/was\\_ist\\_ein\\_passivhaus\\_/passivhaus\\_definition](http://passipedia.passiv.de/passipedia_de/grundlagen/was_ist_ein_passivhaus_/passivhaus_definition)
- Feist, W. (Ed.). (2004). *AKKP 25: Temperaturdifferenzierung in der Wohnung*. Passivhaus Institut.
- Feist, W., Peper, S., & Kah, O. (2001). CEPHEUS-Projektinformation Nr 19: Meßtechnische Untersuchung und Auswertung-Klimaneutrale Passivhaussiedlung Hannover-Kronsberg [Measurement and analysis of climate neutral Passive House estate Hannover-Kronsberg]. Hannover: Muncipal Utility of Hannover: Passivhaus Institut. Retrieved from [http://www.passiv.de/downloads/05\\_cepheus\\_19\\_messung.pdf](http://www.passiv.de/downloads/05_cepheus_19_messung.pdf)
- Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., & Haas, A. (2005). Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. *Energy and Buildings*, 37(11), 1186–1203. doi:10.1016/j.enbuild.2005.06.020
- Grundfos. (2015). Quick Pump Selector. Retrieved March 30, 2015, from <http://ae.grundfos.com/business-areas/commercial-buildings/tools/quick-pump.html>
- Hermelink, A. (2004). Werden Wünsche wahr? Temperaturen in Passivhäusern für Mieter. In W. Feist (Ed.), *AKKP 25: Temperaturdifferenzierung in der Wohnung* (pp. 41–60). Darmstadt: Passivhaus Institut.
- Heschl, C., Inthavong, K., & Tu, J. (2012). Evaluation of Eddy Viscosity Turbulence Models To Predict Convective Heat Transfer. In *Ninth Int. Conference on CFD in the Minerals and Process Industries CSIRO* (pp. 1–6).
- Kaufmann, B., Ebel, W., & Feist, W. (2010). *Ökonomische Evaluierung zweier Sanierungsprojekte mit Dokumentation der abgerechneten Kosten: Hohelogstraße und Schlesierstraße in Ludwigshafen*.
- KliNaWo - Klimagerechter Nachhaltiger Wohnbau. (2015). Retrieved April 15, 2015, from <http://www.alp-s.at/cms/de/land/abgeschlossene-projekte/g10-klinawo/>
- Krapmeier, H., & Drössler, E. (2001). *CEPHEUS Wohnkomfort ohne heizung*. Springer.

- Krissmer, L. (n.d.). *Bachelorarbeit: Wirtschaftliche Bewertung von möglichen Wärmeverteilungssystemen in Passivhäusern*. Innsbruck.
- Meteonorm. (n.d.). Retrieved from <http://meteonorm.com/home/>
- Meyer, C., Oppermann, J., & Wimmer, A. (2004). *Behaglichkeitsatlas*.
- Nilsson, H., Brohus, H., & Nielsen, P. V. (2007). Annex 20: Benchmark Test for a Computer Simulated Person - Manikin Heat Loss for Thermal Comfort Evaluation. Univ. Aalborg, Dept. of Building Technology, Denmark. Retrieved from <http://www.cfd-benchmarks.com/>
- Pfluger, R., & Feist, W. (2001). *CEPHEUS Nr 15: Meßtechnische Untersuchung und Auswertung - Kassel Marbachshöhe [Measurement and analysis - Kassel Marbachshöhe]*. Darmstadt: Passivhaus Institut.
- Rohregger, G., Lipp, B., Lackner, H., Moser, M., Buber, R., Gardner, J., & Waltjen, T. (2004). *Behagliche Nachhaltigkeit*. Wien.
- Rojas, G., Pfluger, R., & Feist, W. (2013). Raumlufqualitätsbewertung nach multiplen Kriterien für die Optimierung von Lüftungssystemen. In *Umwelt, Gebäude & Gesundheit - Ergebnisse des 10. Fachkongresses* (pp. 250–259). Nuernberg: AGÖF - Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute.
- Rojas, G., Sibille, E., & Pfluger, R. (2012). Sensitivitätsanalyse zur Raumlufqualitäts mit Wohnraumlüftung. In *enova - Nachhaltige Gebäude* (pp. 323–330). Forschungs- und Studienzentrum Pinkafeld.
- Schnieders, J. (2003). Wirkung von Position und Art der Lüftungsöffnungen auf den Schadstoffabtransport. In W. Feist (Ed.), *AKKP 23: Einfluss der Lüftungsstrategie auf die Schadstoffkonzentration und -ausbreitung im Raum* (1st ed., pp. 85–123). Passivhaus Institut.
- Schnieders, J. (2004a). Einflussgrößen auf die Temperaturunterschiede in der Wohnung. In W. Feist (Ed.), *AKKP 25: Temperaturdifferenzierung in der Wohnung* (pp. 101–129). Passivhaus Institut.
- Schnieders, J. (2004b). Simulationen zur Effizienz der Wärmeübergabe. In W. Feist (Ed.), *AKKP 28: Wärmübergabe- und Verteilverluste im Passivhaus* (pp. 83–122). Passivhaus Institut.
- Schnieders, J. (2004c). Temperaturdifferenzen gezielt herstellen - wie gehts? In W. Feist (Ed.), *AKKP 25: Temperaturdifferenzierung in der Wohnung* (pp. 131–168). Passivhaus Institut.
- Schnieders, J. (2005). *Dynamisches Verhalten und Wärmeübergabeverluste von Flächenheizungen Endbericht*. Retrieved from [http://www.passiv.de/downloads/05\\_waermeuebergabeverluste.pdf](http://www.passiv.de/downloads/05_waermeuebergabeverluste.pdf)
- Schnieders, J., & Feist, W. (1998). *CEPHEUS Nr. 5: Passivhaus-Reihenhäuser: Über die Zuluft beheizbar?*
- Schnieders, J., & Hermelink, A. (2006). CEPHEUS results: measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. *Energy Policy*, 34(2), 151–171. doi:10.1016/j.enpol.2004.08.049
- Schöberl, H., Bednar, T., Radoslav, H., Konder, H., & Keul, A. (2010). *Evaluierung der raumweisen Temperaturdifferenzierung in Wohnungen von Passivhäusern*.
- Schöberl, H., Lang, C., & Handler, S. (2011). Ermittlung und Evaluierung der baulichen Mehrkosten von Passivhausprojekten.
- Schwarz, M. (1999). Numerische Simulation von Luftströmungen in Wohnräumen mit mechanischer Lüftungsanlage. In W. Feist (Ed.), *AKKP 17: Dimensionierung von Lüftungsanlagen in Passivhäusern2* (1st ed.). Passivhaus Institut.

- Sinfonia - Projekt Homepage. (n.d.). Retrieved January 10, 2015, from <http://www.sinfonia-smartcities.eu/>
- Streicher, W. (2004). *Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser*. Wien.
- Taghinia, J., Rahman, M., & Siikonen, T. (2015). Simulation of indoor airflow with RAST and SST-SAS models: A comparative study. *Building Simulation*, 8(3), 297–306. doi:10.1007/s12273-015-0213-z
- Venus, D. (2012). Eigene Auswertung der IG Passivhaus Datenbank. Retrieved from [http://igpassivhaus.cuisine.at/surface\\_new/start.htm](http://igpassivhaus.cuisine.at/surface_new/start.htm)
- Wagner, W., Prein, A., Felberbauer, K., Spörk-Dür, M., & Suschek-Berger, J. (2009). *Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhauswohnanlage Dreherstraße*.
- Wagner, W., Prein, A., & Mauthner, F. (2009). Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhausanlage Utendorfgasse.
- Wagner, W., Spörk-dür, M., Kapferer, R., Braitto, M., Pfluger, R., Ochs, F., & Suschek-Berger, J. (2012). *Forschungsprojekt Passivhauswohnanlage Lodenareal (Final Report)*. Retrieved from [https://www.energie-tirol.at/fileadmin/static/sonstiges/51800\\_Lodenareal\\_Endbericht\\_2013.03.13\\_mb.pdf](https://www.energie-tirol.at/fileadmin/static/sonstiges/51800_Lodenareal_Endbericht_2013.03.13_mb.pdf)
- Walton, G. N., & Dols, W. S. (2010). *CONTAM User Guide and Program Documentation*. NIST. Retrieved from <http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/CONTAM/userguide.htm>
- Wolff, D., & Jagnow, K. (2007). Heizflächen. In E.-R. Schramek (Ed.), *Recknagel - Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik* (p. 930 u. ff.). München: Oldenburg Industrieverlag München.
- Xu, W., & Chen, Q. (2001). A two-layer turbulence model for simulating indoor airflow - Part II. Applications. *Energy and Buildings*, 33, 627–639. doi:10.1016/S0378-7788(00)00130-4
- Zhai, Z. J., Zhang, Z., Zhang, W., & Chen, Q. Y. (2007). Evaluation of Various Turbulence Models in Predicting Airflow and Turbulence in Enclosed Environments by CFD: Part 1—Summary of Prevalent Turbulence Models. *HVAC&R Research*, 13(6), 853–870. doi:10.1080/10789669.2007.10391459
- Zhang, Z., Zhang, W., Zhai, Z., & Chen, Q. (2007). Evaluation of various turbulence models in predicting airflow and turbulence in enclosed environments by CFD: Part 2—Comparison with experimental data from. *Hvac&R Research*, 13(6), 871–887. Retrieved from <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10789669.2007.10391460>



## 7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel für Fragebogen (Wohnbauträger).....	21
Abbildung 2: Zeitliche Verlauf der übertragenen Heizleistung für das detaillierte Simulink-Heizkörper-Modell und das vereinfachte Dynbil-Heizflächenmodell.....	23
Abbildung 3: Spezifische Heizleistung der Heizkörper in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen Heizkörper und Raum (logarithmische Übertemperatur).....	24
Abbildung 4: Außenansicht und Grundriss der gewählten Referenzwohnung. Für die dynamische Gebäudesimulation wurde die Wohnung in fünf Temperaturzonen unterteilt. ....	26
Abbildung 5: Temperaturverteilung (kalter Winter) aus Simulation mit fixer Solltemperatur (22°C) im Vergleich zur Simulation mit variabler Solltemperatureinstellung. ....	27
Abbildung 6: Vergleich der Luftgeschwindigkeitsprofile aus Simulation (Linie) und Experiment (Punkte) auf x-Position $x/H=1$ (links) und $x/H=2$ (rechts). ....	28
Abbildung 7: Vergleich der simulierten (Linie) und der gemessenen (Punkte (Blay et al., 1992)) mittleren Luftgeschwindigkeitskomponenten. ....	29
Abbildung 8: Vergleich der simulierten (Linie) und der gemessenen (Punkte (Blay et al., 1992)) Wurzel aus der turbulenten kinetischen Energie.....	29
Abbildung 9: Vergleich der simulierten (Linie) und der gemessenen (Punkte (Blay et al., 1992)) Lufttemperatur.....	29
Abbildung 10: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Ermittlung der baulichen Kosten (links). Tabelle mit dem verwendeten Baukostenindex für das Referenzjahr 2014 (rechts).....	30
Abbildung 11: Vergleich der Untertemperaturen (links) und der Zielwertabweichung der relativen Feuchte (rechts) aller ausgewerteten Wohneinheiten.....	34
Abbildung 12: Vergleich Untertemperaturhäufigkeit nach Projekte (für Kenrwinter) aufgeschlüsselt.....	34
Abbildung 13: Anzahl der Antworten auf die Frage ob ein Mehrfamilien- (links) bzw. Einfamilien- (rechts) Passivhaus mit oder ohne Luftheizung umgesetzt werden sollte.....	37
Abbildung 14: Geschätzte Einsparung (inkl. USt.) bei der Luftheizung fürs Mehrfamilienhaus in €/m <sup>2</sup> -Nutzfläche (links) und für Einfamilienhaus in € pro Objekt (rechts). ....	38
Abbildung 15: Befragungsergebnisse zur Beurteilung der Vor- und Nachteile in Bezug auf Wartung/Instandhaltung (links), des Einflusses auf den Wert des Gebäudes (mittig) und des Planungsaufwandes (rechts) einer Luftheizung. ....	38
Abbildung 16: Kumulative Häufigkeitsverteilung der operativen Temperatur. ....	39

Abbildung 17: Kumulative Häufigkeitsverteilung der Heizleistung.....	40
Abbildung 18: Zeitlicher Verlauf der operativen Temperatur und der eingebrachten Heizleistung.....	41
Abbildung 19: Über- und Untertemperaturen Wohnzimmer .....	42
Abbildung 20: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer .....	43
Abbildung 21: Über- und Untertemperaturen Schlafzimmer.....	43
Abbildung 22: Über- und Untertemperaturen Wohnzimmer .....	44
Abbildung 23: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer .....	45
Abbildung 24: Über- und Untertemperaturen Schlafzimmer.....	45
Abbildung 25: Über- und Untertemperaturen Wohnzimmer .....	47
Abbildung 26: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer .....	47
Abbildung 27: Über- und Untertemperaturen Kinderzimmer .....	47
Abbildung 28: Heizleistungsverteilung für den Fall „PH+“ (links) und „OIB“ (rechts).....	48
Abbildung 29: Relative Feuchte im Wohn-, Kinder- und Schlafzimmer für verschiedene Lüftungskonzepte.....	48
Abbildung 30: Aufheizverhalten des Wohnzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für Referenzfall.....	50
Abbildung 31: Aufheizverhalten des Wohnzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für Referenzfall aber mit 1,5-facher Heizleistungs-Auslegung.....	50
Abbildung 32: Aufheizverhalten des Schlafzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für Referenzfall.....	51
Abbildung 33: Aufheizverhalten des Wohnzimmers nach „Erstbezug“ im Dezember für den Fall mit „oben und unten“ Außenwandflächen.....	51
Abbildung 34: Regelverhalten bei sprunghafter Erhöhung der internen Wärmequellen (+500W zwischen 12 Uhr und 22 Uhr am 24. Dez.) im Wohnzimmer.....	52
Abbildung 35: Szenario mit Untertemperaturen im Schlafzimmer bei wohnungsweiser Regelung (Süd Orientierung). Boxplot der operativen Temperaturverteilung.....	55
Abbildung 36: Szenario mit Übertemperaturen im Schlafzimmer bei wohnungsweiser Regelung (West Orientierung). Boxplot der operativen Temperaturverteilung.....	55
Abbildung 37: Boxplot der operativen Temperaturverteilung im Kinder- und Schlafzimmer für eine Luftheizung mit raumweiser Regelung für verschiedene Szenarien.....	56
Abbildung 38: Boxplot der in das Kinderzimmer eingebrachten Heizleistung.....	57

Abbildung 39: Boxplot der in das Wohnzimmer eingebrachten Heizleistung.....	58
Abbildung 40: Temperatur- und Heizleistungsverteilung für Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer für eine Luftheizung in Kombination mit einer bedarfsgeführten Zuluftmenge.....	59
Abbildung 41: Temperatur- und Heizleistungsverteilung für Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer für eine Luftheizung in Kombination mit einer erweiterten Kaskadenlüftung. ....	60
Abbildung 42: Schematische Darstellung einer möglichen Realisierung eines aktiven Überströmelements mit Heizfunktion auf Basis einer Multisplit-Inneneinheit.....	61
Abbildung 43: Temperatur- und Heizleistungsverteilung für Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer für eine Luftheizung in Kombination mit einem Lüftungskonzept basierend auf aktiven Überströmern mit Heizfunktion. ....	62
Abbildung 44: 3D Ansichten der untersuchten Wohnzimmer-Geometrie aus zwei unterschiedlichen Blickwinkeln. ....	64
Abbildung 45: Die fünf herangezogenen Auswertepositionen in Draufsicht (links) und 3D Ansicht (rechts). ....	65
Abbildung 46: Visualisierung der simulierten Strömungsverhältnisse (Peile) und Temperaturverteilung (Farben) für den Fall mit Luftheizung mit Bodenauslass.....	66
Abbildung 47: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Bodenauslass vor Fenster. ....	67
Abbildung 48: Prozentsatz an Unzufriedenen für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Bodenauslass vor Fenster. ....	67
Abbildung 49: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Tellerventil an der Decke. ....	68
Abbildung 50: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall Luftheizung mit Tellerventil an der Decke.....	68
Abbildung 51: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Luftheizung mit Weitwurfdüse über Türsturz. ....	68
Abbildung 52: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall Luftheizung mit Weitwurfdüse über Türsturz. .	69

Abbildung 53: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links), Prozentsatz an Unzufriedenen / PPD (mitte) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Heizkörper. .....	69
Abbildung 54: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Heizkörper.....	69
Abbildung 55: Vorausgesagtes mittleres Votum / PMV (links) und Zugluft-Risiko / DR (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Fußbodenheizung. ....	70
Abbildung 56: Prozentsatz an Unzufriedenen (PD) für vertikalen Lufttemperaturunterschied (links), Bodentemperatur (mitte) und Strahlungstemperaturunterschied aufgrund warmer Decke (rechts) gemäß ISO 7730 für den Fall mit Fußbodenheizung. ....	70
Abbildung 57: Bauliche Kosten des Wärmeabgabesystems inklusive Wohnungsstation der verschiedenen Projekte .....	71
Abbildung 58: Heizkörperkosten als Funktion der Heizleistung (für 45/40/20°C). ....	73
Abbildung 59: Flächenspezifische Kosten für diverse Komponenten für die Fußbodenheizung entnommen aus einem gut aufgeschlüsselten Leistungsverzeichnis. ....	73
Abbildung 60: Grundriss der Referenzwohnung mit Heizkörper Auslegung durch einen Heizungsinstallateur. ....	76
Abbildung 61: Kostenzusammenstellung für ein Heizkörpersystem für die Referenzwohnung. .....	76
Abbildung 62: Grundriss der Referenzwohnung mit Fußbodenheizungs-Auslegung durch einen Heizungsinstallateur. ....	77
Abbildung 63: Kostenzusammenstellung für eine Fußbodenheizung für die Referenzwohnung. ....	77
Abbildung 64: Kostenzusammenstellung für eine Luftheizung für die Referenzwohnung.....	78
Abbildung 65: Vergleich der jährlichen Gesamtkosten für Luftheizung (LH), Heizkörper (HK) und Fußbodenheizung (FH).....	81
Abbildung 66: Vergleich des Primärenergie-Aufwands (links) und des CO <sub>2</sub> -Ausstosses (rechts) für Luftheizung (LH), Heizkörper (HK) und Fußbodenheizung (FH) .....	81
Abbildung 67: Grundriss mit ursprünglicher (unter Fenster) und kostenoptimierter Heizkörperanordnung.....	82
Abbildung 68: Dreherstraße, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Stundenmittelwerte .....	100
Abbildung 69: Dreherstraße Wien, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar). ....	101
Abbildung 70: Dreherstraße Wien, Heizperiode (1. Oktober – 30. April). ....	101

Abbildung 71: Dreherstraße, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar).....	102
Abbildung 72: Dreherstraße, Heizperiode (1. Oktober – 30. April). ....	102
Abbildung 73: Utendorfsgasse, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte.....	107
Abbildung 74: Utendorfsgasse, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar).....	107
Abbildung 75: Utendorfsgasse, Heizperiode (1. Oktober – 30. April).....	108
Abbildung 76: Utendorfsgasse, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar).....	108
Abbildung 77: Utendorfsgasse, Heizperiode (1. Oktober – 30. April).....	109
Abbildung 78: Analyse der Raumlufffeuchte in Raum1 und Raum3.....	109
Abbildung 79: Hörbranz, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte .....	115
Abbildung 80: Hörbranz, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar). ....	115
Abbildung 81: Hörbranz, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar.....	116
Abbildung 82: Heizlastanalyse Hörbranz Haus 1. ....	116
Abbildung 83: Hörbranz, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar). ....	117
Abbildung 84: Hörbranz, Heizperiode (1. Oktober – 30. April). ....	117
Abbildung 85: Wolfurt, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte.....	120
Abbildung 86: Wolfurt, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar).....	121
Abbildung 87: Wolfurt, Heizperiode ( ). ....	122
Abbildung 88: Wolfurt, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar).....	122
Abbildung 89: Wolfurt, Heizperiode (1. Oktober – 30. April).....	123
Abbildung 90: Steyr-Dietach, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte .....	126
Abbildung 91: Steyr-Dietach, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar). ....	126
Abbildung 92: Steyr-Dietach, Heizperiode (1. Oktober – 30. April).....	127
Abbildung 93: Steyr-Dietach, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar). ....	127
Abbildung 94: Steyr-Dietach, Heizperiode (1. Oktober – 30. April).....	128
Abbildung 95: Mühlweg, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte.....	131
Abbildung 96: Mühlweg, Kernwinter (1. Dezember- 28. Februar). ....	132
Abbildung 97: Mühlweg, Heizperiode (1. Oktober – 30. April).....	132

Abbildung 98: Mühlweg, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar).....	133
Abbildung 99: Mühlweg, Heizperiode (1. Oktober – 30. April).....	133
Abbildung 100: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte .....	138
Abbildung 101: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W1-6.....	139
Abbildung 102: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W7-12.....	139
Abbildung 103: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W13-18.....	140
Abbildung 104: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W1-6.....	141
Abbildung 105: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W7-12.....	141
Abbildung 106: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W13-18.....	142
Abbildung 107: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W1-6.....	143
Abbildung 108: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W7-12.....	143
Abbildung 109: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W13-18.....	144
Abbildung 110: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W1-6.....	144
Abbildung 111: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W7-12.....	145
Abbildung 112: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W13-18.....	145
Abbildung 113: Fragebogen Energieberatungsinstitute – Seite 1 .....	153
Abbildung 114: Fragebogen Energieberatungsinstitute – Seite 2 .....	153
Abbildung 115: Fragebogen Wohnbauförderung – Seite 1 .....	154
Abbildung 116: Fragebogen Wohnbauförderung – Seite 2 .....	155
Abbildung 117: Fragebogen Wohnbauträger – Seite 1 .....	156
Abbildung 118: Fragebogen Wohnbauträger – Seite 2.....	157
Abbildung 119: Fragebogen Haustechnikplaner – Seite 1 .....	158
Abbildung 120: Fragebogen Haustechnikplaner – Seite 2 .....	159
Abbildung 121: Fragebogen Facility Manager – Seite 1.....	160
Abbildung 122: Fragebogen Facility Manager – Seite 2.....	162
Abbildung 123: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im MFH.....	162
Abbildung 124: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im EFH .....	163
Abbildung 125: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im MFH.....	164

Abbildung 126: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im EFH .....	165
Abbildung 127:Wohnbauträger – Luftheizung im MFH.....	167
Abbildung 128: Wohnbauträger – Luftheizung im MFH schwieriger zu vermieten.....	168
Abbildung 129: Wohnbauträger – Luftheizung im MFH hat Einfluss auf den Wert des Gebäudes.....	169
Abbildung 130: Haustechnikplaner – Luftheizung im MFH.....	170
Abbildung 131: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH .....	171
Abbildung 132: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH – geschätzte Einsparung pro m <sup>2</sup> NF .....	172
Abbildung 133: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH – geschätzte Einsparung pro EFH .....	172
Abbildung 134: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH – geschätzte Einsparung pro m <sup>2</sup> NF .....	172
Abbildung 135: Facility Manager – Luftheizung im PH.....	174
Abbildung 136: Facility Manager – Schwierigere Vermietbarkeit? .....	175
Abbildung 137: Facility Manager – Einfluss auf den Wert des Gebäudes? .....	176

### 7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Klassifizierung der Zielwertabweichung relative Feuchte (Anzahl Objekte bzw. Anteil an Gesamtanzahl in % in Klammer).....	32
Tabelle 2: Minimal-, Mittel- und Maximalwerte der Zielwertabweichung Temperatur aller Projekte.....	33
Tabelle 3: Minimal-, Mittel- und Maximalwerte der Zielwertabweichung relative Feuchte aller Projekte.....	33
Tabelle 4: Zusammenfassung der Aussagen der sozialwissenschaftlichen Untersuchung in Bezug auf Wärmeversorgung im Winter und trockene Luft.....	35
Tabelle 5: Argumente der Befragten warum sie keine Luftheizung empfehlen/umsetzen würden. ....	37
Tabelle 6: Liste der ausgewerteten Projekte.....	71
Tabelle 7: Kosten in € pro Nutzfläche für Heizregister inklusive Einbau * aus (H Schöberl et al., 2011) .....	74
Tabelle 8: Kostenbasis zur Bestimmung der baulichen Kosten der Referenzwohnung. ....	75
Tabelle 9: Jährliche Gesamtkosten, CO <sub>2</sub> -Ausstoss und Primärenergie(PE)-Aufwand für Wärmeabgabesysteme (nur innerhalb der Wohneinheit) .....	80
Tabelle 10: Kostenvergleich zwischen ursprünglicher und kostenoptimierter Heizkörperanordnung.....	82
Tabelle 11: sozialwissenschaftliche Untersuchung Dreherstraße, Zusammenfassung der Aussagen .....	103
Tabelle 12: sozialwissenschaftliche Untersuchung Utendorfgasse, Zusammenfassung der Aussagen .....	110
Tabelle 13: sozialwissenschaftliche Untersuchung Mühlweg, Zusammenfassung der Aussagen .....	134
Tabelle 14: sozialwissenschaftliche Untersuchung Mühlweg, Zusammenfassung der Aussagen .....	146
Tabelle 15: Zusammenfassung der Zielwertabweichungen aller Projekte.....	149



## 8 Anhang A: Detaillierte Auswertung der Monitoring Daten

### 8.1 Objekte mit luftgeführtem Heizsystem

#### 8.1.1 Dreherstraße, Wien

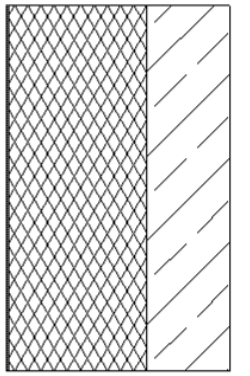
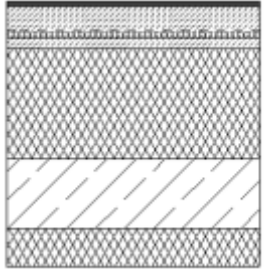
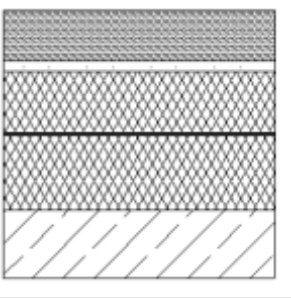
##### 8.1.1.1 Allgemeine Darstellung

Die allgemeine Darstellung bzw. die Darstellung der sozialwissenschaftlichen Untersuchung beruht auf Daten aus dem Endbericht „Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivhauswohnanlage Dreherstraße“ (W. Wagner et al. (2009)).

<b>Dreherstraße Wien</b>	
	
<b>Allgemeine Projektbeschreibung</b>	
Anschrift	Dreherstraße 66, A-1110 Wien
Gebäudetyp	Mehrfamilienwohnanlage, 5 Häuser, 138 Wohneinheiten, Tiefgarage Wohnnutzfläche gesamt: 11.517 m <sup>2</sup> (Passivhaus EBF = 2.267 m <sup>2</sup> )
Bauweise	Massivbauweise, 1 Passivhaus (Stiege 5), 4 Niedrigenergiehäuser (Stiege 1 – 4)
Bauherr	KLEA Wohnbau Gesellschaft m.b.H.
Bauträger	BUWOG Bauen und Wohnen Gesellschaft mbH
Generalunternehmer	UNIVERSALE Hochbau Wien
Architekt	büro architekt günter lautner
Konsulent	Schöberl & Pöll GmbH (Passivbauweise)
Technische Planung	VASKO + PARTNER INGENIEURE ZT für Bauwesen und Verfahrenstechnik GesmbH, Technisches Büro DI Christian Steininger (Haustechnik) Zivilingenieurbüro DI H. J. Dworak (Bauphysik – PHPP-Berechnung) TU Wien (Qualitätssicherung, Luftdichtheitsmessung)
Errichtung	November 2005 – September 2006
Kosten	3,1 Mio. €; 1.166 €/m <sup>2</sup>

## Dreherstraße Wien

### Gebäudekonzept

Baukonstruktion	Alle Gebäude wurden in Massivbauweise mit 18 cm starken Außenwänden aus Stahlbeton errichtet. Um den Passivhausstandard im Haus Melone zu erreichen wurden die Außenwände mit 30 cm EPS Dämmstoffplatten beplankt.		
Passivhaus Stiege 5	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand 	System-Dünnputz EPS Dämmung Stahlbeton Spachtelung	0,5 30,0 18,0 -	0,129
Decke gegen Tiefgarage / unbeheizten Keller 	Belag Dampfsperre Estrich PE-Folie TDPS PS-Beton EPS Dämmung Stahlbeton Kellerdecken-Dämmplatte (KDP)	1,5 - 8,0 - 2,0 3,5 35,0 22,0 12,0	0,066
Flachdach begrünt 	Extensive Begrünung Filtervlies Drainschicht Schutzvlies Durchwurzelungsschutz XPS Dämmung Feuchtigkeitsabdeckung EPS Dämmung Dampfsperre Stahlbeton Spachtelung	15 - 3,0 - - 18,0 1,0 22,0 - 20,0 -	0,091
Sonstige U- Werte [W/m <sup>2</sup> K]	Kellerdecke/Boden Holz-Alu-Fenster mit Dreischeiben-Wärmeschutzverglasung Fenster gesamt		0,09 0,6
<b>Haustechnikkonzept</b>			
Heizung/Warmwasser	Fernwärmeübergabestation im Keller, 4-Leiter-System;		

<b>Dreherstraße Wien</b>	
	Passivhaus (Stiege 5): Wärmeabgabe über Lüftung, Luftnachheizregister gespeist von Fernwärme; Niedrigenergiehäuser (Stiegen 1-4): Radiatorenheizung gespeist von Fernwärme
Lüftung Passivhaus Stiege 5	Zentrales Lüftungssystem (zentraler Wärmetauscher, zur Frostfreihaltung Vorwärmung der Frischluft über Fernwärme), dezentrale Nachheizregister (gespeist von Fernwärme) und Volumenstromregler in den Wohnungen
Haustechnikschema	
<b>Energiekennzahlen</b>	
Energiekennwert Heizwärme, berechnet laut PHPP	11,00 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> *a)
Heizwärmeverbrauch, gemessen bei mittlerer Raumtemperatur (7 Messwohnungen EBF = 521,79 m <sup>2</sup> ) Messjahr 1.10.2008 – 30.9.2009	12,64 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> *a)

### 8.1.1.2 Behaglichkeitsanalyse

Für die Auswertung der Behaglichkeit wurden 6 Messwohnungen herangezogen. Abbildung 68 zeigt den Verlauf des Maximal-, Minimal und Mittelwertes der gemessenen Raumtemperaturen und der relativen Feuchte sowie die Außentemperatur im Zeitraum von 1. Oktober 2008 – 30. April 2009 (Heizperiode).

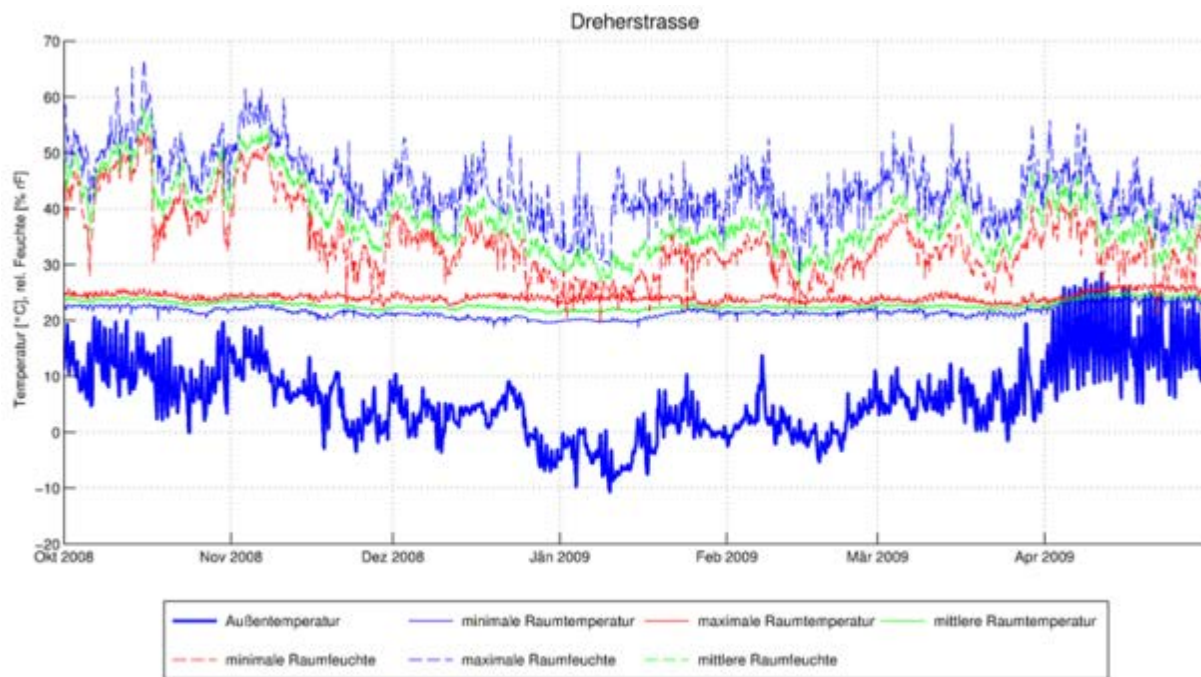


Abbildung 68: Dreherstraße, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Stundenmittelwerte

Eine genauere Analyse der Temperaturen ermöglichen die nächsten beiden Diagramme, in denen die kumulierten Häufigkeitsverteilungen der Raumtemperaturen sowie ihre Zielwertabweichung dargestellt werden. Die Zielwertabweichung bezeichnet die Anzahl der Stunden, deren Temperatur unter 21°C liegen, gewichtet nach dem Ausmaß der Abweichung, d.h. Temperaturen, die mehr als 1K abweichen werden stärker gewichtet (Verfahren (b) Anhang H der Norm ISO 7730, für Kategorie A, siehe dazu auch Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). In den Diagrammen wird auch die Gesamtzahl der Messpunkte angegeben. Im Kernwinter beträgt der Zeitraum 2161 h, in der Heizperiode 5065 h. Aus Abbildung 1 und Abbildung 70 wird ersichtlich, dass der Hauptanteil der Temperaturunterschreitung im Kernwinter liegt, nur in Wohnung 6 liegt der Hauptanteil in der Übergangsperiode. Für die Wohnungen 1, 2 und 5 wurde die größte Zielwertunterschreitung festgestellt. Eine Analyse mittels Heizlast war für diese Wohnungen nicht möglich, da nur Monatswerte der Wärmeverbräuche vorlagen.

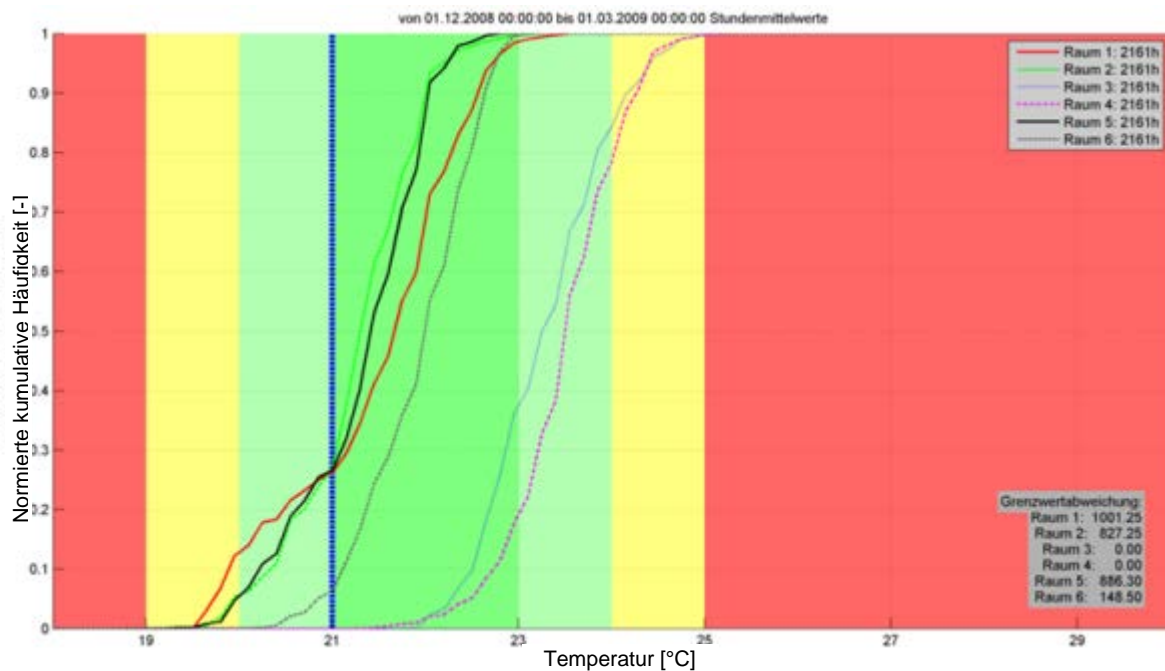


Abbildung 69: Dreherstraße Wien, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

Exemplarisch soll die Zielwertabweichung für Raum 2 näher betrachtet werden. Die Stundenzahl, in der die gemessene Raumlufttemperatur unter 21°C lag, betrug 531 Stunden und entsprach damit wie im Diagramm ersichtlich etwa 25 % des betrachteten Zeitraums. Durch die Gewichtung der Temperaturabweichung steigt die Stundenzahl (Zielwertabweichung) allerdings auf 827 Stunden.

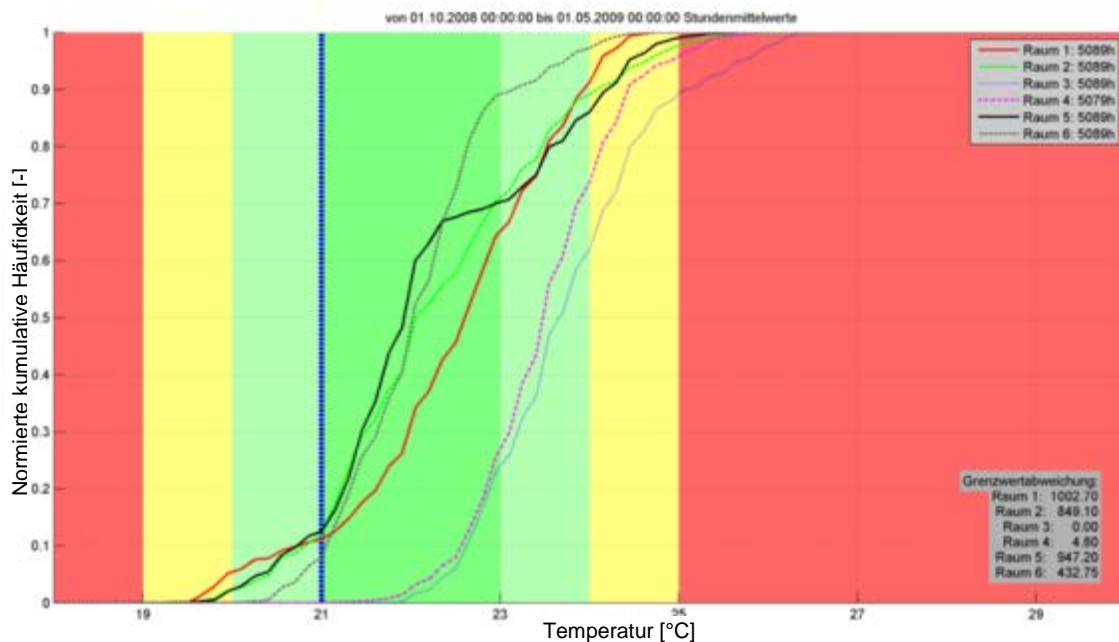


Abbildung 70: Dreherstraße Wien, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

Die Betrachtung der kumulierten Häufigkeitsverteilungen der relativen Feuchte für den Zeitraum Kernwinter und Heizperiode (Abbildung 71 und Abbildung 72) zeigt, dass die



Unterschreitung der relativen Feuchte von 30 % im Kernwinter etwa um den Faktor zwei höher liegt als in der Heizperiode. Eine Zielwertabweichung 0,96 für Raum 4 bedeutet z.B., dass die Unterschreitung von 30 %-rF über den gesamten Zeitraum Kernwinter im Mittel 0,96 %-rF beträgt, in der Heizperiode beträgt dieser Wert 0,46 %-rF.

Das Projekt Dreherstraße weist dabei von allen Projekten die geringste Unterschreitung der relativen Feuchte auf.

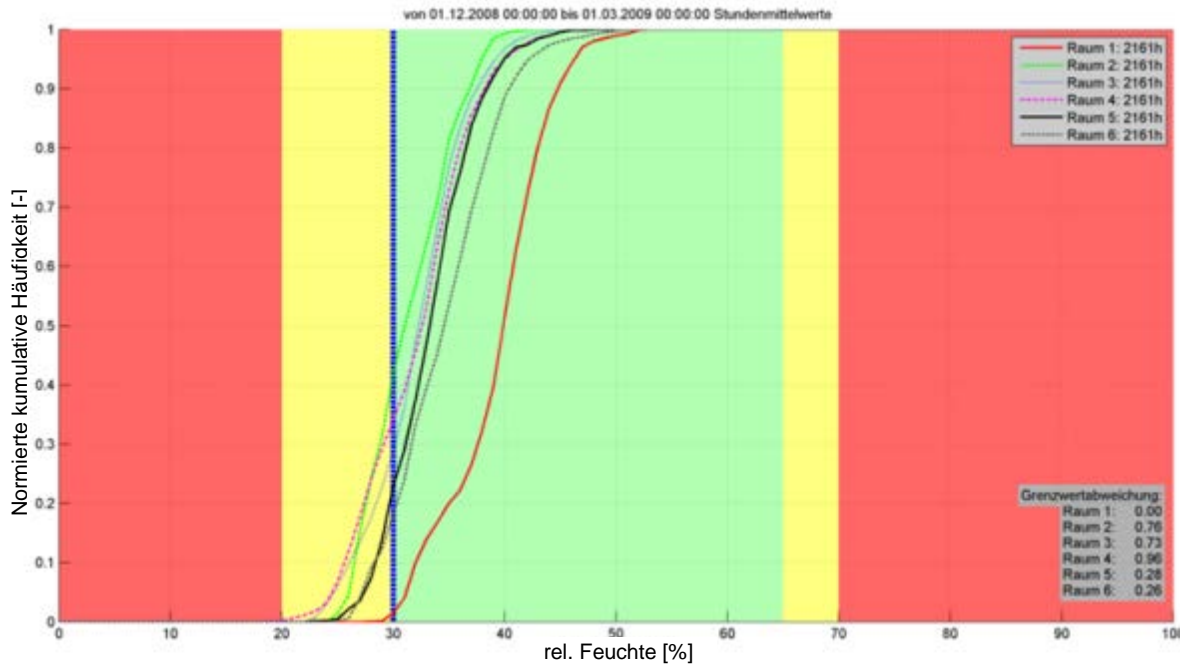


Abbildung 71: Dreherstraße, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

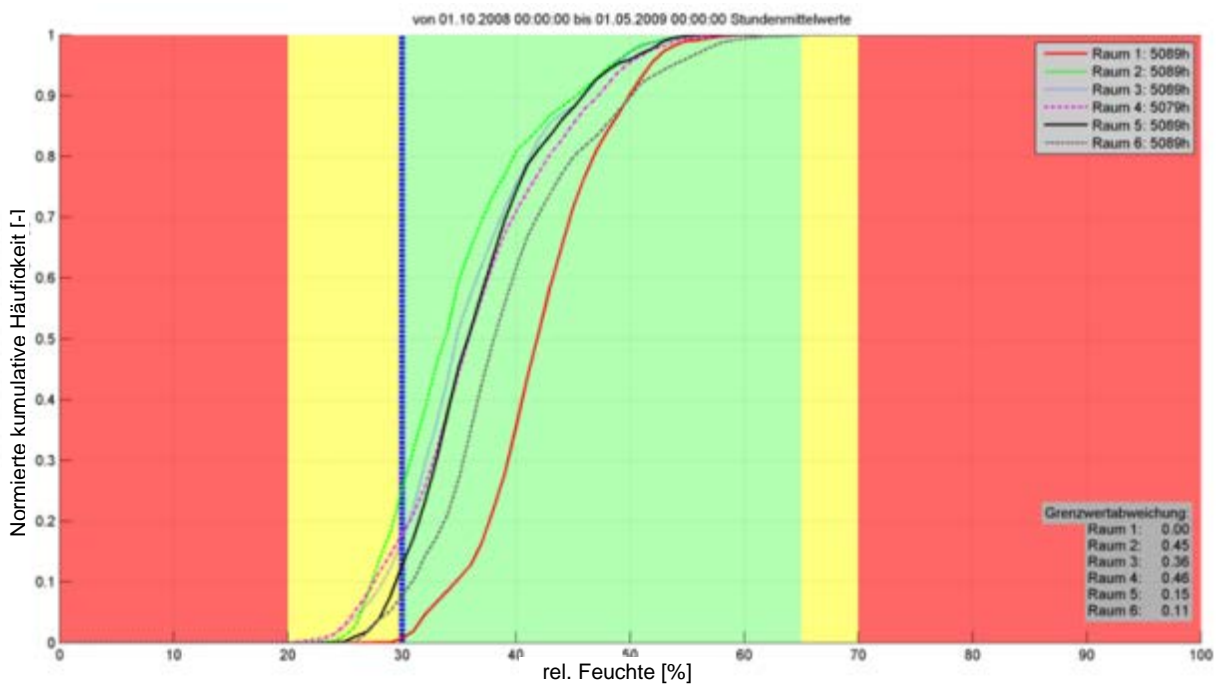


Abbildung 72: Dreherstraße, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

### 8.1.1.3 Sozialwissenschaftliche Untersuchung

Im Zuge einer sozialwissenschaftlichen Untersuchung wurden eine schriftliche (quantitative) Befragung unter den BewohnerInnen, qualitative Interviews mit BewohnerInnen zur Überprüfung der quantitativen Befragung (9 Fragebögen von 10 Messwohnungen wurden retourniert) sowie ein Interview mit dem verantwortlichen Passivhausplaner, Herrn DI Helmut Schöberl durchgeführt. Für die Befragungen verantwortlich war das IFZ (Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur, Graz). Eine Zusammenfassung der Aussagen aus den Fragebögen und qualitativen Interviews wird in der folgenden Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: sozialwissenschaftliche Untersuchung Dreherstraße, Zusammenfassung der Aussagen

Bewertungskriterien	Zufriedenheit	Bewertungskriterien	Information
Lüftungsanlage	50% zufrieden/50% unzufrieden	Menge	50% empfinden die Menge als ausreichend, 50 % als zu wenig
Regelungsschalter	manuell recht schwer zu bedienen	Handbuch/Broschüre	vorhanden/wird von brauchbar bis wenig brauchbar eingestuft
Filterwechsel	für die Parteien nicht möglich, wird aber gewünscht	persönliche Einschulung	wurde durchgeführt
Luftzufuhr	kaum Unterschiede in der Luftzufuhr zu bemerken	Hausversammlung	hat stattgefunden
trockene Luft	von einigen als Problem angeführt	Frage wieder in ein Passivhaus ziehen ja/nein	die meisten würden wieder in ein Passivhaus ziehen
Überhitzungsprobleme im Sommer	werden artikuliert	zusätzliche Informationen	Wunsch nach nochmaliger Information besteht
Verschattungssystem	kann bei Wind nicht verwendet werden		
Wärmeversorgung im Winter	teilweise Probleme mit der Wärmeversorgung		

	im Winter		
Geruchsbelästigung	laut Aussage der Bewohner über die Lüftungsrohre übertragen		
verschmutzte Auslassöffnungen in den Wohnungen	wird als Problem erwähnt		

## 8.1.2 Utendorfgasse, Wien

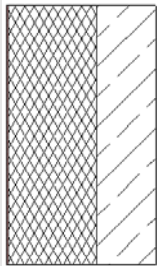
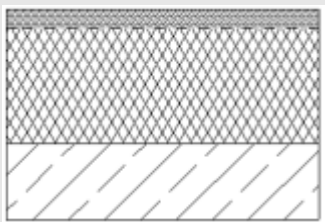
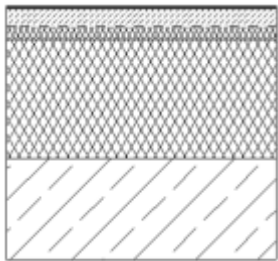
### 8.1.2.1 Allgemeine Darstellung

Die allgemeine Darstellung bzw. die Darstellung der sozialwissenschaftlichen Untersuchung beruht auf Daten aus dem Endbericht „Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung der Bauprojekte, Berichtsteil Passivwohnanlage Utendorfgasse“ (W. Wagner et al. (2008))

<b>Utendorfgasse Wien</b>	
	
<b>Allgemeine Projektbeschreibung</b>	
Anschrift	Utendorfgasse 7, A-1140 Wien
Gebäudetyp	Mehrfamilienwohnanlage, 3 Gebäude, 39 Wohneinheiten, Tiefgarage Wohnnutzfläche gesamt: 2.778 m <sup>2</sup>
Bauweise	Massivbauweise, Passivhausstandard
Bauherr/ Bauträger	Heimat Österreich Gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft m.b.H.
Generalplanung und Technische Planung	Schöberl & Pöll GmbH (Generalplanung) Architekturbüro DI Franz Kuzmich (Architektur) VASKO + PARTNER INGENIEURE ZT für Bauwesen und Verfahrenstechnik GesmbH, Technisches Büro DI Christian Steininger (Haustechnik) Werkraum ZT OEG (Bauphysik) TU Wien (Wissenschaftliche Begleitung)
Errichtung	2005 - 2006



## Utendorfgasse Wien

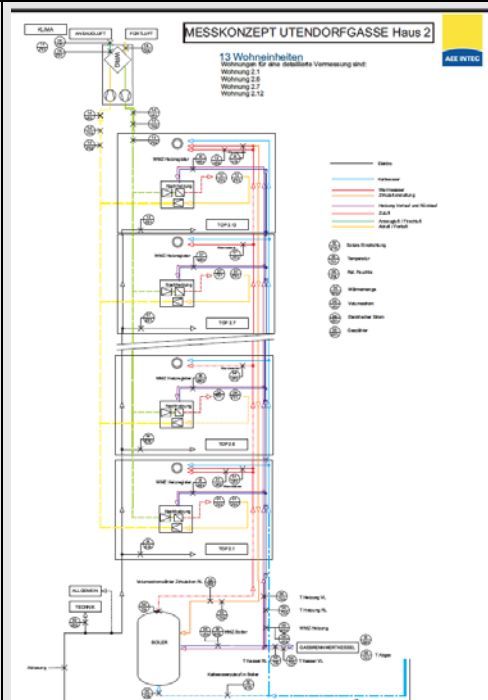
Kosten	1.055 €/m <sup>2</sup>		
Bauliche Mehrkosten durch für den Passivhausstandard je Quadratmeter Wohnfläche, exkl. Ust.	Basis 2003 (Schöberl & Pöll OEG) Entfall Heizung -32 €/m <sup>2</sup> , Lüftungsanlage 56,9 €/m <sup>2</sup> , Wärmebrückenreduktion 4,66 €/m <sup>2</sup> , Fenster 15,87 €/m <sup>2</sup> ; Dach 4,40 €/m <sup>2</sup> ; Außenwand 14,60 €/m <sup>2</sup> , Haustür 1,88 €/m <sup>2</sup> , Unterste Decke 5,77 €/m <sup>2</sup> , Schleusentür im Keller 1,21 €/m <sup>2</sup>		
<b>Gebäudekonzept</b>			
Baukonstruktion	Außenwand: Stahlbeton, 27 cm Wärmedämmverbundsystem, tragende Querwände (Scheibenbau) Flachdach/Terrasse: Stahlbeton mit 30 cm Dämmung, Schrägdach: Stahlbeton mit zwei Lagen 22 cm dicker Dämmung in einer Kreuzlage aus Konstruktionsvollholz und Blecheindeckung Erdgeschoßdecke: Stahlbeton mit 35 cm Dämmung; Thermische Entkopplung: Porenbeton und Stahlbetonlager		
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand 	Dünnputz Wärmedämmung Stahlbeton	0,5 27,0 18,0	0,115
Flachdach (Terrasse) 	Betonsteine Splittbett Rieselschutzvlies Dachabdichtung EPS Wärmedämmung Dampfsperre Stahlbeton	-- 5 -- -- 30 - 20	0,119
Erdgeschoßdecke gegen Tiefgarage 	Bodenbelag Estrich Dampfbremse TDPS EPS Wärmedämmung Stahlbeton	1 5 - 4 35 30	0,094
Sonstige U-Werte [W/m <sup>2</sup> K] laut PHPP	Schrägdach Wohnungen und Stiegenhaus Erdgeschoßdecke/Erdreich Außentür Fenster gesamt		0,10 0,11 1,26 0,91

## Utendorfsgasse Wien

### Haustechnikkonzept

Heizung/WW	Wärmeerzeugung durch 45 [kW] Gasbrennwertkessel; zentraler 800 [l] Brauchwarmwasserspeicher; 4-Leitersystem; Wärmeabgabe je Wohnung über ein Zuluftheizregister
Lüftung	Zentrales Lüftungssystem: je Haus eine zentrale Lüftungsanlage mit Aufdachmontage; Wärmerückgewinnung, Luftfilterung und Stützventilatoren Frostfreihaltung der Lüftungsanlage über Dach elektrisch; je Wohnung dezentral steuerbare Zu- und Abluftmenge und ein Zuluft-Nachheizregister

### Haustechnikschema



### Energiekennzahlen

Energiekennwert Heizwärme, berechnet laut PHPP (EBF = 985 m <sup>2</sup> )	15,00 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)
Heizwärmeverbrauch, gemessen bei mittlerer Raumtemperatur (3 Messwohnungen EBF = 210 m <sup>2</sup> ) Messjahr 1.1.2007 – 31.12.2008	15,48 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)

#### 8.1.2.2 Behaglichkeitsanalyse

Für die Auswertung der Behaglichkeit wurden 4 Messwohnungen herangezogen. Abbildung 73 zeigt den Verlauf des Maximal-, Minimal und Mittelwertes der gemessenen Raumtemperaturen und der relativen Feuchte sowie die Außentemperatur im Zeitraum von 1. Oktober 2007 – 30. April 2008 (Heizperiode).

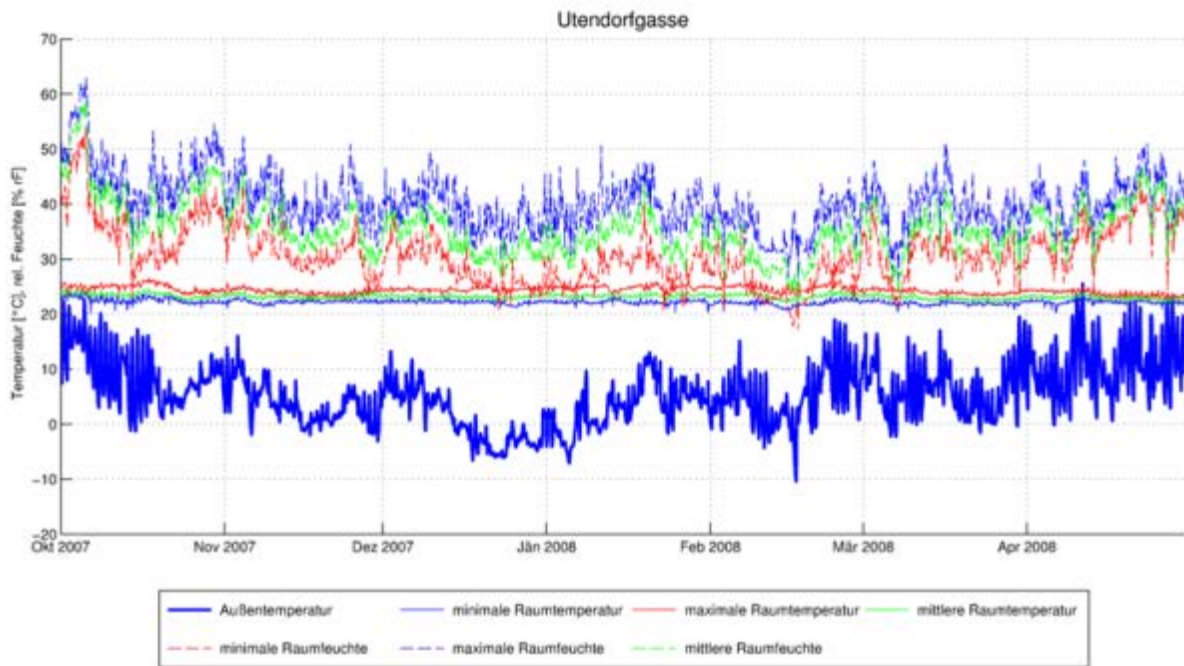


Abbildung 73: Utendorfasse, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte

Die Raumlufftemperaturen sinken im Kernwinter nur in einer Wohnung unter 21°C, und auch hier nur in sehr geringem Ausmaß (43 h). Bezieht man die Heizperiode in die Betrachtung mit ein, so sieht man auch hier eine äußerst geringe Unterschreitung (siehe Abbildung 74 und Abbildung 75)

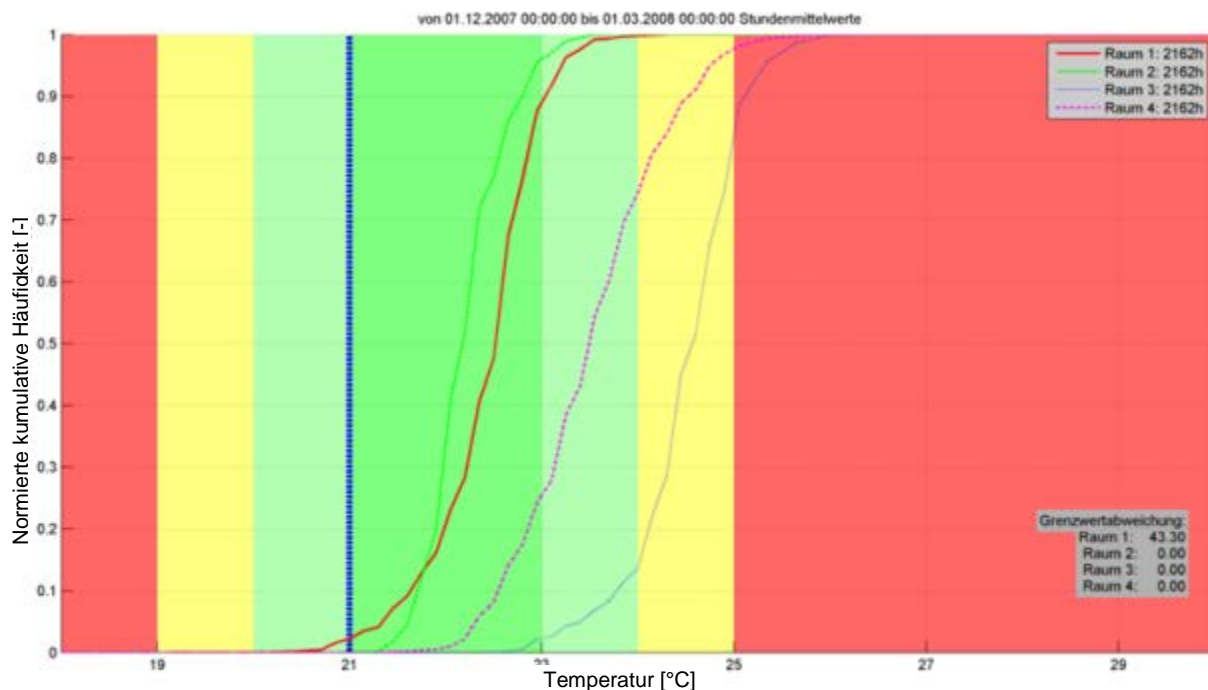


Abbildung 74: Utendorfasse, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, die Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

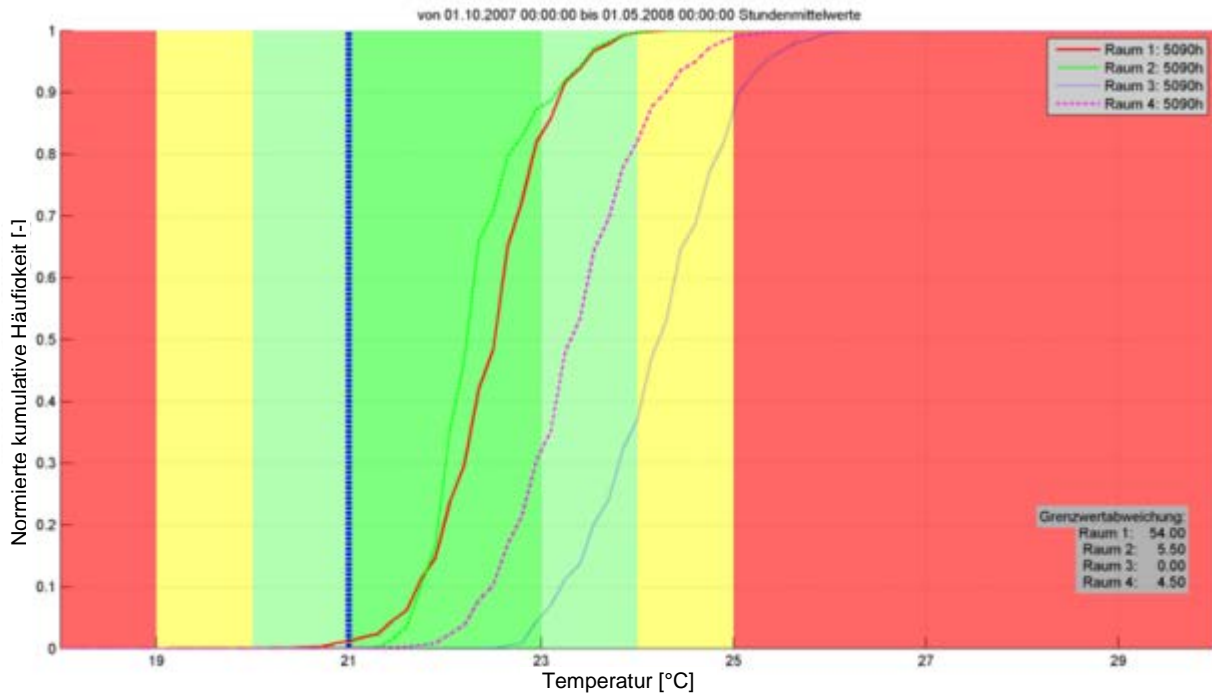


Abbildung 75: Utendorfsgasse, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

Die Messwerte der relativen Feuchte sind in der Utendorfsgasse relativ breit gestreut. Im Kernwinter liegt die Zielwertabweichung für die relative Feuchte zwischen 0,03 %-rF und 2,92 %-rF bzw. in der Heizperiode zwischen 0,02 %-rF und 1,56 %-rF (siehe Abbildung 76 und Abbildung 77). Wie auch bereits im chronologischen Verlauf ersichtlich war, werden in der Utendorfsgasse in einer Wohnung die Raumluftfeuchte von 20 %-rF geringfügig unterschritten.

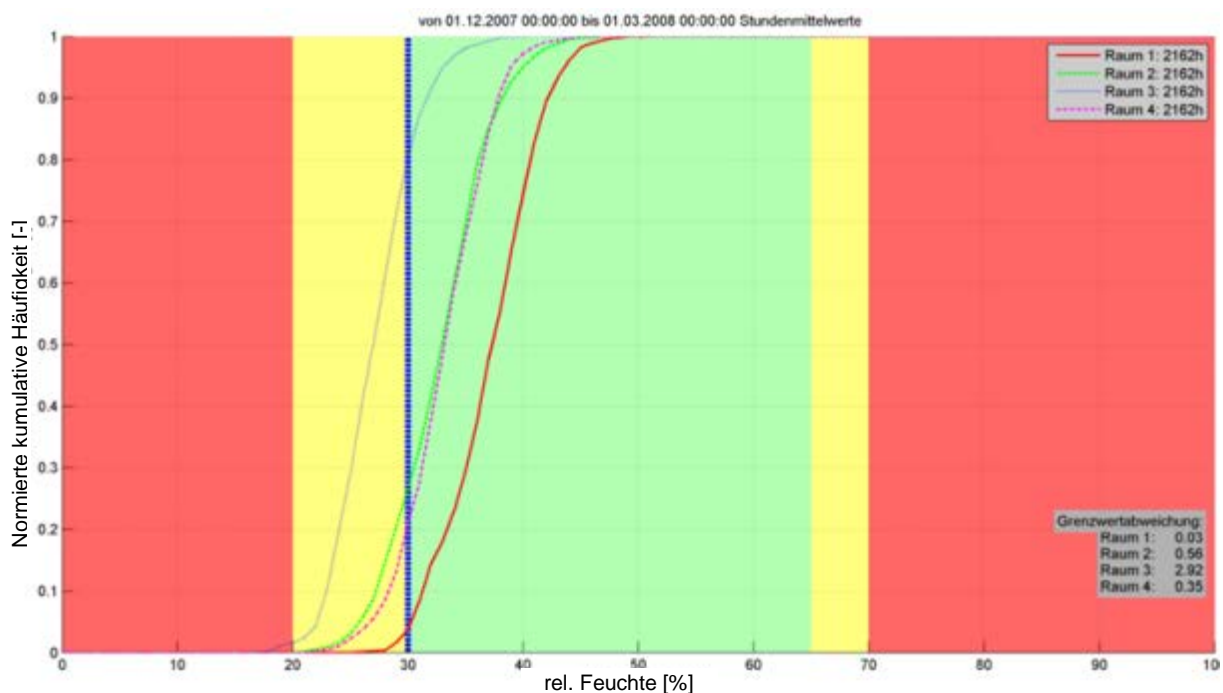


Abbildung 76: Utendorfsgasse, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

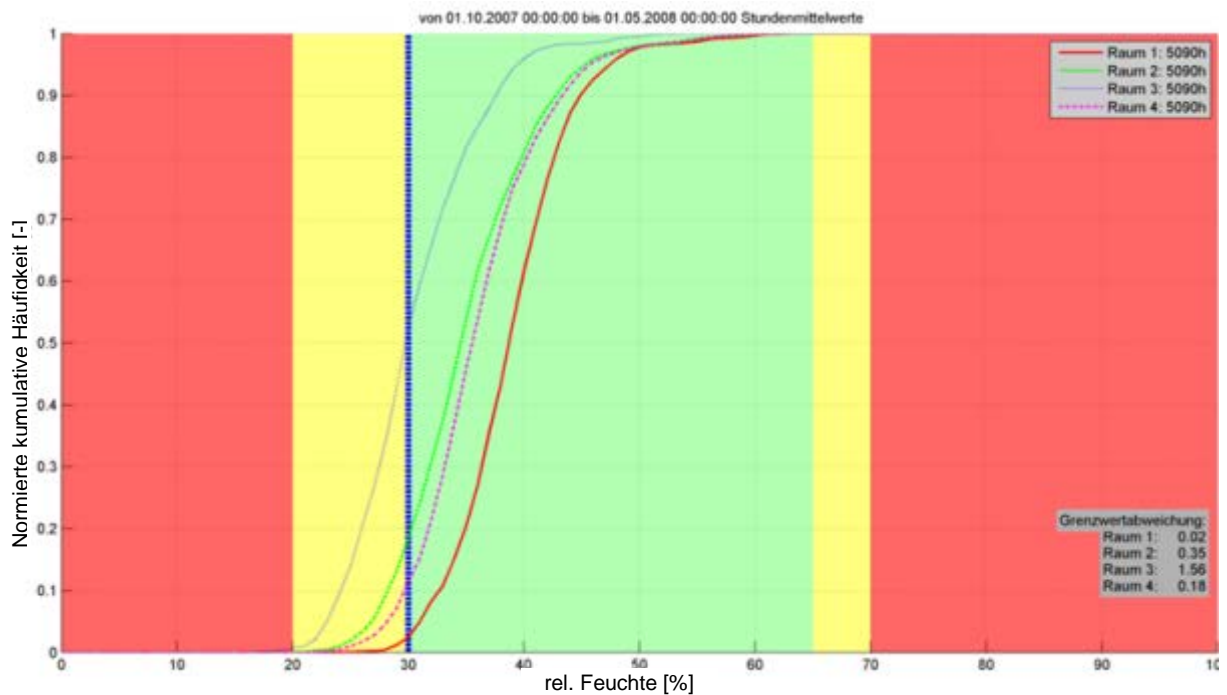


Abbildung 77: Utendorfgasse, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 % rF dar

Eine Analyse der niedrigen Raumlufftfeuchte in Raum3 zeigte, dass diese mit einer hohen Raumluffttemperatur korreliert. Im Vergleich zu Raum1 betrug der Unterschied im Kernwinter bis max. 4,5°C (Abbildung 78).

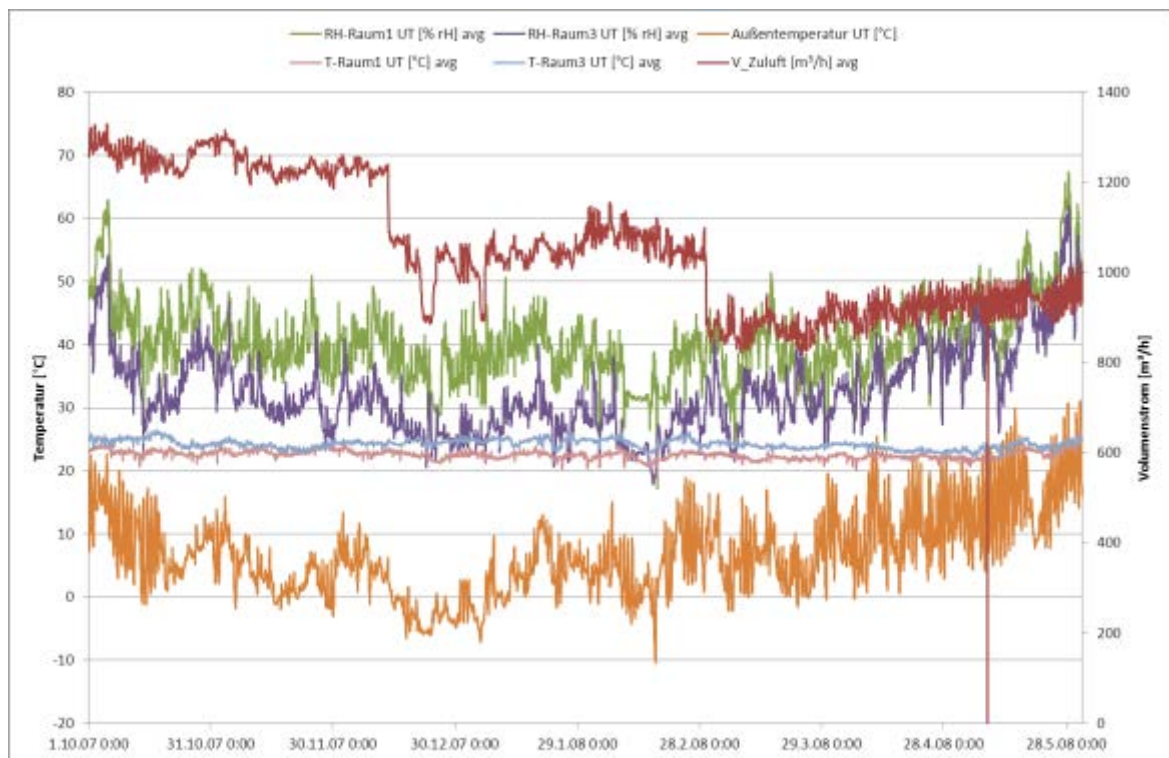


Abbildung 78: Analyse der Raumlufftfeuchte in Raum1 und Raum3

### 8.1.2.3 Sozialwissenschaftliche Untersuchung

Bei der Wohnanlage Utendorfgasse handelt es sich um den ersten in Österreich realisierten sozialen Passivhaus-Wohnbau.

Für die sozialwissenschaftliche Analyse wurden Befragungsergebnisse einer schriftlichen Totalerhebung unter den BewohnerInnen herangezogen, die von Dr. Alexander Keul (Universität Salzburg) gemeinsam mit StudentInnen der TU Wien im Frühjahr 2007 im Auftrag der zuständigen Hausverwaltung und der Wohnbaugenossenschaft durchgeführt wurde. Der Rücklauf der schriftlichen Befragung war 79%. Die in dieser Arbeit dargestellten Ergebnisse werden in der Form der im Rahmen des Projektes Innovative Baukonzepte (IBK) I von Mag. Jürgen Suschek-Berger (IFZ Graz) durchgeführten sozialwissenschaftlichen Darstellung verwendet (siehe W. Wagner et al. (2008)). Zusätzlich wurden im Mai 2008 vom IFZ Graz noch drei qualitative Interviews mit BewohnerInnen der Utendorfgasse 7 durchgeführt, um die Ergebnisse der quantitativen Befragung zu überprüfen. Weiters wurde im Mai 2008 ein Interview mit dem für die Wohnsiedlung zuständigen Generalplaner, Herrn DI Helmut Schöberl geführt. Die wichtigsten Aussagen dieser Befragungen sind in nachfolgender Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: sozialwissenschaftliche Untersuchung Utendorfgasse, Zusammenfassung der Aussagen

Bewertungskriterien	Lüftungsanlage	Bewertungskriterien	Information
Bedienfreundlichkeit der Lüftungsanlage	Raumtemperaturregelung konnte bestellt werden, von den Bestellern nutzten sie ca. die Hälfte oft  80% sind mit der Regelung zufrieden	Menge	48% meinen, dass an den Informationen nichts geändert werden müsse
Überhitzungsprobleme im Sommer	25% war es zu warm (schriftliche Befragung), bei der qualitativen Befragung ergaben sich keine Beschwerden	Passivhaus Nutzerhandbuch	55% finden die Informationen sehr brauchbar
Wärmeversorgung im Winter	25% war es zu kalt (schriftliche Befragung), bei der qualitativen Befragung ergaben sich keine Beschwerden	persönliche Einschulung	für fast 50% war die PH-Einschulung in der Wohnung gut



Heizkörper im Winter	wird zum Trocknen von nassen Sachen gewünscht	Hausversammlung zum Thema Passivhaus und Lüftungsanlage	68% waren mit der Hausversammlung zum Thema Passivhaus zufrieden
		Frage Passivhaus weiterempfehlen	knapp 60% würden Bezug eines Passivhauses weiterempfehlen

### 8.1.3 Reihenhuisanlage Hörbranz, Vorarlberg

#### 8.1.3.1 Allgemeine Darstellung

Die allgemeine Darstellung beruht auf Daten aus der CEPHEUS Projektinformation Nr.24 Reihenhäuser Hörbranz von Helmut Krapmeier (Helmut Krapmeier et al. (2001)). Die Messdaten zu diesem Projekt stammen aus der Messdatenbank von AEE INTEC. Sozialwissenschaftliche Daten sind zu diesem Projekt nicht vorhanden.

<b>Hörbranz</b>	
	
<b>Allgemeine Projektbeschreibung</b>	
Anschrift	6912 Hörbranz, Vorarlberg
Gebäudetyp	Reihenhuisanlage mit 3 Wohneinheiten, Wohnnutzfläche gesamt: 381 m <sup>2</sup>
Bauweise	Massivbau mit Wärmedämmverbundsystem
Bauherr/ Bauträger	Private Bauherrengemeinschaft
Planer	Richard Caldonazzi, Frastanz
Fachingenieure	Christof Drexel, Bregenz

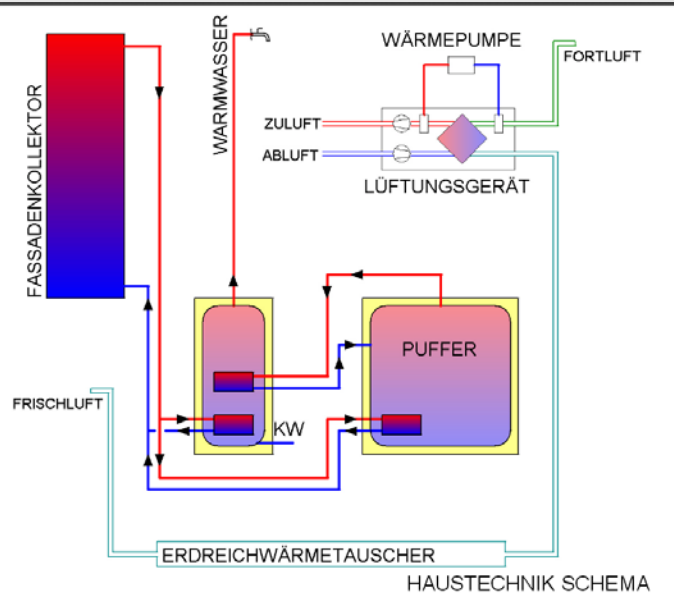
<b>Hörbranz</b>			
Errichtung	Oktober 1998 – Juni 1999		
Kosten	lt. ÖNORM B1801-1 Kostenbereich 2-4 1: Bauwerkskosten 1.381 €/m <sup>2</sup>		
<b>Gebäudekonzept</b>			
Baukonstruktion	Außenwand: 18 cm Ziegelmauerwerk mit 35 cm Korkdämmung Zwischendecken aus Stahlbeton, Dach in Holzkonstruktion (vorgefertigte Kasten-elemente)		
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand	Außenputz	1,0	0,10
	Korkplatte	35,0	
	Ziegelmauerwerk	18,0	
	Innenputz	2,0	



<b>Hörbranz</b>			
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand Fassadenkollektoren	Glasabdeckung		0,119
	Luft		
	Absorber	-	
	Steinwolle	3,0	
	OSB-Platte	1,6	
	TJI-Träger/Zellulose	30,2	
	OSB-Platte	1,1	
	Folie	-	
	Ziegelmauerwerk	18	
	Innenputz	2,0	
Dach	Wellblech	-	0,09
	Lattung	5/8	
	Konterlattung	5/8	
	Abdichtung	-	
	OSB-Platte	2,2	
	TJI Träger/Zellulose	41,5	
	OSB-Platte	2,2	
	Dampfbremse	-	
	Lattung	3	
	Gipskartonplatten	2x1,25	
Kellerdecke	Parkett	1,6	0,094
	Kork	0,3	
	OSB-Platte	2,0	
	Dampfbremse	--	
	Zellulose zw. Holzunterkonstruktion	35	
	Stahlbetondecke	18	
Fenster	Gesamt U-Wert		0,83
<b>Haustechnikkonzept</b>			
Heizung/WW	Nachheizung der Zuluft über fassadenintegrierte Solarkollektoren (pro Wohneinheit 18 m <sup>2</sup> Kollektoren mit ca. 3.000 l Pufferspeicher), sowie in 2 WE mittels Wärmepumpe und in 1 WE mittels Gastherme		
Lüftung	Dezentrale kontrollierte Be- und Entlüftung mit Erdreichwärmetauscher und Wärmerückgewinnung aus der Abluft		

## Hörbranz

Haustechnikschema  
(Quelle: Energieinstitut  
Vorarlberg)



### Energiekennzahlen

Energiekennwert Heizwärme, berechnet laut PHPP	13,8 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)
Heizwärmeverbrauch, gemessen bei mittlerer Raumtemperatur 1. Messjahr	13,0 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)

#### 8.1.3.2 Behaglichkeitsanalyse

Zur Auswertung der Behaglichkeit wurden nur die Reihenhäuser 1 und 3 herangezogen, da das mittlere Reihnhaus eine Fußbodenheizung im Bad besitzt.

In den folgenden Diagrammen zu den kumulierten Häufigkeiten wird Haus 1 jeweils als Raum 1 bezeichnet und Haus 3 als Raum 2. Abbildung 79 zeigt den Verlauf des Maximal-, Minimal- und Mittelwertes der gemessenen Raumtemperaturen und der relativen Feuchte sowie die Außentemperatur im Zeitraum 1. Oktober 2001 – 30. April 2002 (Heizperiode).

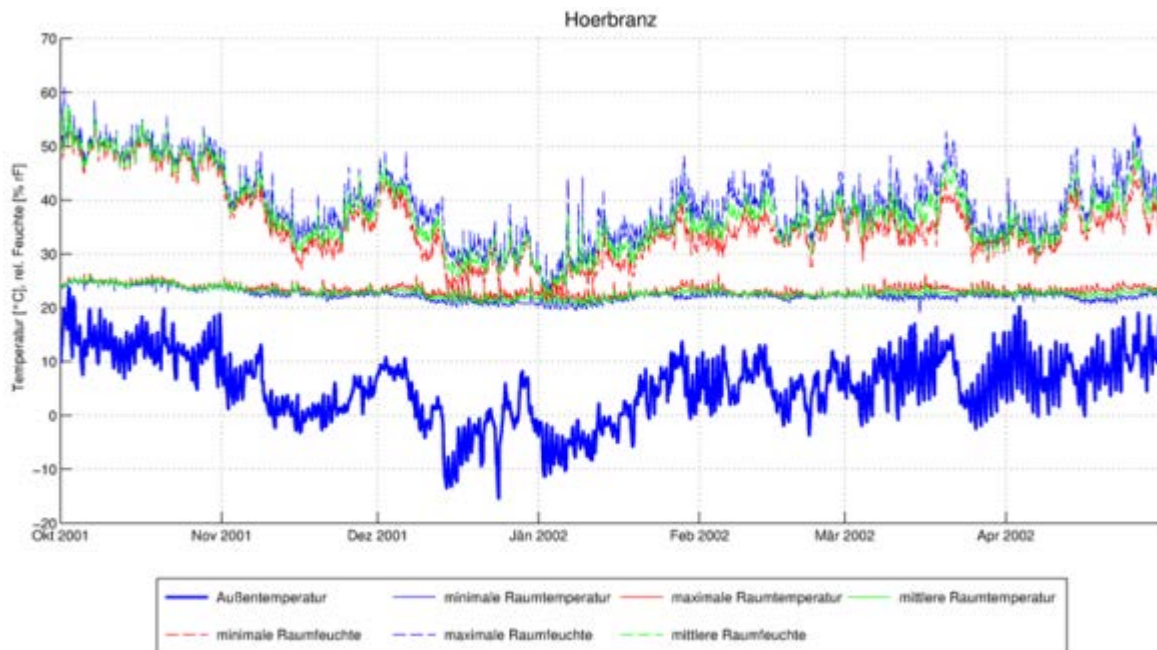


Abbildung 79: Hörbranz, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte

Die Unterschreitung von 21°C betrug für Haus 1 im Kernwinter gewichtete 792 Stunden und für Haus 3 drei Stunden. In der Heizperiode erhöht sich dieser Wert für Haus 1 auf 823. Für Haus 3 bleibt der Wert gleich (Abbildung 80 und Abbildung 81). Eine Analyse der Heizlast zeigte, dass das Heizlastmaximum nicht bei Temperaturunterschreitung von 21 °C erreicht wurde, sondern bei Temperaturen zwischen 22°C und 23°C (siehe Abbildung 82).

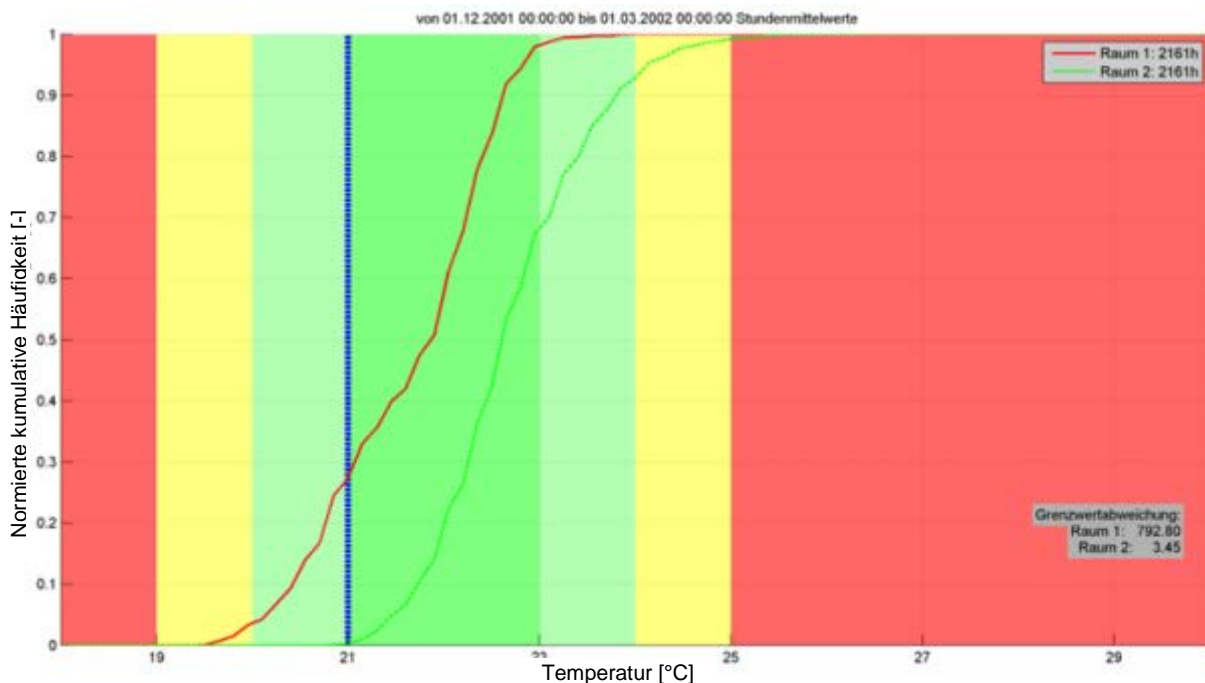


Abbildung 80: Hörbranz, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

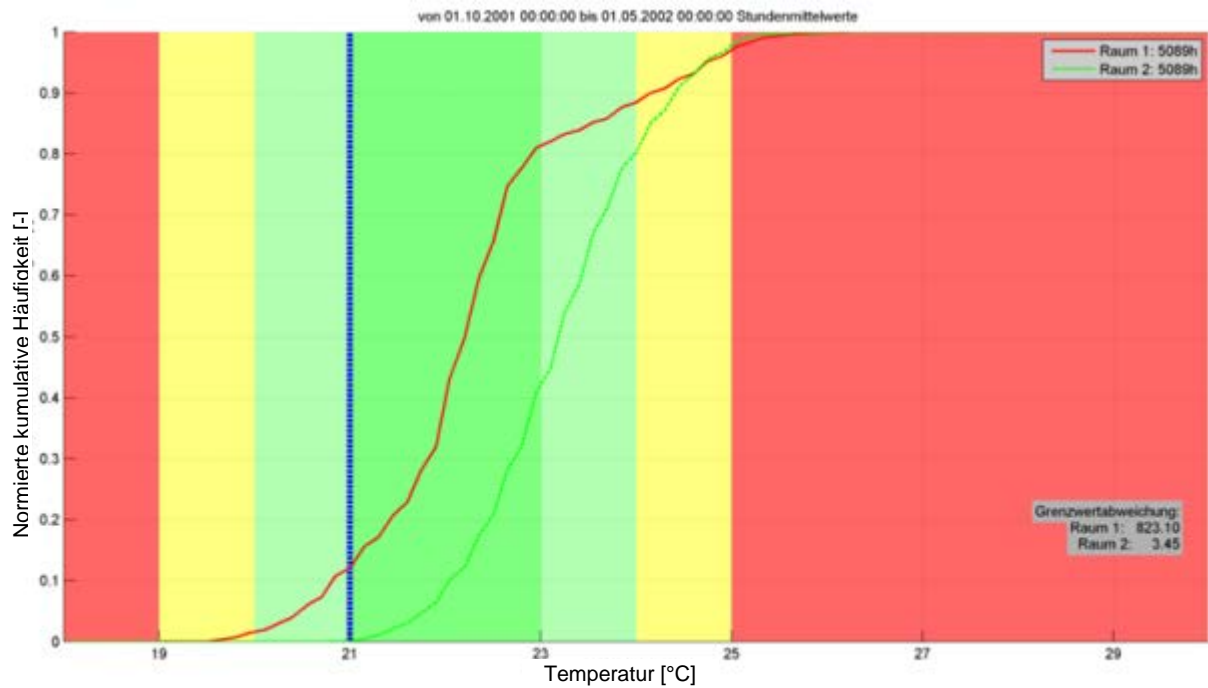


Abbildung 81: Hörbranz, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

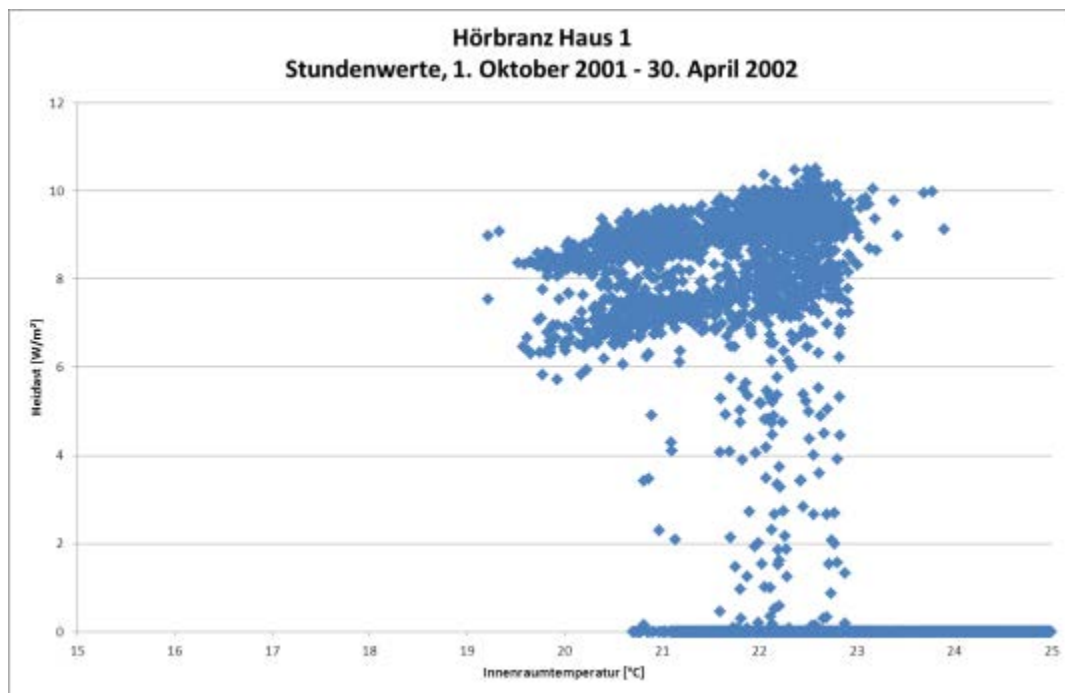


Abbildung 82: Heizlastanalyse Hörbranz Haus 1, bei Innenraumtemperaturen unter 21°C wird das Heizlastmaximum nicht erreicht, das heißt für die Heizung ist noch Potenzial vorhanden

Die Unterschreitung der Grenze von 30 % relativer Feuchte ist im Kernwinter bereits relativ gering und halbiert sich bei Betrachtung der Heizperiode nochmals. Abbildung 83 und Abbildung 84 zeigen Werte für die Zielwertabweichung von 0,51 %-rF und 1,22 %-rF im Kernwinter bzw. 0,22 %-rF und 0,53 %-rF in der Heizperiode.

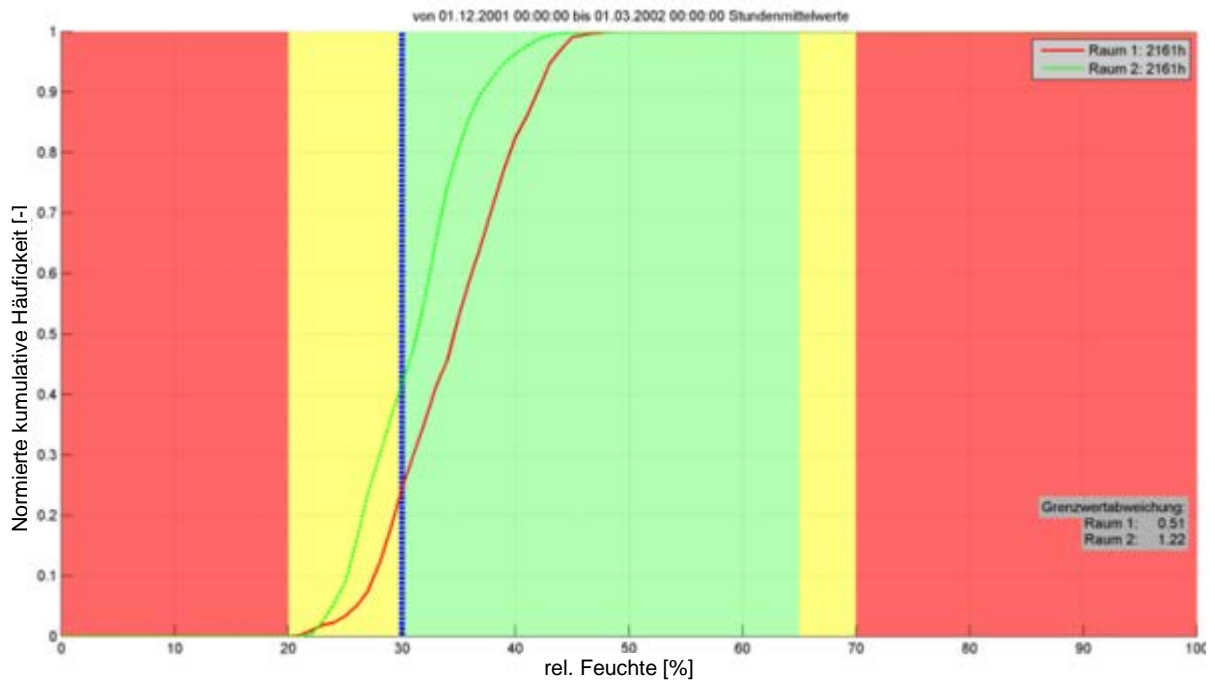


Abbildung 83: Hörbranz, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

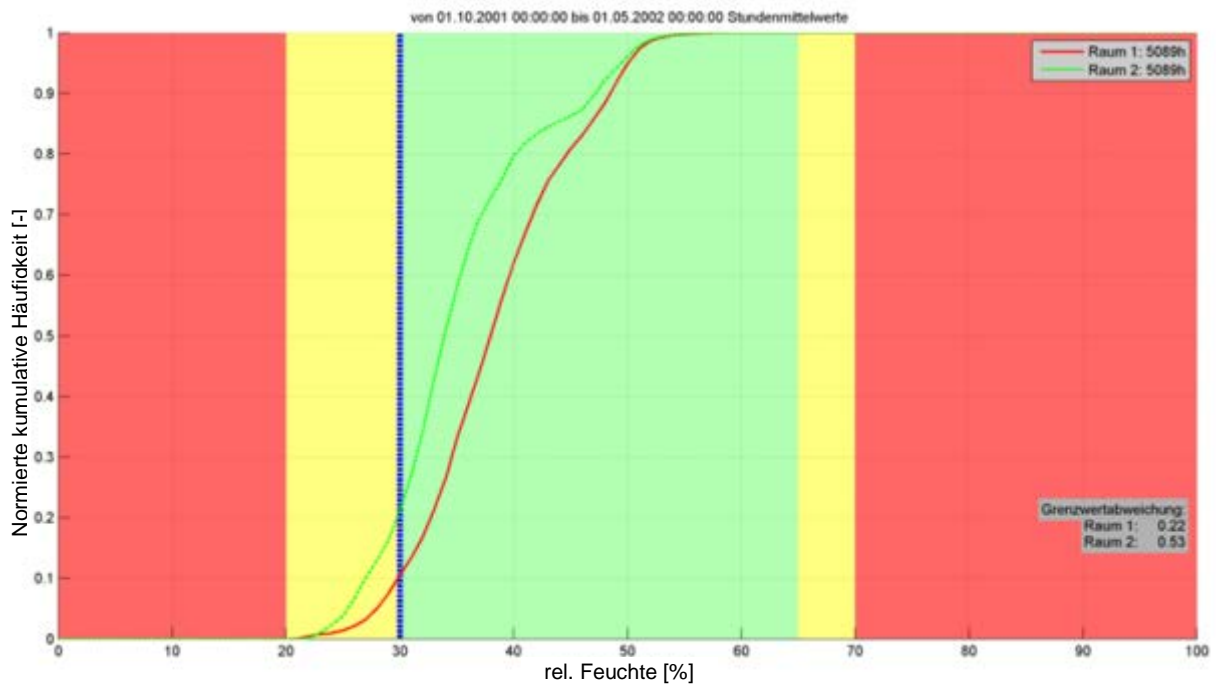




Abbildung 84: Hörbranz, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

## 8.1.4 Mehrfamilienwohnanlage Wolfurt, Vorarlberg

### 8.1.4.1 Allgemeine Darstellung

Die allgemeine Darstellung beruht auf Daten aus der CEPHEUS Projektinformation Nr. 25 Wohnanlage Wolfurt von Helmut Krapmeier (Helmut Krapmeier et al. (2001a)). Die Messdaten zu diesem Projekt stammen aus der Messdatenbank von AEE INTEC. Sozialwissenschaftliche Daten liegen für dieses Projekt nicht vor.

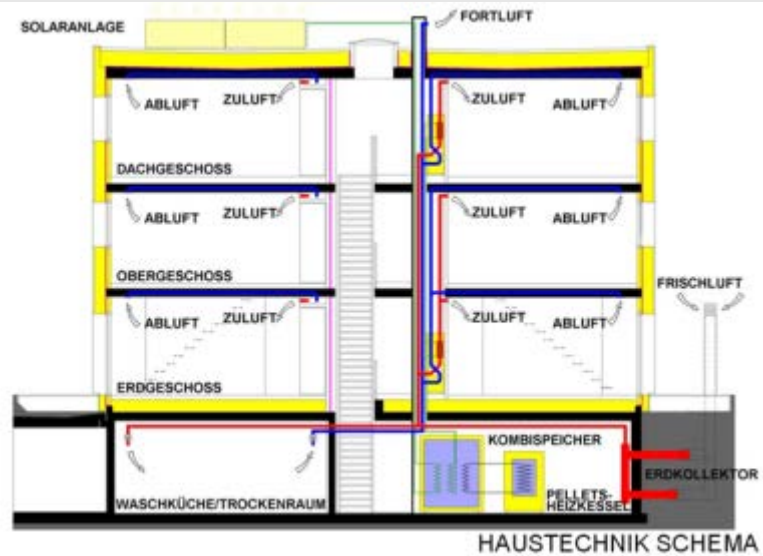
Wolfurt			
			
Allgemeine Projektbeschreibung			
Anschrift	6922 Wolfurt, Vorarlberg		
Gebäudetyp	Zwei 3-geschossige Mehrfamilienwohnhäuser mit 8 Wohnungen, einem Büro und einem Atelier; Wohnnutzfläche: 1.300 m <sup>2</sup>		
Bauweise	Mischbauweise: Stahlskelettkonstruktion mit Stahlbetondecken und aussteifenden Betonscheiben, Außenwände aus vorgefertigten Holzelementen		
Bauherr/ Bauträger	Private Errichtergemeinschaft		
Architekt	Gerhard Zweier, Wolfurt		
Fachingenieure	GMI – Gasser & Messner Ingenieure, Dornbirn Christof Drexel, Bregenz Lothar Künz, Hard		
Errichtung	Februar 1999 – Dezember 1999		
Kosten	lt. ÖNORM B1801-1 Kostenbereich 2-4 1: Bauwerkskosten 1.008 €/m <sup>2</sup>		
Gebäudekonzept			
Baukonstruktion	Außenwand: 18 cm Ziegelmauerwerk mit 35 cm Korkdämmung Zwischendecken aus Stahlbeton, Dach in Holzkonstruktion (vorgefertigte Kastenelemente)		
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand 1	Lärchenschalung Hinterlüftung MDF-Platte Riegel/Steinwolle OSB-Platte Dampfbremse	3,0 1,6 4/26 1,5 -	0,12

Wolfurt			
	Steinwolle zw. Alu-C-Profilen	7,5	
	Gipskartonplatte	1,3	
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand 2	Kupferblech	-	0,16
	Dachpappe	-	
	MDF-Platte	1,6	
	Riegel/Steinwolle	4/16	
	OSB-Platte	1,5	
	Dampfbremse	-	
	Steinwolle zw. Alu-C-Profilen	7,5	
	Gipskartonplatte	1,3	
Dach	Kiesabdeckung	5,0	0,09
	Bitumenabdichtung	2x0,5	
	EPS (expandiertes Polystyrol)	40	
	Dampfbremse	-	
	STB-Decke im Gefälle	24	
	Gipsputz	0,5	
Kellerdecke	Lärchenriemenboden	2,5	0,10
	Holzwolle-Leichtbauplatte zw.	4,0	
	Polsterholz	4/8	
	Dampfbremse	-	
	Mineralfaserplatte	3,5	
	Blindboden	2,5	
	Zellulose/Unterkonstruktion	30,0	
	Stahlbetondecke	22,0	
Fenster	Gesamt U-Wert		0,82
Haustechnikkonzept			
Heizung/WW	Nachheizung der Zuluft über Warmwasserregister aus dem Pufferspeicher, der von einem Pelletsheizkessel und einer Solaranlage beheizt wird (62 m <sup>2</sup> Solarkollektoren, 2.500 l Kombispeicher je Gebäude)		
Lüftung	Dezentrale kontrollierte Be- und Entlüftung mit Erdreichwärmetauscher und Wärmerückgewinnung aus der Abluft		



## Wolfurt

Haustechnikschema  
(Quelle: Energieinstitut  
Vorarlberg)



### Energiekennzahlen

Energiekennwert Heizwärme, berechnet laut PHPP	13,5 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)
Heizwärmeverbrauch, gemessen bei mittlerer Raumtemperatur, 1. Messjahr	24,7 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)

#### 8.1.4.2 Behaglichkeitsanalyse

Im Projekt Wolfurt gelangen Daten aus fünf Messwohnungen für die Messperiode 1. Oktober 2001 – 30. April 2002 zur Auswertung. Wie bereits der chronologische Überblick zeigt, streuen hier bei tieferen Außentemperaturen die relativen Feuchtigkeitswerte bemerkenswert (siehe Markierungen in Abbildung 85).

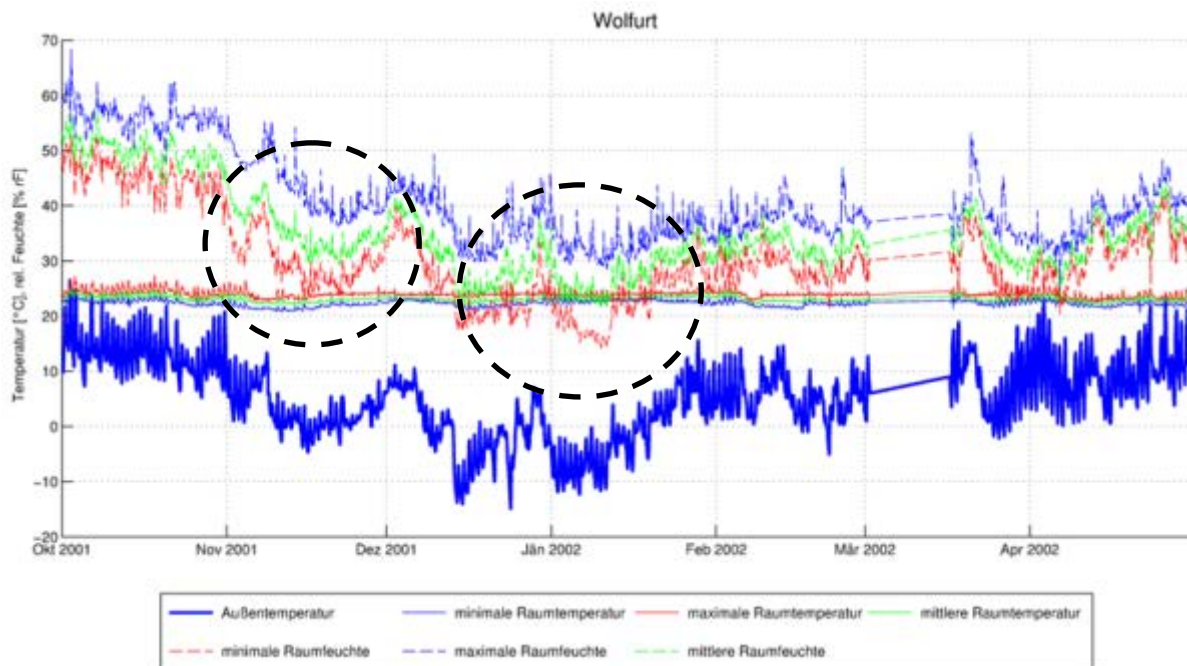


Abbildung 85: Wolfurt, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte



Die Raumlufttemperaturen liegen wie auch im Projekt Wolfurt ziemlich hoch und unterschreiten 21°C im Kernwinter nur in einer Wohnung sehr geringfügig. Betrachtet man die Heizperiode bleibt die Unterschreitung von 21°C hier ebenfalls sehr gering (siehe Abbildung 86 und Abbildung 87).

Die relative Feuchte ist in drei der fünf vermessenen Wohnungen in der Heizperiode sehr gering und die Zielwertabweichung liegt zwischen 3,46 %-rF und 4,57 %-rF. Bei diesen Wohnungen handelt es sich jedoch nicht um die Wohnungen mit den höchsten Raumtemperaturen. Andererseits weisen zwei vermessene Wohnungen sehr gute Werte der relativen Feuchte auf. Hier beträgt die Zielwertabweichung im Kernwinter nur 0,01 %-rF bzw. 0,15 %-rF, das heißt die Streuung zwischen den einzelnen Wohnungen ist sehr groß. Betrachtet man nur die Heizperiode, so ergibt sich eine Verbesserung der Zielwertabweichung ca. um den Faktor 2 (siehe Abbildung 88 und Abbildung 89).

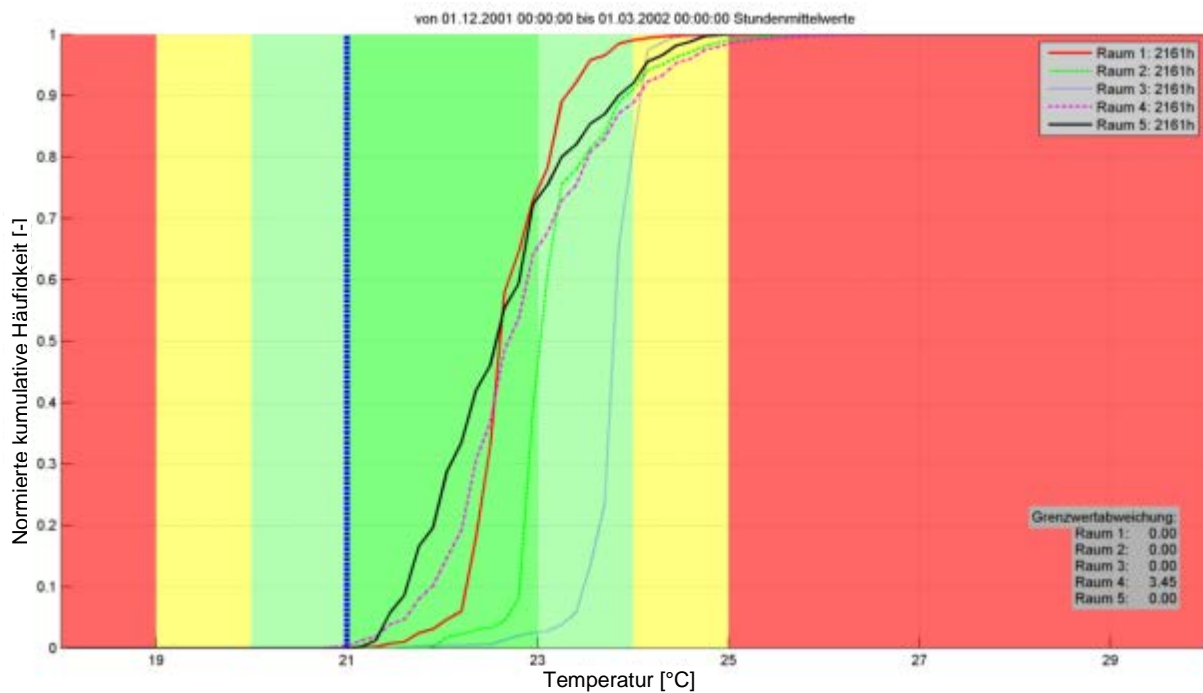


Abbildung 86: Wolfurt, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

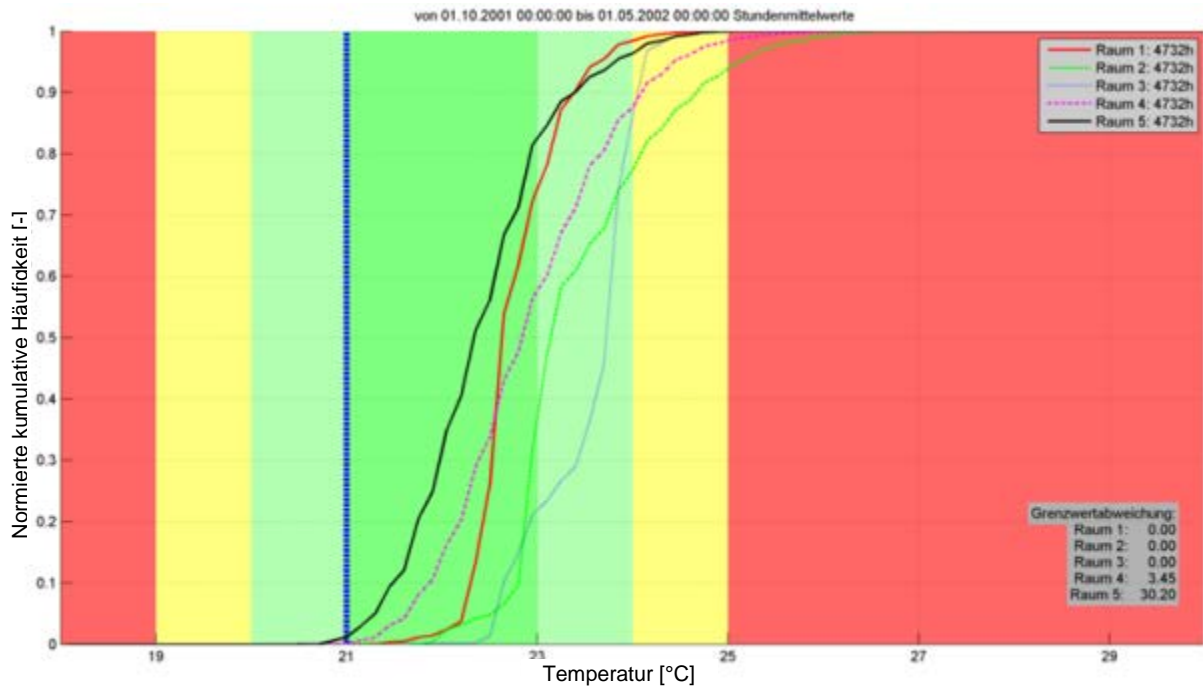


Abbildung 87: Wolfurt, Heizperiode ( ), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

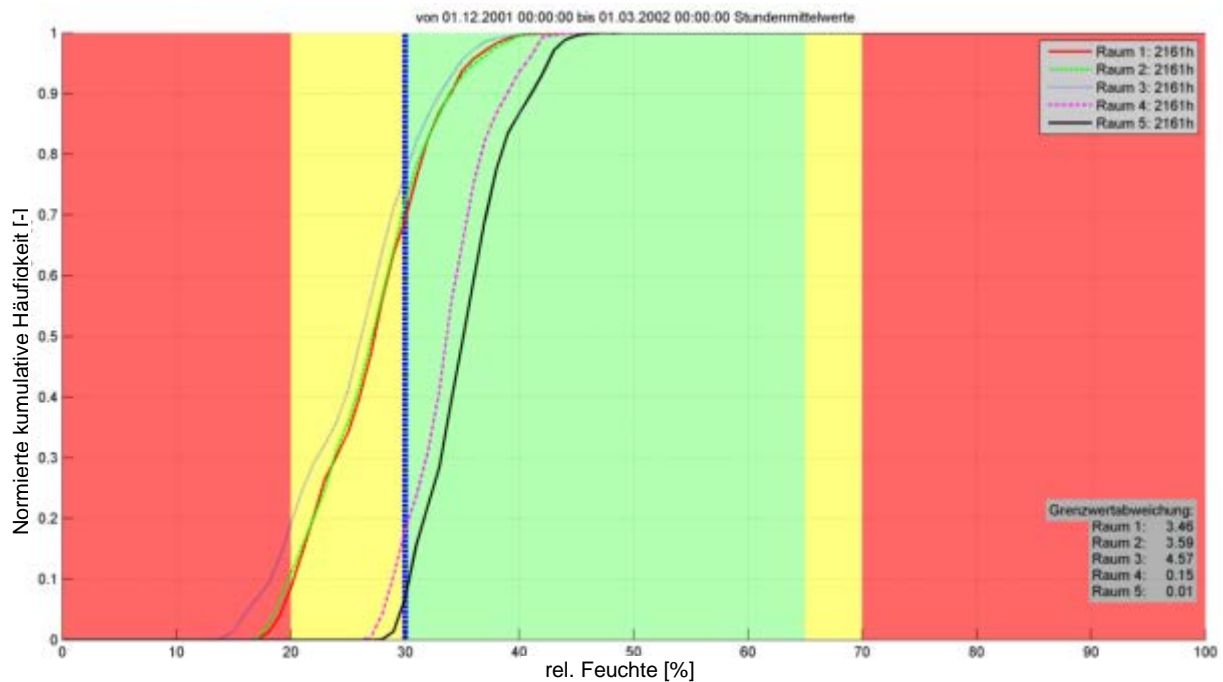


Abbildung 88: Wolfurt, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

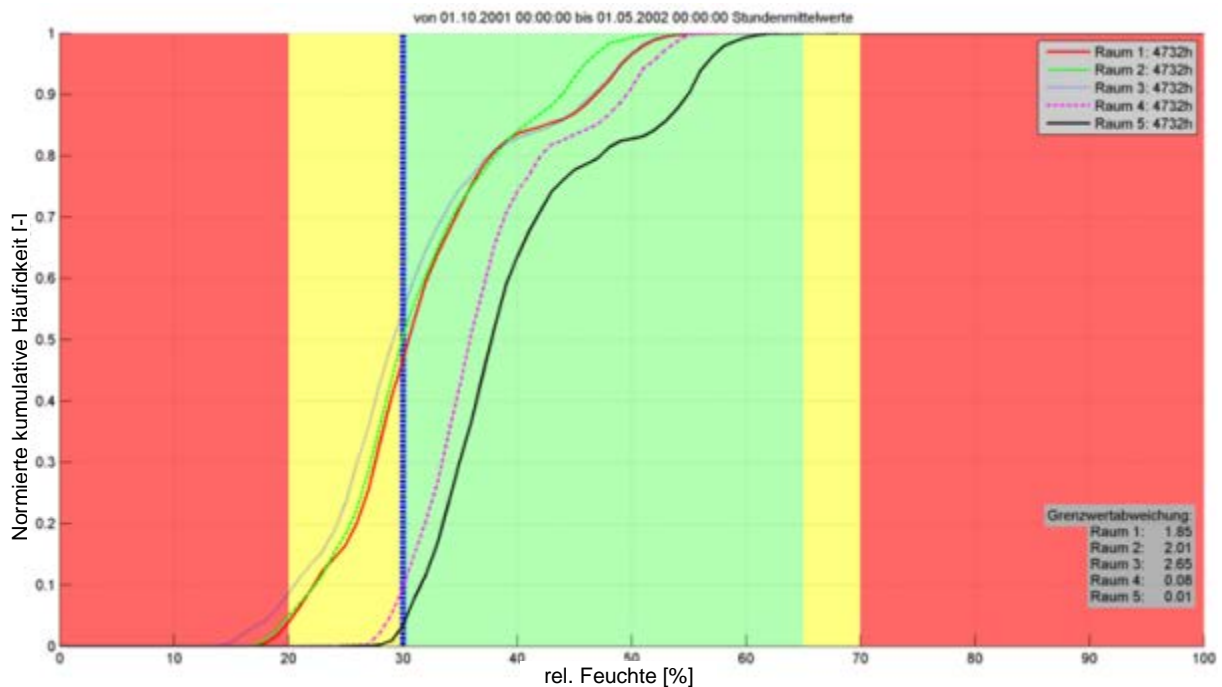


Abbildung 89: Wolfurt, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 % rF dar.

## 8.1.5 Reihenhausanlage Steyr-Dietach, Oberösterreich

### 8.1.5.1 Allgemeine Darstellung

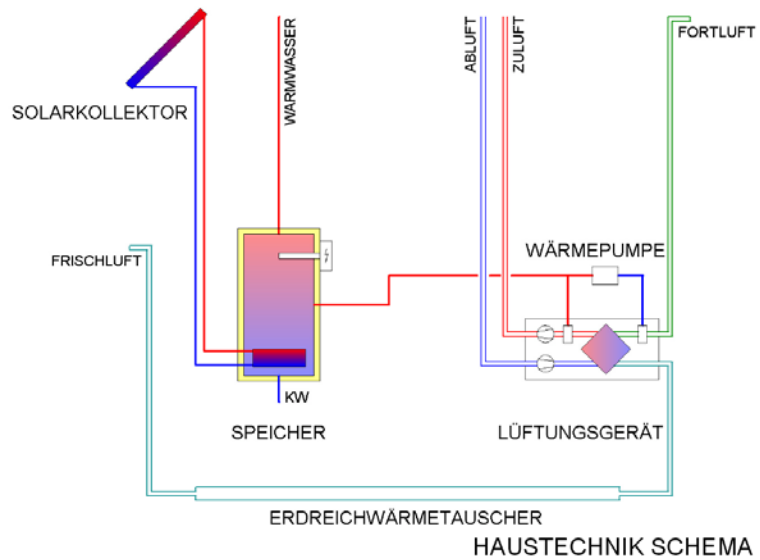
Die allgemeine Darstellung beruht auf Daten aus der CEPHEUS Projektinformation Nr. 31 Reihenhäuser Steyr-Dietach von Helmut Krapmeier (Helmut Krapmeier et al. (2001b)). Die Messdaten zu diesem Projekt stammen aus der Messdatenbank von AEE INTEC. Sozialwissenschaftliche Daten sind für dieses Projekt nicht vorhanden.

Steyr-Dietach	
Allgemeine Projektbeschreibung	
Anschrift	4407 Dietach, Oberösterreich
Gebäudetyp	3-geschossige Reihenhausanlage mit 3 Wohneinheiten
Bauweise	Massivbau

Steyr-Dietach			
Bauherr/ Bauträger	PROCON, Dietach		
Baumeister	Baumeister Ganglberger, Dietach, Oberösterreich		
Fachingenieure	Energie-Institut Linz,		
Errichtung	September 1999 – Februar 2000		
Kosten	lt. ÖNORM B1801-1 Kostenbereich 2-4 1: Bauwerkskosten 1.019 €/m <sup>2</sup>		
Gebäudekonzept			
Baukonstruktion	unterkellertes Massivbau aus Kalksandstein mit Wärmedämmverbundsystem (30 cm Polystyrol), Decken aus Stahlbeton		
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand	Außenputz	1,0	0,13
	expandiertes Polystyrol	30,0	
	Kalksandstein	17,5	
Dach	Dachsteine	-	0,09
	Lattung	3/5	
	Konterlattung	3/5	
	Hinterlüftung	-	
	Dachpappe	2,4	
	Sparren	10/14	
	Dämmung, Alu-kaschiert, Stösse abgeklebt	2x12,0	
	Sparren	10/12	
	Lattung	2,4	
	Gipskarton	1,5	
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Kellerdecke	Bodenbelag	2,0	0,12
	Estrich	5,0	
	Folie	-	
	Expandiertes Polystyrol	30,0	
	Beschüttung	3,0	
	Stahlbeton-Decke	24,0	
	Putz	1,0	
Fenster	Gesamt U-Wert		0,77
Haustechnik			
Heizung/WW	Beheizung über die Zuluft, Restheizung mittels Gasbrennwerttherme, solare Warmwasserbereitung über 5,5 m <sup>2</sup> Flachkollektor pro Haus, Wärmepumpe und elektrischen Heizstab, 400 l Pufferspeicher		
Lüftung	Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Erdreichwärmetauscher und Wärmerückgewinnung		

## Steyr-Dietach

Haustechnikschema  
(Quelle: Energieinstitut  
Vorarlberg)



### Energiekennzahlen

Energiekennwert Heizwärme, berechnet laut PHPP	12,3 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)
Heizwärmeverbrauch, gemessen bei mittlerer Raumtemperatur 1. Messjahr	23,8 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)

### 8.1.5.2 Behaglichkeitsanalyse

Für die Auswertung wurden alle drei Wohneinheiten herangezogen. Der Auswertzeitraum liegt zwischen 1. Oktober 2001 und 30. April 2002. In diesem Projekt ist die Streuung zwischen den Messwerten relativ gering, vor allem die Raumlufttemperaturen liegen nahe beieinander (siehe Abbildung 90).

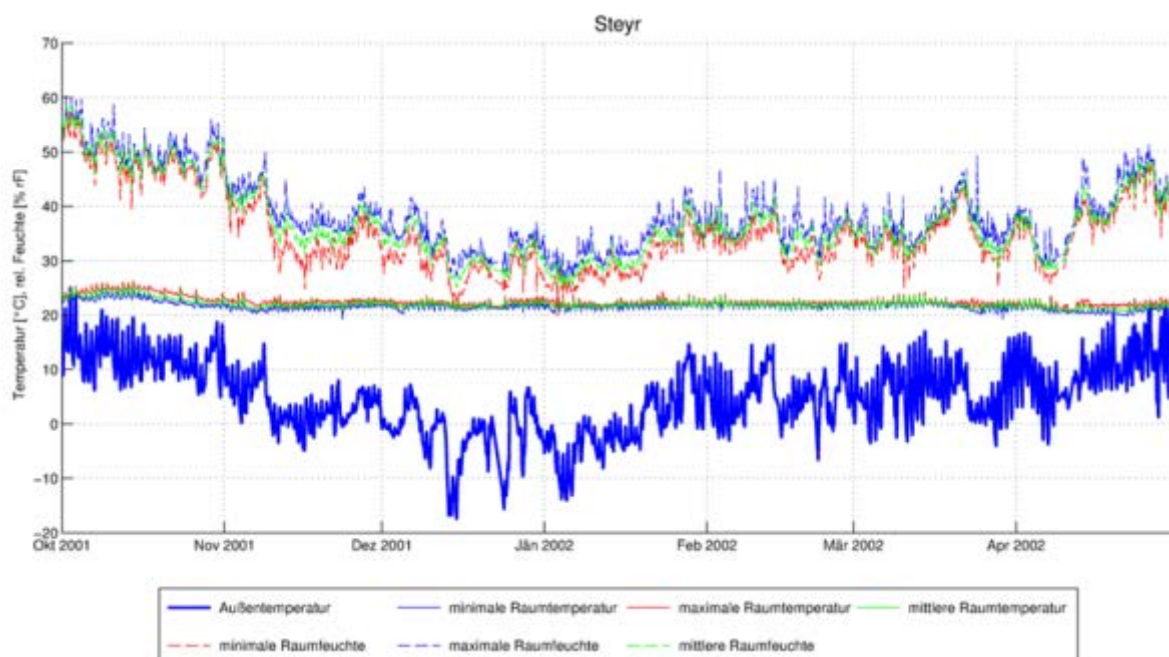


Abbildung 90: Steyr-Dietach, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte

Eine genauere Analyse der Raumlufthemperaturen zeigt nur eine geringfügige Unterschreitung der unteren Temperaturgrenze von 21°C. Die gewichteten Unterschreitungsstundenwerte für den Kernwinter liegen zwischen 28 h und 92 h. Interessant ist, dass in diesem Projekt der Großteil der Zielwertabweichung in Bezug auf die Temperatur im erweiterten Zeitbereich der Heizperiode liegt (siehe Vergleich Abbildung 91 und Abbildung 92). Die gewichtete Zielwertabweichung vervielfacht sich hier um einen Faktor zwischen 5 und 9. Eine Analyse ergab, dass die Heizung in Haus 1 im März bzw. April für einen Zeitraum von 12 bzw. 16 Tagen nicht in Betrieb war, ab 21.4.2002 war sie ganz abgeschaltet. In Haus 2 wurde die Heizung bereits am 1.4.2002 abgeschaltet und im März war sie von 9.3. – 25.3.2002 nicht in Betrieb. In Haus 3 war die Heizung ab 17.4.2002 abgeschaltet und von 31.3. – 10.4.2002 war sie ebenfalls nicht in Betrieb.

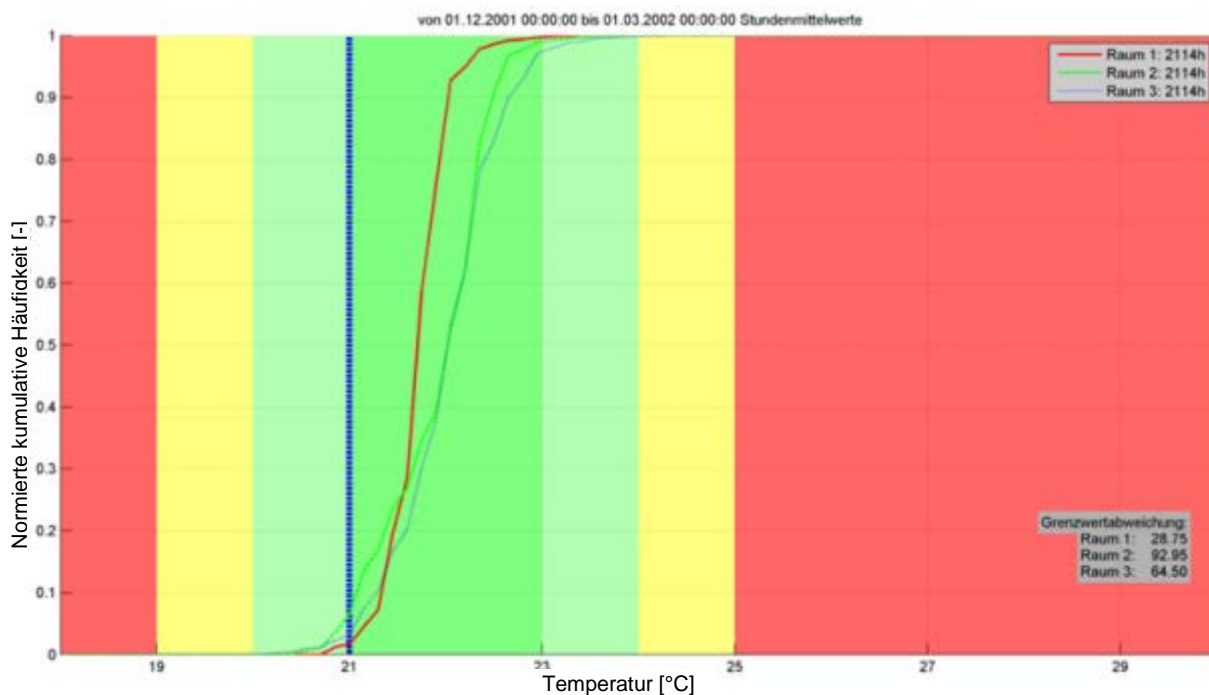


Abbildung 91: Steyr-Dietach, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenanzahl unter 21°C dar



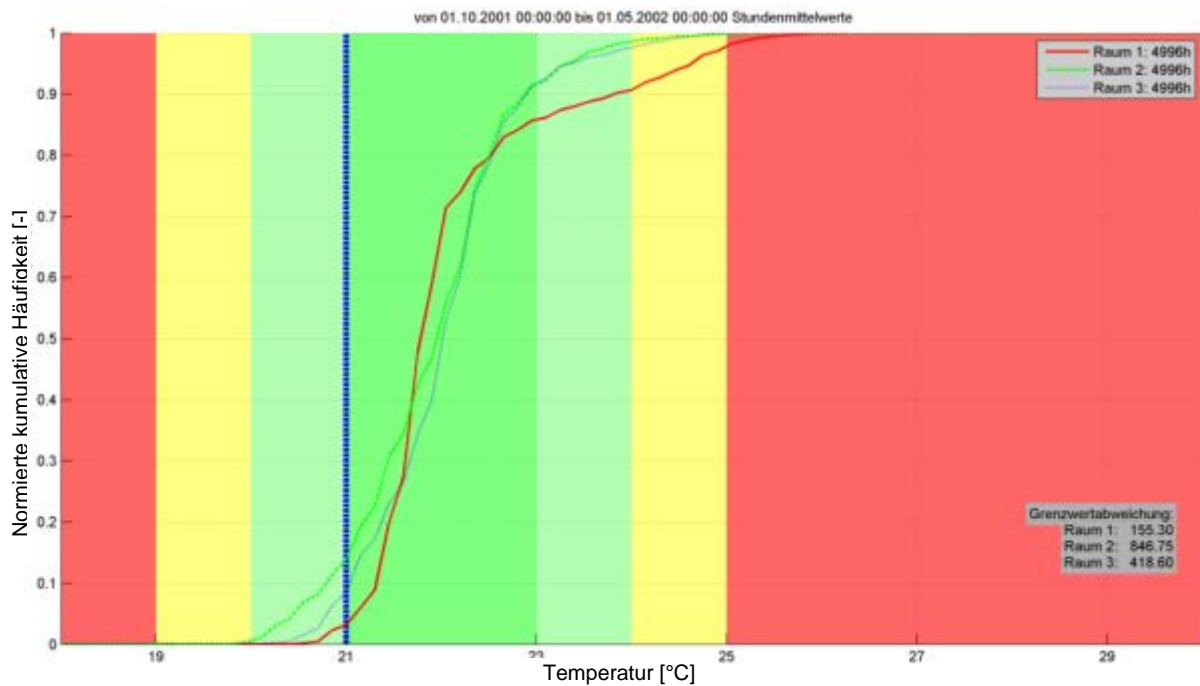


Abbildung 92: Steyr-Dietach, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenanzahl unter 21°C dar

Die Zielwertabweichung der relativen Feuchte liegt in diesem Projekt im Kernwinter zwischen 0,16 %-rF und 1,21 %-rF, in der Heizperiode zwischen 0,1 %-rF und 0,59 %-rF (siehe Abbildung 93 und Abbildung 94).

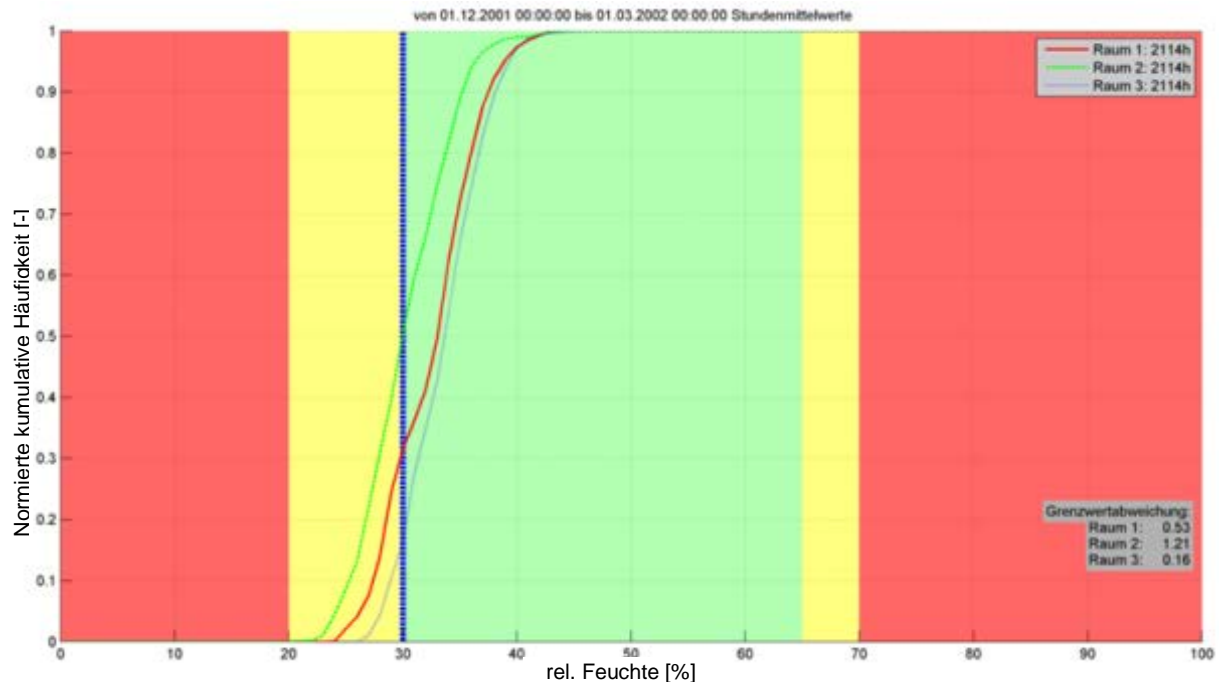


Abbildung 93: Steyr-Dietach, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summeder Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

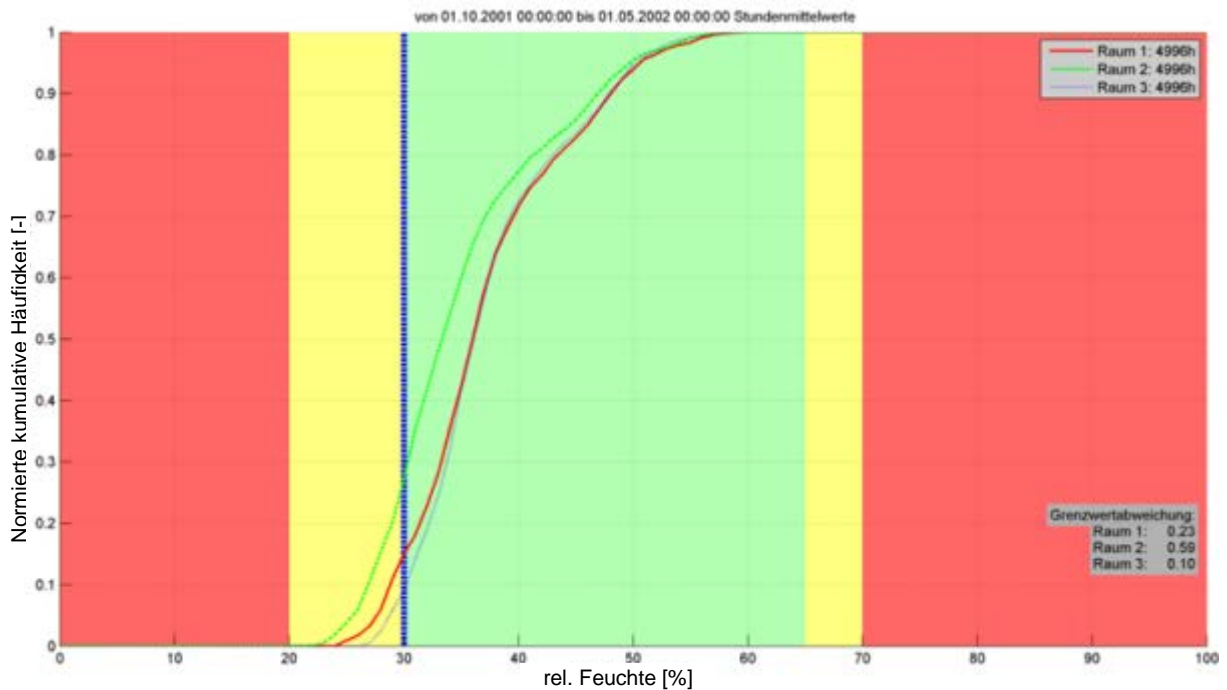


Abbildung 94: Steyr-Dietach, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

## 8.2 Wohngebäude mit wassergeführtem Heizsystem

### 8.2.1 Mühlweg, Wien

#### 8.2.1.1 Allgemeine Darstellung

Die allgemeine Darstellung bzw. die Darstellung der sozialwissenschaftlichen Untersuchung beruht auf Daten aus dem Endbericht „Energietechnische und baubiologische Begleituntersuchung Passivmehrfamilienhaus Mühlweg“ (W. Wagner et al. (2010)).

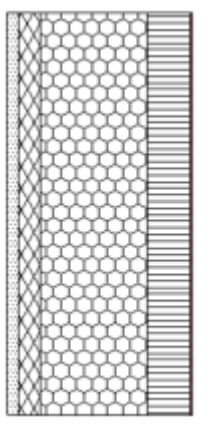

<b>Mühlweg Wien</b>	
<b>Allgemeine Projektbeschreibung</b>	
Anschrift	Fritz-Kandl-Gasse 1, A-1210 Wien



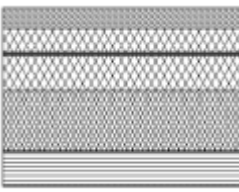
## Mühlweg Wien

Gebäudetyp	Mehrfamilienwohnanlage, 4 Häuser, 70 Wohneinheiten, Tiefgarage Wohnnutzfläche gesamt: 6.750 m <sup>2</sup>
Bauweise	Holzmassiv-Mischbauweise, Passivhausstandard
Bauherr	KLEA Wohnbau Gesellschaft m.b.H
Bauträger	BAI Bauträger Austria Immobilien GmbH
Generalunternehmer	Universale Bau AG (Baumeisterarbeiten, Innenausbau), KLH Massivholz GmbH (Holzkonstruktionen, Fassade)
Architekt	Dietrich/Untertrifaller Architekten
Konsulent	Schöberl & Pöll GmbH (Passivbauweise), Holzforschung Austria (Holzbau)
Technische Planung	JR-Consult ZT GmbH (Tragwerksplanung) ALLPLAN GmbH (Haustechnik) Dipl.-Ing. Barbara Bacher (Freiraumplanung) IBO Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Bauphysik)
Errichtung	Oktober 2005 - Dezember 2006
Baukosten	7,5 Mio. €; 1.100 €/m <sup>2</sup>

### Gebäudekonzept

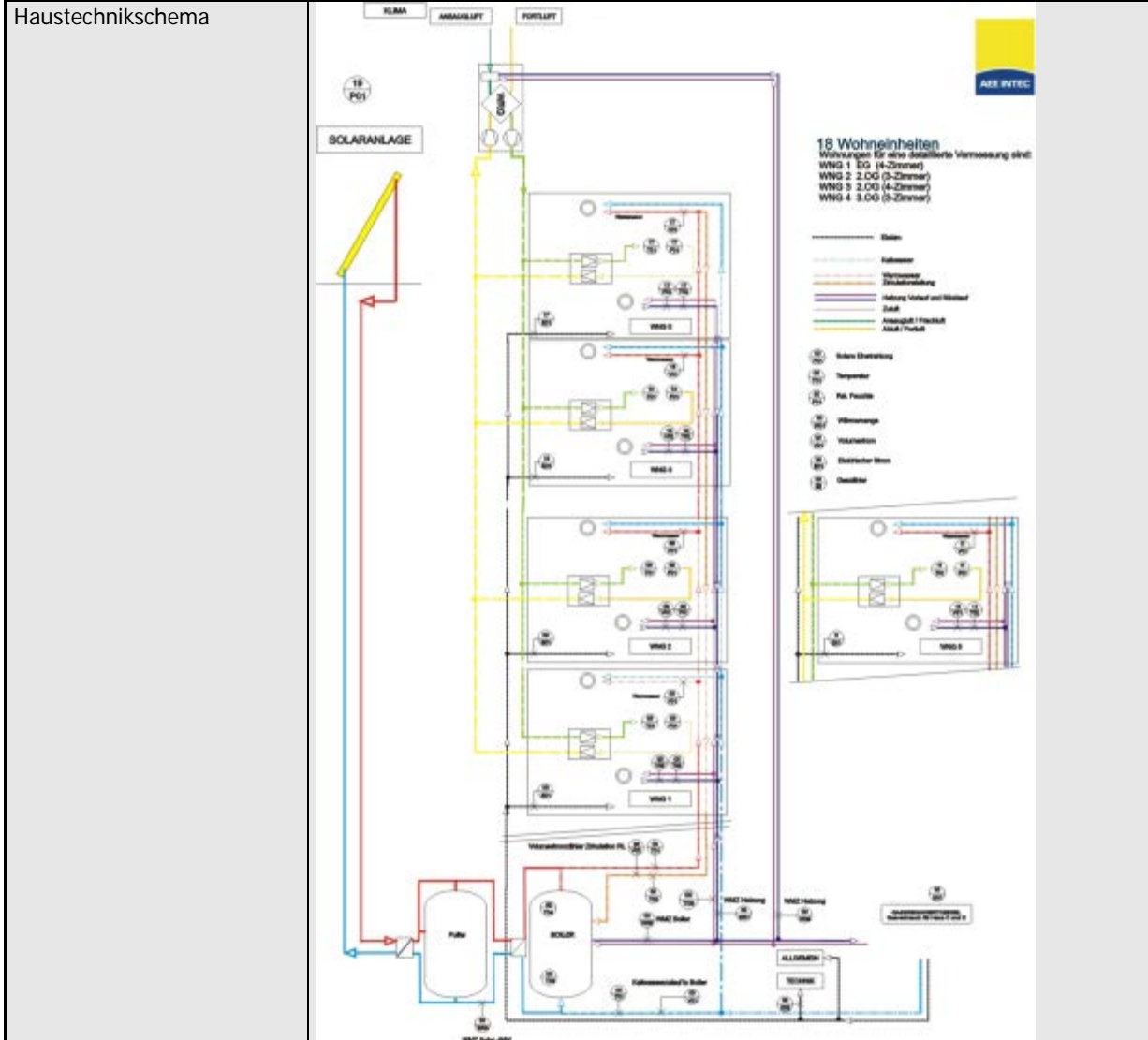
Baukonstruktion	Scheibenbauweise Fundament, Keller und Stiegenhaus aus Stahlbeton Außenwände aus KLH (Vorfertigung im Werk inkl. Fenster und Dämmung) Wände und Decken aus KLH (Rohbauelemente im Werk vorgefertigt)		
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand	 <p>Putz Holzwoleleichtbauplatte Mineralwolle-Dämmung zwischen Holzständer Strömungsdichte Folie KLH-Holzwand GKF Platte</p>	2,5 5,0 - 24,0 - 9,5 1,5	0,15
Kellerdecke bzw. Decke gegen Erdreich	 <p>Parkett Estrich Dampfsperre TDPS 35/30 EPS Wärmedämmung Stahlbeton</p>	1,0 5,0 - 3,0 32,0 20,0	0,10
Decke/Dach	Kies Vlies XPS	7,0 - 8,0	0,08

## Mühlweg Wien

	Bitumen Abdichtung	1,0	
	EPS Gefälledämmung	12,0 - 23,0	
	EPS Dämmung	20,0	
	Bitumen Dampfsperre	0,5	
	Kreuzlagenholz (KLH)-Holzdecke	11,0	
	Gipskartonplatte	1,5	
Sonstige U-Werte [W/m <sup>2</sup> K]	Kellerwand		0,10
	Bodenplatte		0,10
	Holz-Alu Wärmeschutzfenster gesamt		0,80

### Haustechnikkonzept

Heizung/WW	Zwei Gasbrennwertkessel je Haus; Wärmeverteilung durch 4-Leiter-Netz, Wärmeabgabe durch Niedertemperatur-Radiatoren (60/40) 60 [m <sup>2</sup> ] thermische Solaranlage, 1000 [l] Solar-Pufferspeicher, 2 mal 500 [l] Warmwasser-Speicher, Nachheizung über Gas-Brennwertgerät
Lüftung	Zentrales Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung auf dem Flachdach montiert, Vorheizregister gegen Einfrieren des Wärmetauschers gespeist von Gastherme



### Energiekennzahlen

Energiekennwert Heizwärme, berechnet laut PHPP	14,30 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> ·a)
--	--

## Mühlweg Wien

Heizwärmeverbrauch, gemessen bei mittlerer Raumtemperatur  
(Messwohnungen) Messjahr 2007

14,43 kWh/(m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>·a)

### 8.2.1.2 Behaglichkeitsanalyse

Für die Auswertung wurden vier Messwohnungen herangezogen, deren Messdaten im Zeitraum zwischen 1. Oktober 2007 und 30. April 2008 liegen. Wie auch in den Projekten Dreherstraße oder Utendorfsgasse liegt maximale Raumfeuchte häufig zwischen 40 % und 50 %-rF und auch die Streuung ist relativ hoch (siehe Markierung in Abbildung 95).

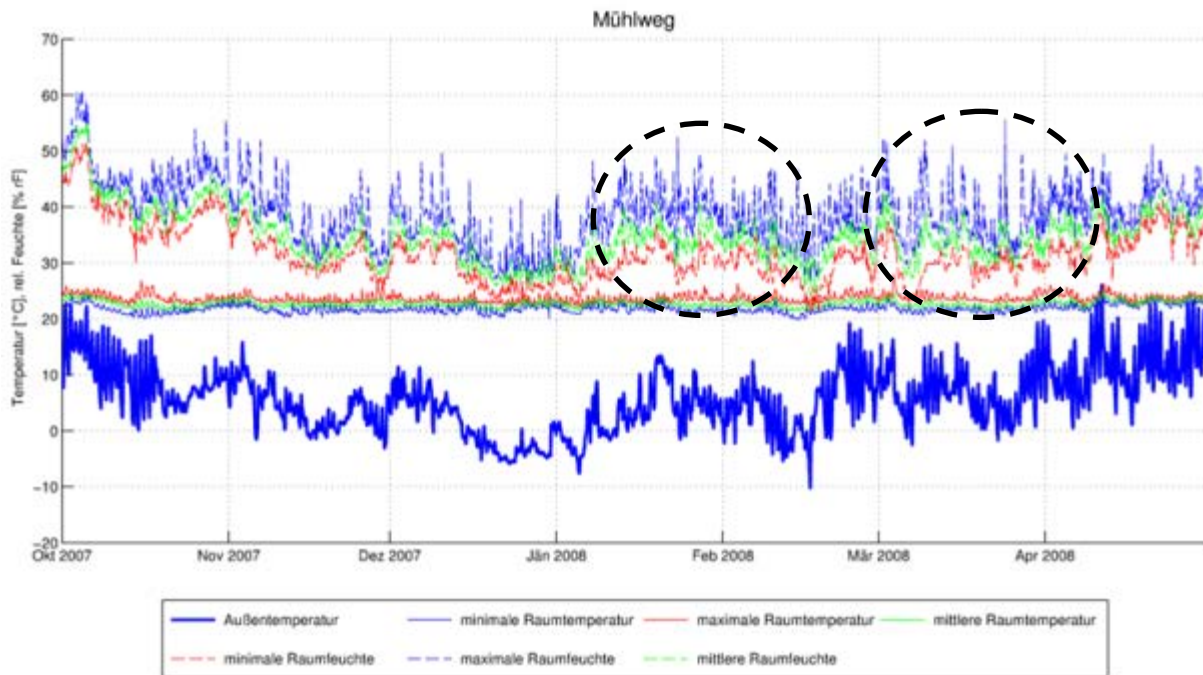


Abbildung 95: Mühlweg, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte

Wie Abbildung 96 und Abbildung 97 zeigen, ist die Unterschreitungshäufigkeit von 21°C relativ gering. Die Werte für die Zielwertabweichung liegen im Kernwinter zwischen 22 h und 200 h bzw. zwischen 22 h und 362 h in der Heizperiode. Das heißt, dass in einer Wohnung die Unterschreitung nur im Kernwinter auftritt, in den anderen Wohnungen jedoch auch ein beträchtlicher Anteil außerhalb des Kernwinters.

Hinsichtlich der Bewertung der relativen Luftfeuchtigkeit in den Wohnungen liegt die Zielwertabweichung der Wohnung mit der geringsten Unterschreitung um den Faktor 5 niedriger als diejenigen mit der höchsten Zielwertabweichung (0,34 %-rF in Wohnung 3 bzw. 1,59 %-rF in Wohnung 2). Betrachtet man die Heizperiode so liegen die Werte für die Zielwertabweichung zwischen 0,15 %-rF und 0,89 %-rF, was ca. einem Faktor 6 entspricht (siehe Abbildung 98 und Abbildung 99).

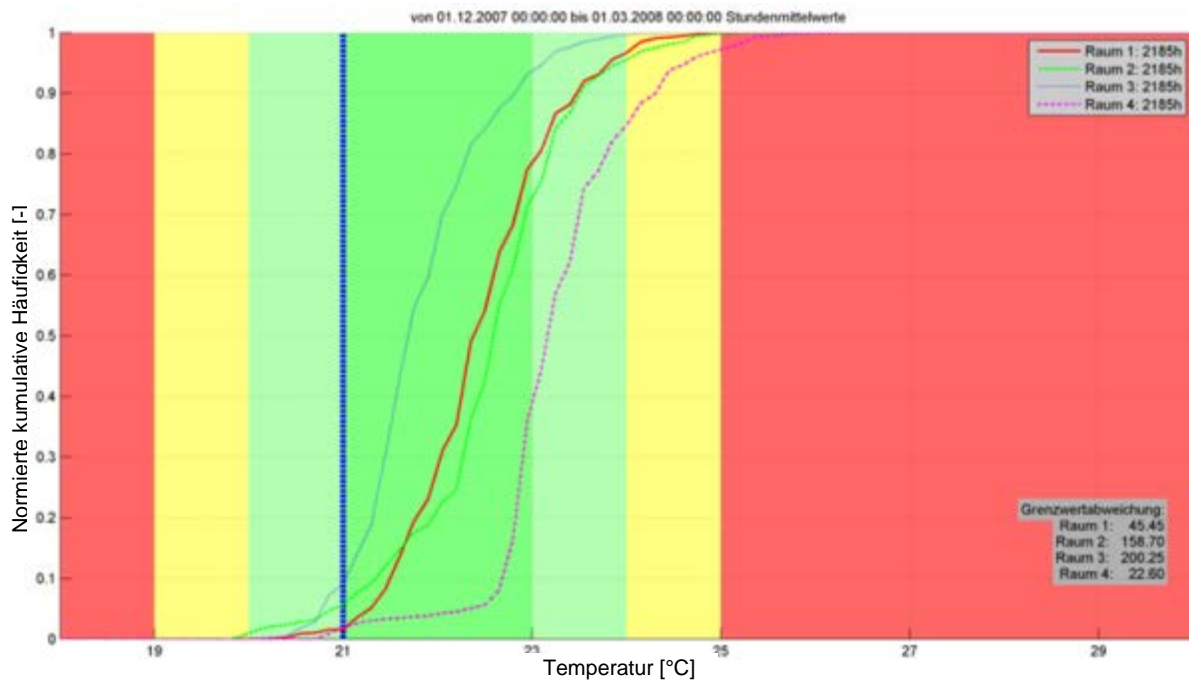


Abbildung 96: Mühlgweg, Kernwinter (1. Dezember- 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

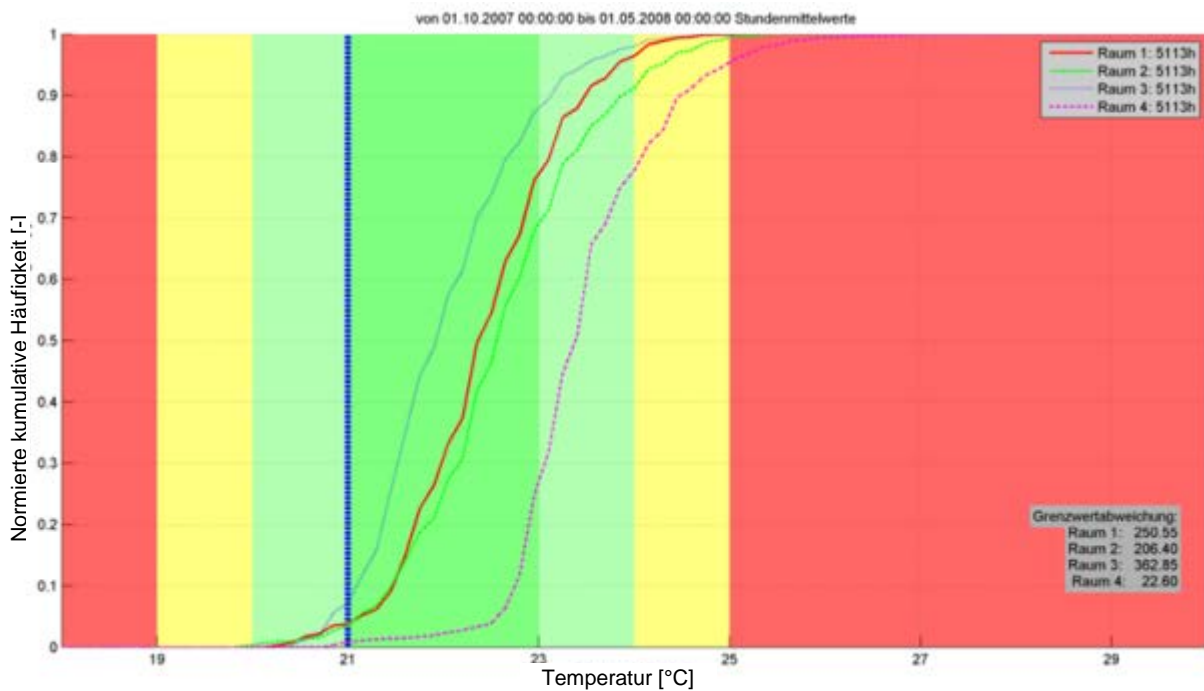


Abbildung 97: Mühlgweg, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

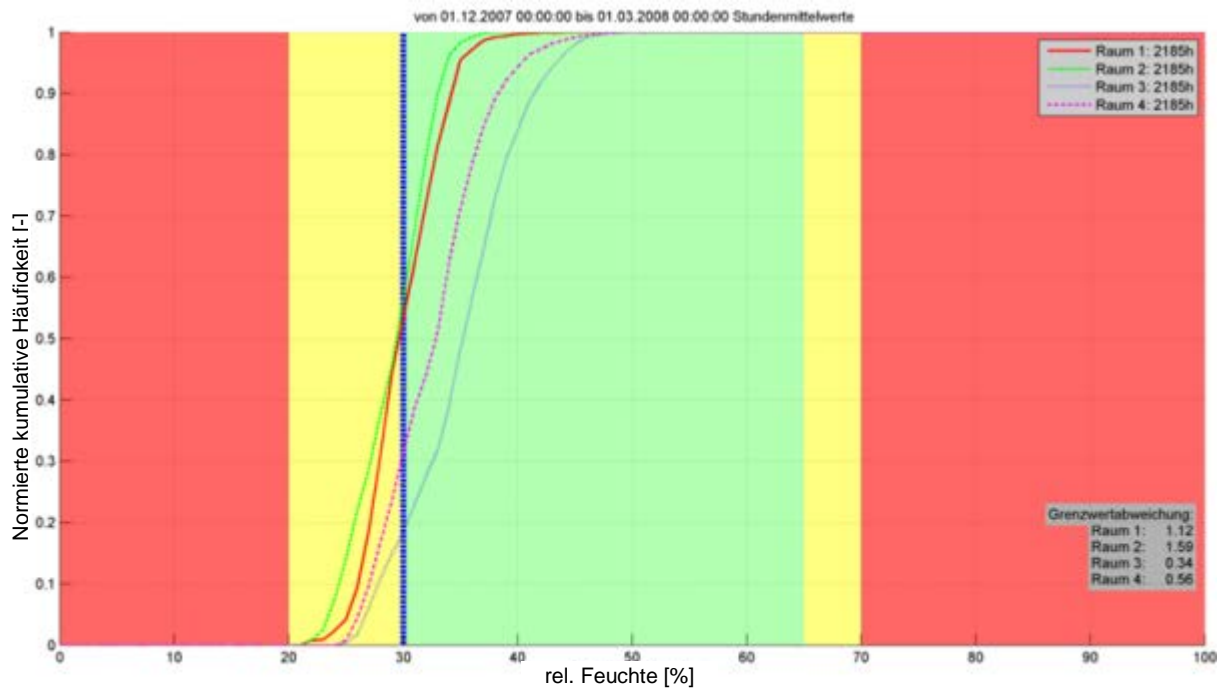


Abbildung 98: Mühlgweg, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

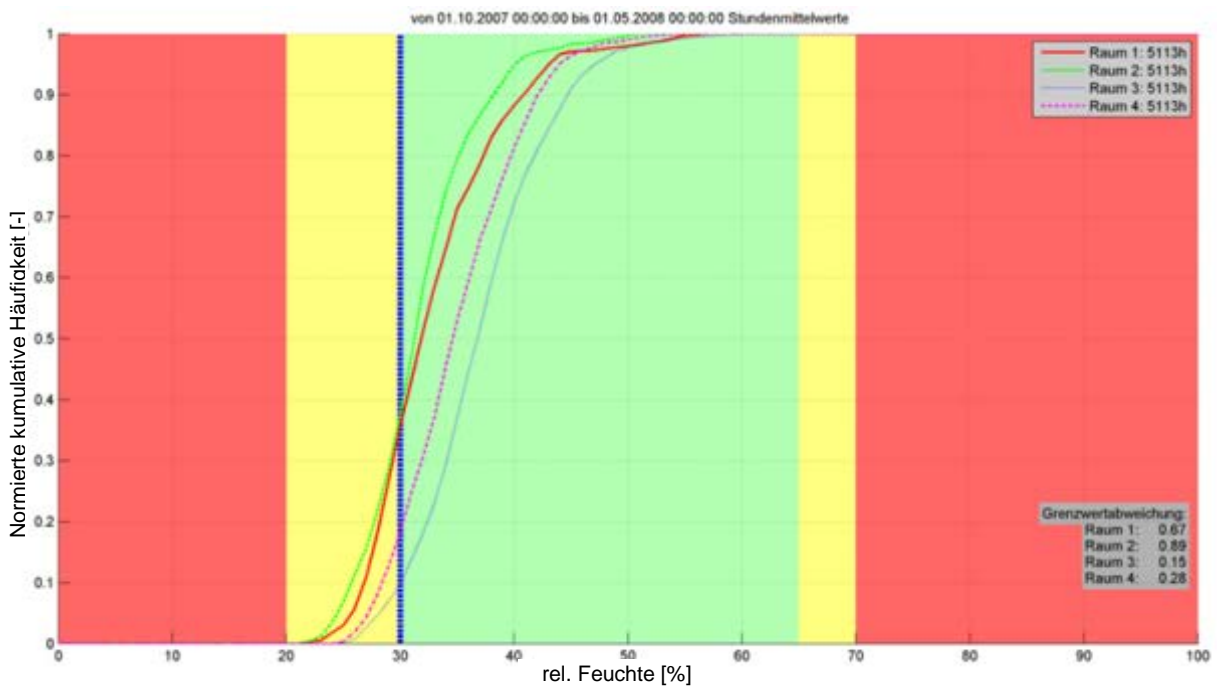


Abbildung 99: Mühlgweg, Heizperiode (1. Oktober – 30. April), Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

### 8.2.1.3 Sozialwissenschaftliche Untersuchung

Für die sozialwissenschaftliche Begleitforschung wurden mit den BewohnerInnen der ausgewählten Messwohnungen (Haus C der Anlage) persönliche qualitative Interviews geführt als auch schriftliche Fragebögen der übrigen BewohnerInnen ausgewertet. Darüber hinaus wurde ein qualitatives Interview mit dem zuständigen Haustechnikplaner, DI Helmut Schöberl, geführt. Die Datenerhebung erfolgte auf persönlichem, telefonischem und schriftlichem Weg.

Alle BewohnerInnen der Messwohnungen wurden im Haus C mit einem Gesprächsleitfaden interviewt (insgesamt fünf), darüber hinaus wurden die anderen Haushalte mit Fragebögen befragt (hier gab es einen Rücklauf von 31 Fragebögen). Weiters wurde für die Auswertung auch eine von Univ.-Prof. Dr. Alexander Keul durchgeführte Befragung unter den BewohnerInnen aus dem Jahr 2007 herangezogen. Die weiteren Befragungen wurden in den Jahren 2008 und 2009 durchgeführt.

In nachfolgender Tabelle 13 werden die wesentlichsten Aussagen zusammengefasst.

Tabelle 13: sozialwissenschaftliche Untersuchung Mühlweg, Zusammenfassung der Aussagen

Bewertungskriterien	Zufriedenheit	Bewertungskriterien	Information
Lüftungsanlage	fast 50% eher zufrieden/einige sehr zufrieden/ einige unzufrieden	Menge	ca. 33% empfinden die Menge als ausreichend, 67% als zu wenig
Entwicklung der Bewertung der Lüftungsanlage über die Jahre 2007 - 2009	bei einigen hat sich die Bewertung eher verschlechtert	Handbuch/Broschüre	vorhanden
Bedienfreundlichkeit der Lüftungsanlage	50% gut/50% schlecht, fehlende Einstellmöglichkeiten werden bemängelt	persönliche Einschulung	wurde durchgeführt
Schulnoten für Lüftungsanlage	neun Bewertungen „gut“, dreizehn Bewertungen „befriedigend“	Hausversammlung zum Thema Passivhaus und Lüftungsanlage	wurde gewünscht
Luftzufuhr	kaum Unterschiede in der Luftzufuhr bei Veränderung der Regelung zu bemerken	Frage wieder in ein Passivhaus ziehen ja/nein	2/3 würden wieder in ein Passivhaus ziehen

Bewertungskriterien	Zufriedenheit	Bewertungskriterien	Information
trockene Luft	von einigen als Problem angeführt		
Überhitzungsprobleme im Sommer	werden artikuliert		
Wärmeversorgung im Winter	teilweise Probleme mit der Wärmeversorgung im Winter artikuliert		
Geruchsbelästigung	laut Aussage der Bewohner über die Lüftungsrohre übertragen		
verschmutzte Auslassöffnungen in den Wohnungen/Staub über die Lüftungsanlage verteilt	vor allem feiner Staub als Problem angeführt		

## 8.2.2 Lodenareal Innsbruck

### 8.2.2.1 Allgemeine Darstellung

Die allgemeine Darstellung bzw. die Darstellung der sozialwissenschaftlichen Untersuchung beruht auf Daten aus dem Endbericht des Forschungsprojekts Passivhauswohnanlage Lodenareal, herausgegeben von Energie Tirol (W. Wagner et al. (2012)).



## Lodenareal Innsbruck



### Allgemeine Projektbeschreibung

Anschrift	General Eccher Straße 33, Innsbruck
Gebäudetyp	Passivhauswohnanlage mit 354 Mietwohnungen, 4 L-förmige Gebäude, Wohnnutzfläche: 26.000 m <sup>2</sup>
Bauträger	NEUE HEIMAT TIROL Gemeinnützige Wohnungs- und Siedlungsgesellschaft mbH
Planungs- und Bastellenkoordination	MEISSL Architects ZT GmbH, Seefeld
Architekt	Architekturwerkstatt din a4 ZT GmbH, Innsbruck teamk2 [architects] ZT GmbH, Innsbruck
PHPP-Berechnung	Herz-Lang GmbH, Weitnau
Technische Planung	Statik: IFS Ziviltechniker GmbH, Fritzer – Saurwein, Innsbruck, Dipl.-Ing Neuner Gerhard ZT GmbH, Rum HSL – Planung: Klimatherm GmbH, Zirl Bauphysik: Spektrum - Zentrum für Umwelttechnik & -management Gesellschaft mbH – Bauphysik, Dornbirn, DI Peter Fiby, Innsbruck
Errichtung	Dezember 2007 – Frühjahr 2010
Gesamtbaukosten	46 Mio. €; (bezogen auf die Wohnnutzfläche: 1.770 €)

### Gebäudekonzept

Baukonstruktion			
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Außenwand	Putzsystem Dämmung Beton Innenputz	1,0 29,5 18,0 1,5	0,11
Flachdach	Dachbegrünung Flachdachabdichtung Dämmung Dampfsperre Beton	0,5 39,5 0,2 20,0	0,1
Schichten			
	Schichten	Dicke [cm]	U-Wert [W/m <sup>2</sup> K]
Bodenplatte TH UG	Fliesen Estrich	1,0 6,0	0,185



<b>Lodenareal Innsbruck</b>			
	Dämmung (3 Schichten) Beton Dämmung	13,5 40,0 6,0	
Decke über Tiefgarage	Fliesen Estrich Dämmung (2 Schichten) Beton Dämmung	1,0 6,0 10,0 20,0 26,0	0,107
Wände TH UG	Beton Dämmung Putzsystem	25,0 24,0 0,6	0,157
Fenster	Gesamt U-Wert		0,65
<b>Haustechnikkonzept</b>			
Heizung/WW	Wärmeerzeugung durch Gasbrennwertkessel, Pelletskessel bzw. 1050 m <sup>2</sup> thermische Solarkollektoren, jeder L-förmige Baukörper besitzt eine Unterzentrale mit 5 bzw. 6 Pufferspeichern (2.500 l), aus den Pufferspeichern Versorgung der Wohnungsstationen mittels Zweileiternetz, Wohnungsstationen zur Warmwasserbereitung bzw. Versorgung der Fußbodenheizung in den Außenbereichen		
Lüftung	Lüftungsanlage für jedes Stiegenhaus, Luftvorwärmung bzw. -kühlung über Grundwasser, Wärmerückgewinnung über Kreuz-Gegenstromwärmetauscher (Wärmebereitstellungsgrad 82%)		
Haustechnikschema			
<b>Energiekennzahlen</b>			
Energiekennwert Heizwärme, berechnet laut PHPP		14,00 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> *a)	
Heizwärmeverbrauch, gemessen bei mittlerer Raumtemperatur (18 Messwohnungen, EBF = 1.393 m <sup>2</sup> ) Messjahr 1.1.2011 – 31.12.2011		16,26 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>EBF</sub> *a)	

### 8.2.2.2 Behaglichkeitsanalyse

Im Projekt Lodenareal wurde während der Messphase von AEE INTEC in 18 Wohnungen das Wohnzimmer, in 6 Wohnungen auch das Schlafzimmer, vermessen. Die Auswertung in diesem Bericht zieht analog zu den übrigen Projekten Raumlufttemperaturen und Raumluftfeuchte der Wohnzimmer heran. Die Messdaten werden für den Zeitraum zwischen

1. Oktober 2010 – 30. April 2011 dargestellt. Um eine übersichtliche Form der Darstellung zu bieten, wurden in den Diagrammen der kumulierten Häufigkeit jeweils sechs Wohnungen in einem Diagramm zusammengefasst.

Im Projekt Lodenareal wird eine besonders große Streuung sowohl von relativer Feuchte als auch der Raumluffttemperaturen deutlich, wie Abbildung 100 aber auch die Analyse der Behaglichkeit in den nachfolgenden Abbildung 101 bis Abbildung 112 zeigt.

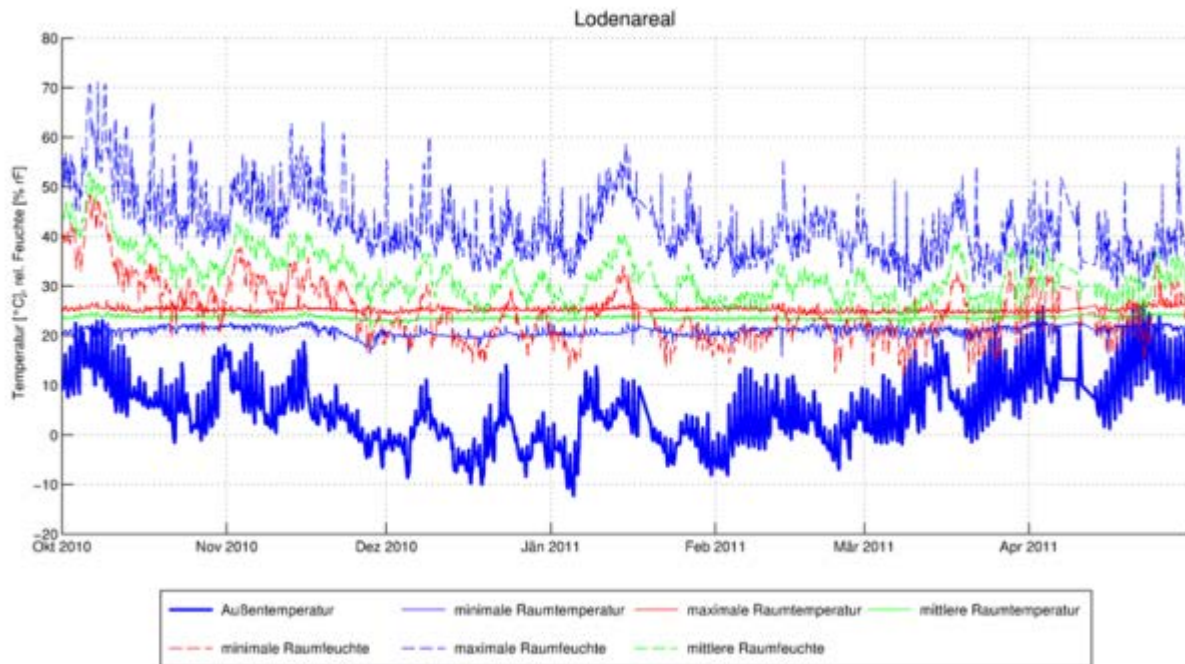


Abbildung 100: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) Stundenmittelwerte

In den folgenden drei Abbildungen (Abbildung 101, Abbildung 102 und Abbildung 103) wird die kumulierte Häufigkeit der Raumluffttemperaturen für den Kernwinter dargestellt. 21°C werden nur äußerst selten unterschritten, nur in einer Wohnung beträgt die Zielwertabweichung für den Kernwinter 2.334 Stunden (Raum 5 in Abbildung 103). In dieser Wohnung liegen relativ viele Messwerte unter 21°C und auch unter 20°C und werden daher auch stärker gewichtet. Eine Analyse der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigte, dass diese Wohnung im Winter 2010/2011 nicht bewohnt war und erst in den letzten beiden Februarwochen 2011 bezogen wurde.

Interessant ist, dass die Streuung der Raumluffttemperaturen in den Messwohnungen relativ groß ist. Abbildung 103 stellt ein gutes Beispiel dar, in dem die stark unterschiedlichen Raumluffttemperaturen deutlich werden.

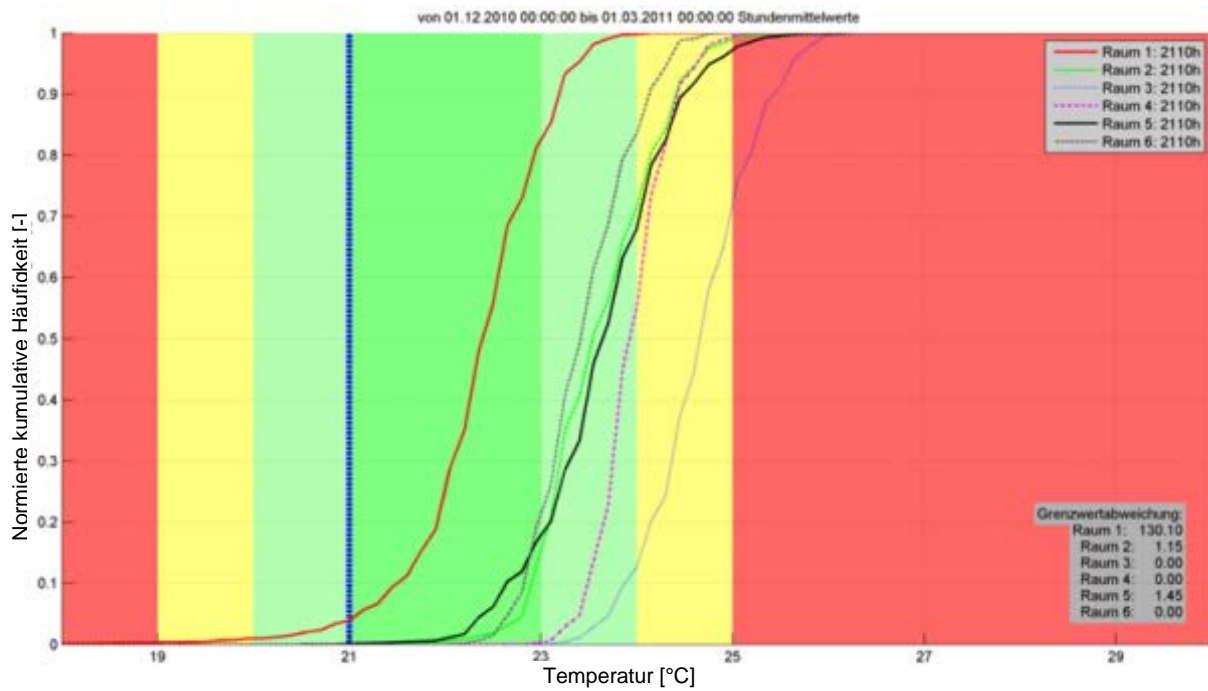


Abbildung 101: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W1-6, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

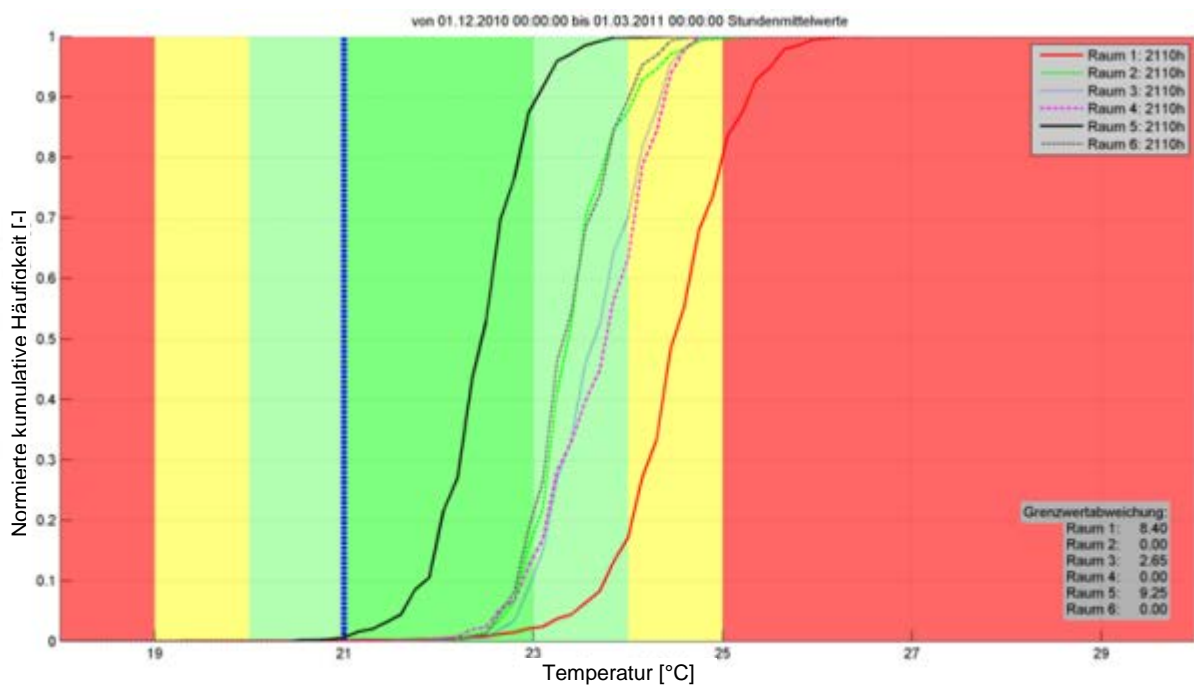


Abbildung 102: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W7-12, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

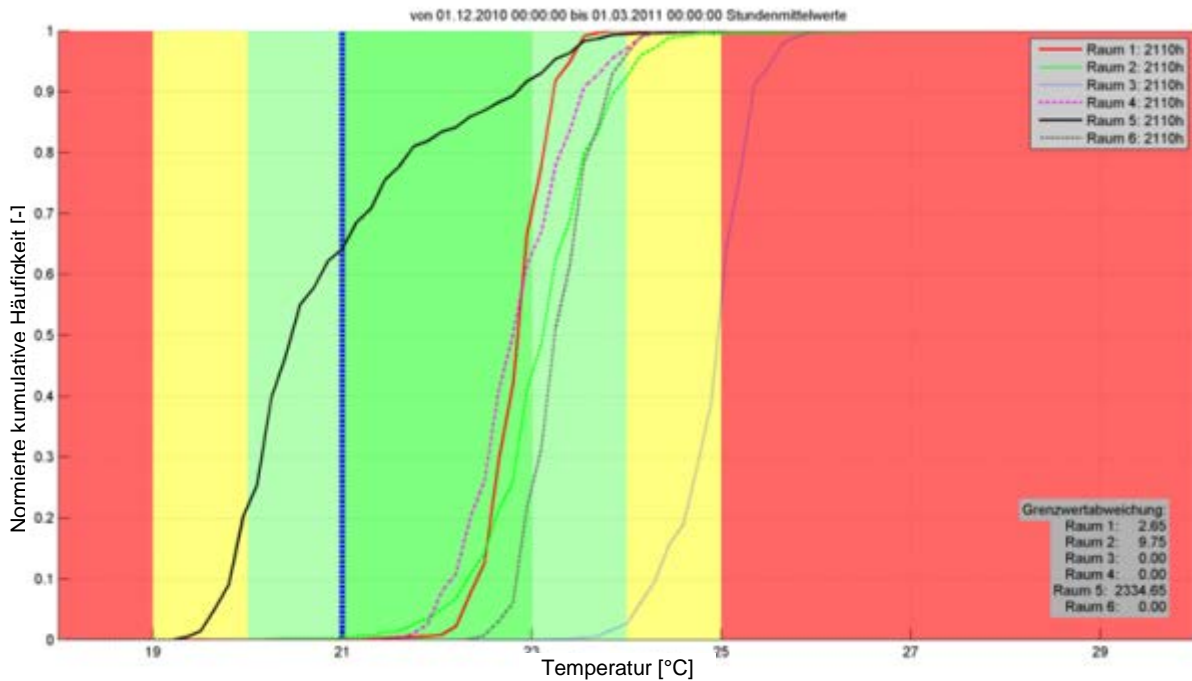


Abbildung 103: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W13-18, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

Betrachtet man die Heizperiode für die Wohnungen 1-6 (Abbildung 104) so liegen die Zielwertabweichungen für die Wohnungen zwischen 1,15 h und 596 Stunden. In Raum 1 nimmt die gewichtete Stundenzahl von 130 h auf 596 Stunden zu, was einem Faktor von ca. 4,5 entspricht, d. h. der Großteil der Unterschreitungshäufigkeiten liegt außerhalb des Kernwinters. Die gleiche Aussage kann für Raum 5 gemacht werden, wobei hier die Zielwertabweichung von 1,45 h auf 82 h (Faktor 56!) steigt. Die Raumlufttemperaturen der übrigen Wohnungen liegen auch in der Heizperiode größtenteils über 21°C. Abbildung 37 zeigt, dass für die Wohnungen 7-12 die Grenzwertunterschreitung in der Heizperiode nur unwesentlich ist.

In Abbildung 41 ist die Heizperiode für die Wohnungen 13-18 dargestellt. Die Grenzwertüberschreitung für Raum 2 steigt von 9 h auf 526 h (Faktor 58), hier liegt der Großteil der Temperaturunterschreitung in der Zeitspanne außerhalb des Kernwinters. Für Raum 5 steigt sie nur unwesentlich auf 2.370 h, das heißt der Großteil der Grenzwertunterschreitung liegt für Raum 5 im Kernwinter. Eine Analyse der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ergab, dass diese Wohnung erst ab Mitte Februar bewohnt war.

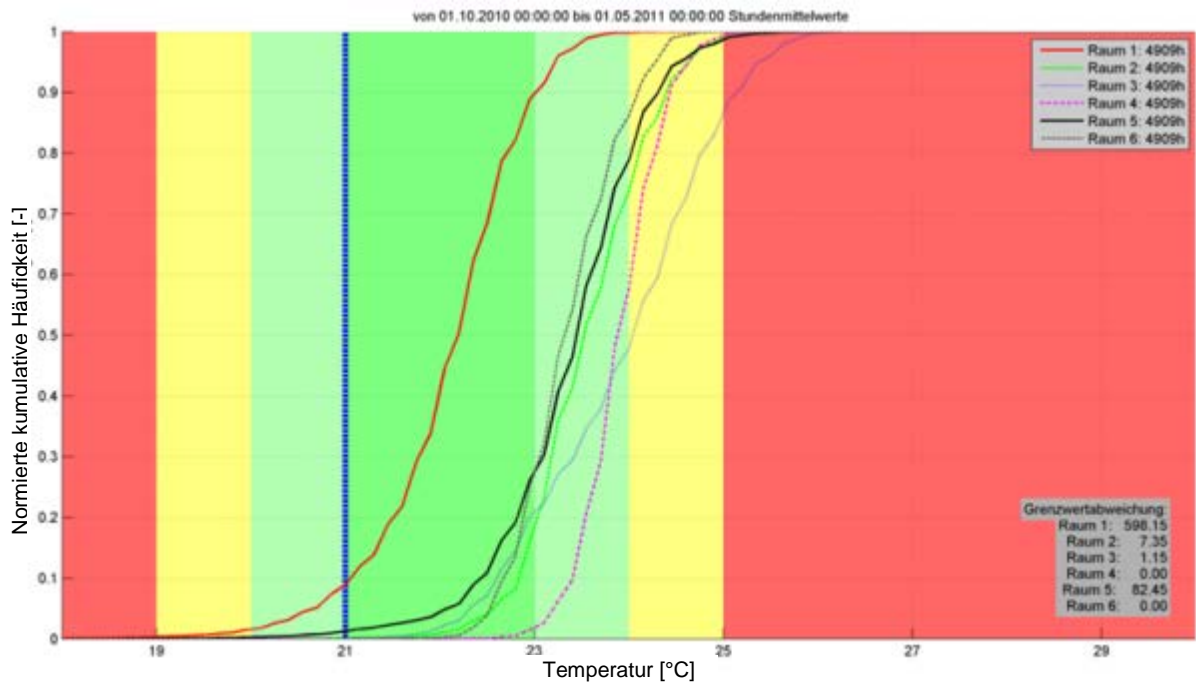


Abbildung 104: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W1-6, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

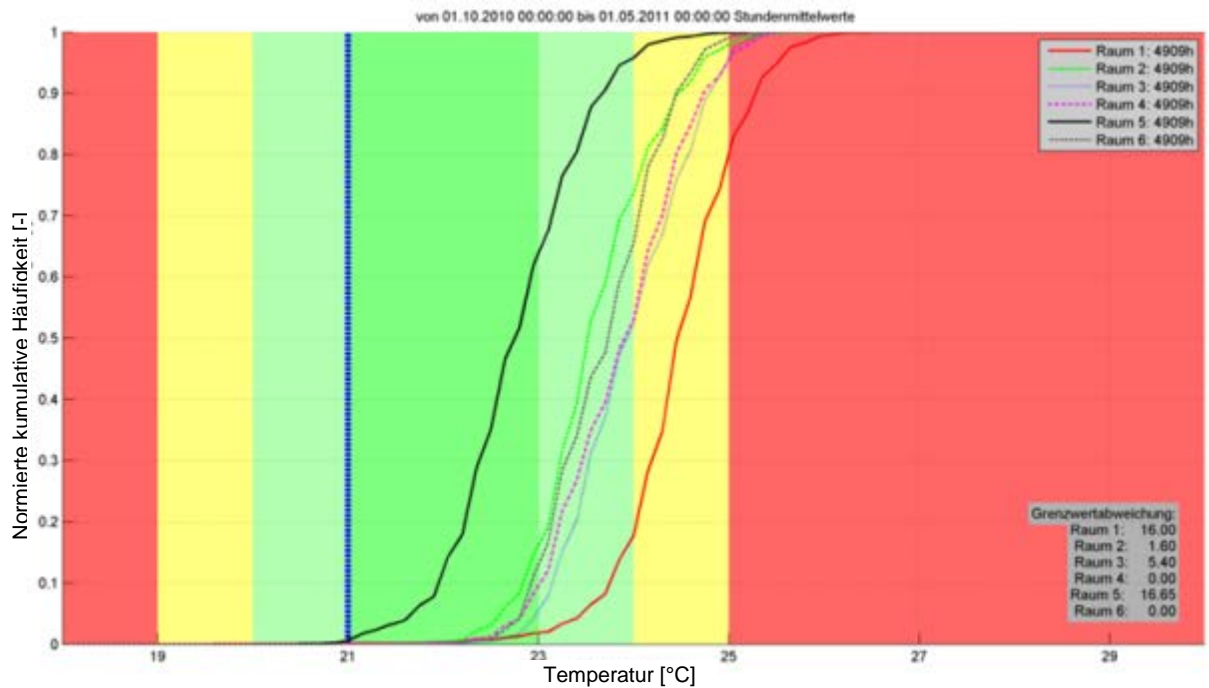


Abbildung 105: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W7-12, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar



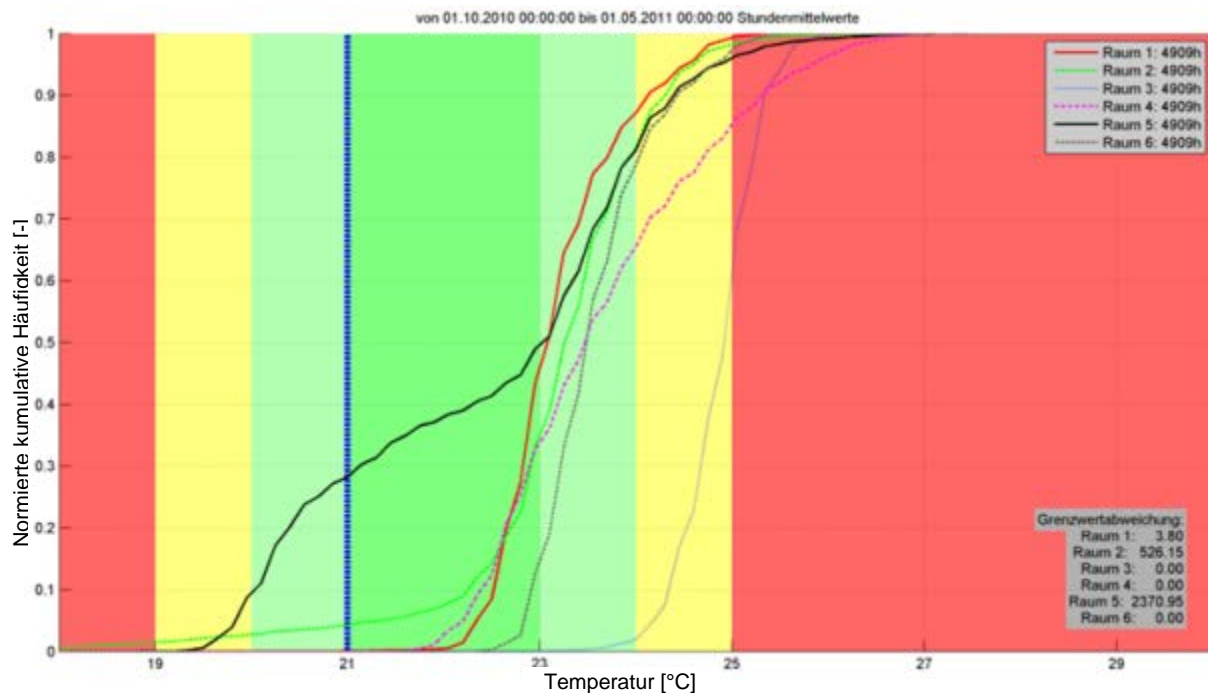


Abbildung 106: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W13-18, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die gewichtete Stundenzahl unter 21°C dar

Die Messwerte für die relative Feuchte weisen wie die Raumlufttemperaturen eine sehr breite Streuung auf. So liegen die Zielwertabweichungen für die Wohnungen im Kernwinter zwischen 0,01 %-rF und 7,78 %-rF (vergleiche Abbildung 107, Abbildung 108 und Abbildung 109), wobei eine Wohnung sehr große Abweichungen mit relativ vielen Werten unter 20 %-rF aufweisen (Raum 2 in Abbildung 107 mit GWA = 7,78%). Raum 5 in Abbildung 109 mit ZWA = 6,88 %-rF wird aufgrund der Nichtbewohntheit ausgeschlossen.

Betrachtet man die Heizperiode, so fällt auf, dass die Werte für die Zielwertabweichungen für die relative Feuchte in allen Wohnungen bis auf drei sinken. Hierbei handelt es sich jedoch um Wohnungen mit sehr geringen Zielwertabweichungen (Raum 2 in Abbildung 111, Raum 4 und Raum 6 in Abbildung 112).

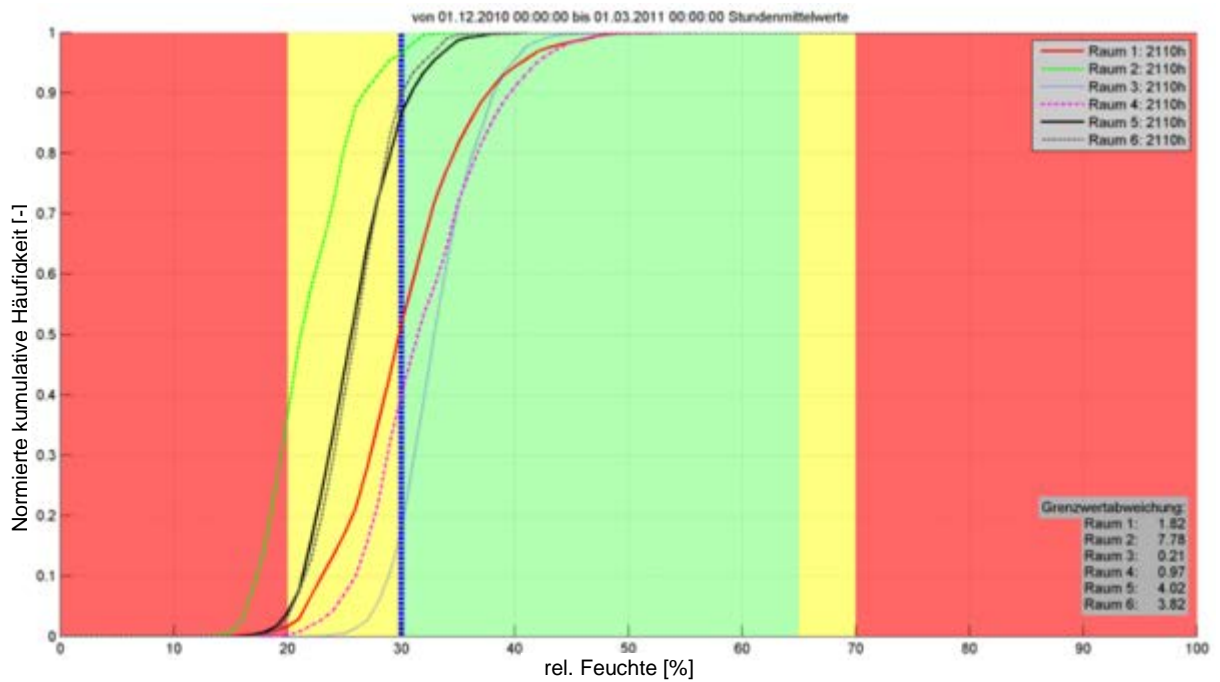


Abbildung 107: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W1-6, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

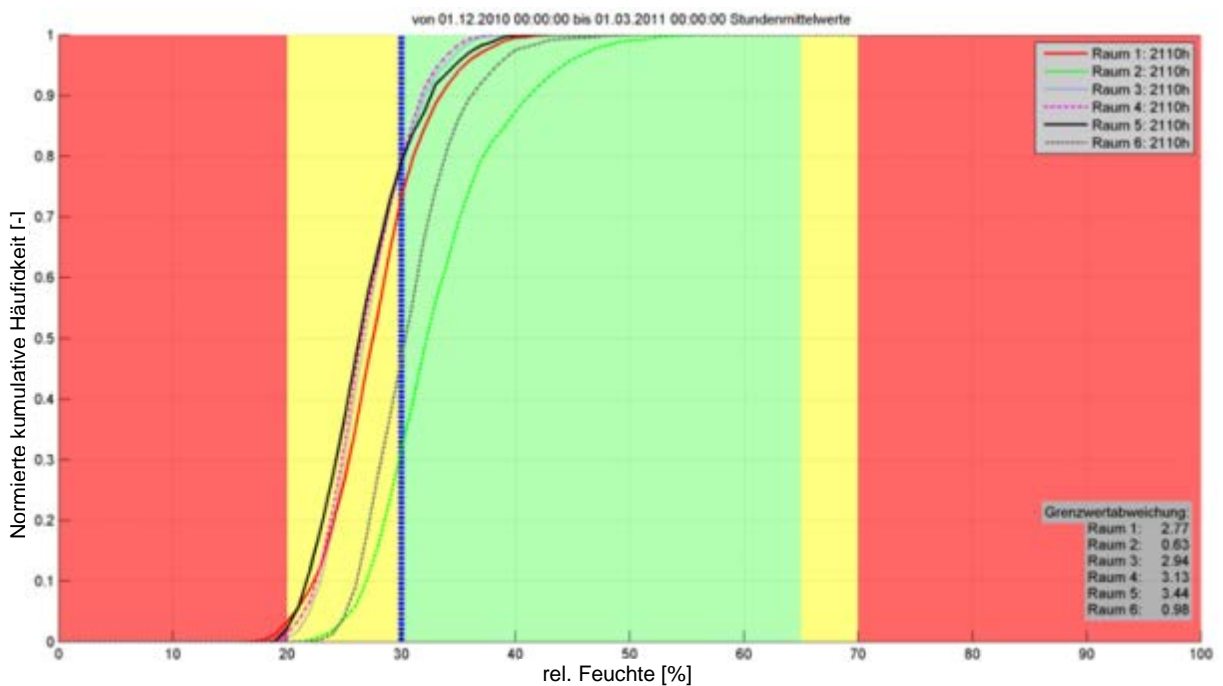


Abbildung 108: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W7-12, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

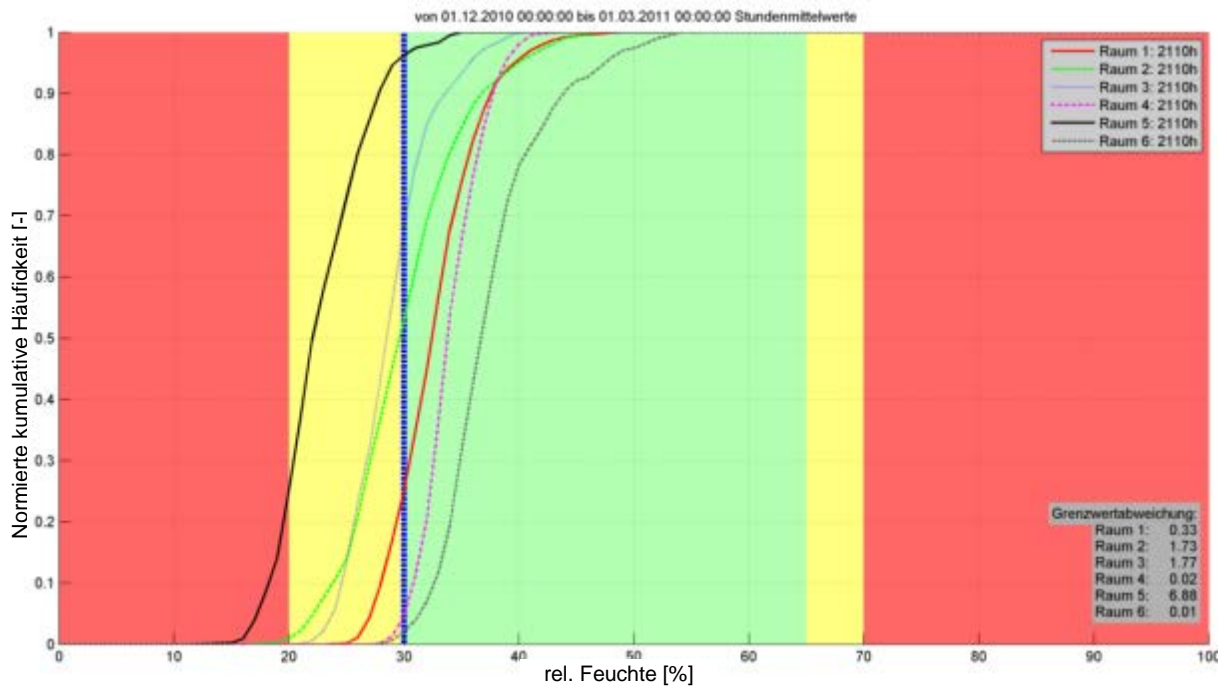


Abbildung 109: Lodenareal, Kernwinter (1. Dezember – 28. Februar) W13-18, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

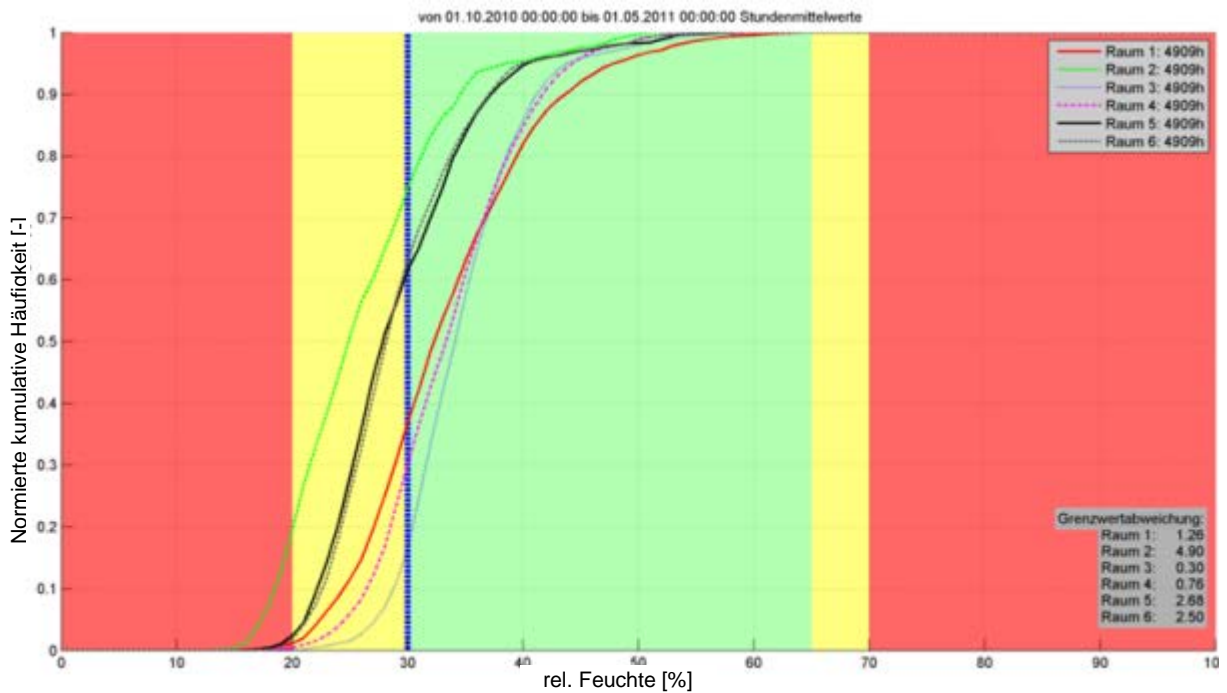


Abbildung 110: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W1-6, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar



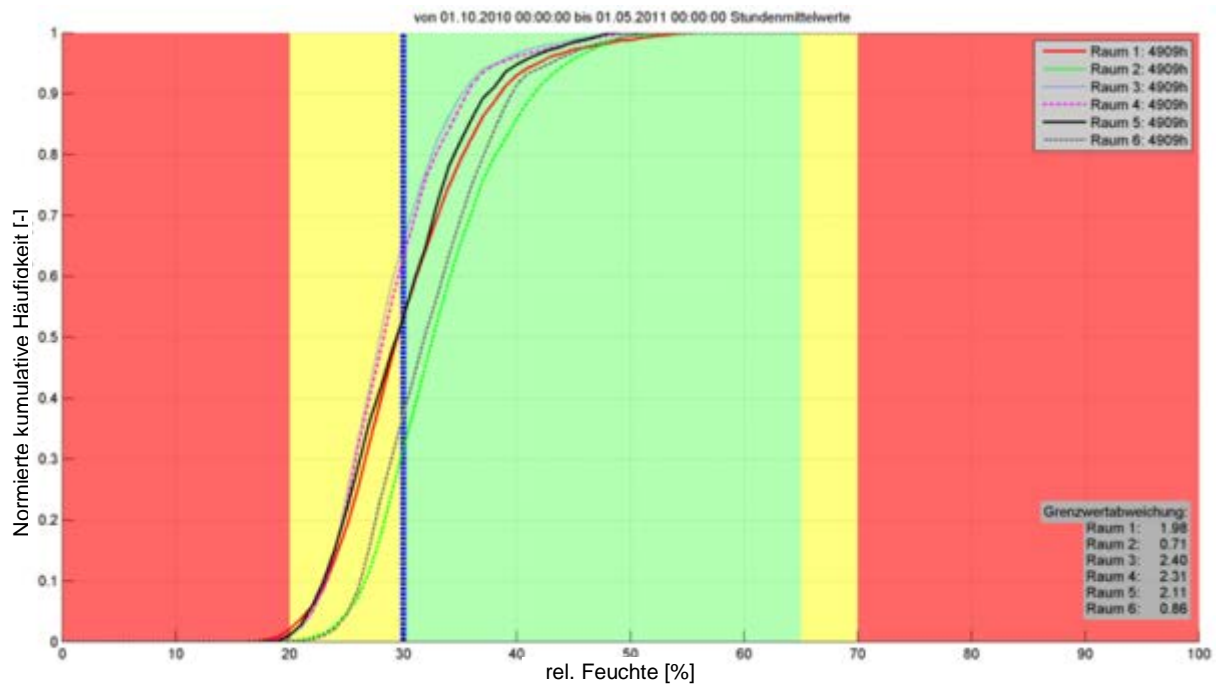


Abbildung 111: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W7-12, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar

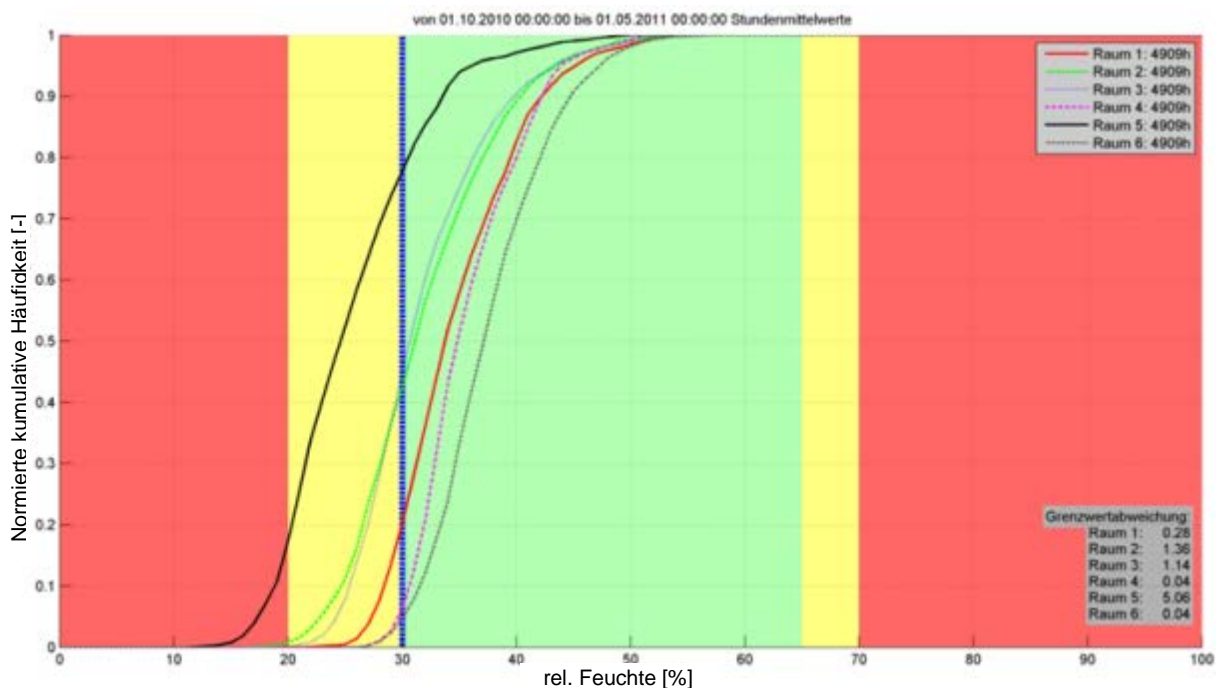


Abbildung 112: Lodenareal, Heizperiode (1. Oktober – 30. April) W13-18, Werte rechts oben stellen die Gesamtstundenzahl der gemessenen Werte für jeden Raum dar, Zielwertabweichung stellt die Summe der Unterschreitung der Grenze von 30 %-rF dar.

### 8.2.2.3 Sozialwissenschaftliche Untersuchung

Die sozialwissenschaftliche Untersuchung wurde vom Interuniversitären Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur – IFZ Graz durchgeführt. Mit Hilfe der Durchführung von sozialwissenschaftlichen schriftlichen Befragungen, qualitativen Interviews und einer

Fokusgruppe mit ausgewählten BewohnerInnen wurden die Rückmeldungen der Nutzer erhoben und zu den technischen Messdaten in Relation gesetzt. Diesbezüglich konnte auch auf Erfahrungen aus anderen Nutzerevaluationen aufgebaut werden.

Es gab zwei quantitative Befragungen, die erste Befragung wurde vom zuständigen Wohnbauträger „Neue Heimat Tirol“ im Juli 2010 selbst durchgeführt. Der Fragebogen wurde vom Hausmeister der Wohnanlage an die BewohnerInnen verteilt und erzielte eine Rücklaufquote von 17,2% (61 Fragebögen). Diese Befragung zeichnet bereits ein durchaus positives Bild. Die zweite Befragung ergab eine Rücklaufquote von 16% (57 Fragebögen). Die wichtigsten Ergebnisse dieser Befragungen sind im Folgenden dargestellt.

**Tabelle 14: sozialwissenschaftliche Untersuchung Mühlweg, Zusammenfassung der Aussagen**

1. Befragung	Zufriedenheit	1. Befragung	Information
Heizung	96% äußerten sich zur Heizung mit sehr zufrieden bzw. zufrieden	Menge	nur knapp 40 % waren mit der Menge an Information zufrieden
Bedienfreundlichkeit der Lüftungsanlage	90% finden die Lüftungsanlage sehr oder eher bedienerfreundlich	Handbuch/Broschüre	vorhanden
Schulnoten für Lüftungsanlage	80% vergeben für die Lüftungsanlage die Schulnote „sehr gut“ bzw. „gut“	persönliche Einschulung	durchgeführt
		Frage wieder in eine Wohnung mit Lüftungsanlage ziehen ja/nein	92 % der Befragten würden wieder in eine Wohnung mit Komfortlüftung einziehen wollen
2. Befragung	Zufriedenheit	2. Befragung	Information

Heizung	84 % äußerten sich zur Heizung mit sehr zufrieden bzw. zufrieden	Menge	von 60% wird die Information als ausreichend beurteilt, 28 % zu wenig, ca. 9% erreichte die Information gar nicht
Lüftungsanlage	Knapp 80% äußern sich zufrieden bzw. eher zufrieden mit der Komfortlüftung	Handbuch/Broschüre	vorhanden
2. Befragung	<b>Zufriedenheit</b>	2. Befragung	<b>Information</b>
Regelungsmöglichkeiten der Lüftungsanlage	etwa 55% der BewohnerInnen sind zufrieden mit den Regelungsmöglichkeiten, 50 % wünschen sich eine 3-Stufen Regelung, 36 % wünschen sich mehr Regelungsstufen, etwa 10 % wünschen sich eine automatische Regelung, etwa 6 % wünschen sich eine ein/aus Regelung	persönliche Einschulung	vorhanden
Einstellung gegenüber Lüftungsanlage	bei knapp 30 % hat sich die Einstellung zum Positiven geändert, bei 30 % blieb sie gleich positiv, knapp 30 % sind neutral gegenüber der Lüftungsanlage und ca. 12 % negativ eingestellt	Frage wieder in eine Wohnung mit Lüftungsanlage ziehen ja/nein	47% würden wieder in eine Wohnung mit Lüftungsanlage ziehen, 32% eher schon, auf keinen Fall 3%

Schulnoten für Lüftungsanlage	die Schulnoten haben sich gegenüber der ersten Befragung in Richtung gut und befriedigend verschoben (17% sehr gut, 40% gut, 25% befriedigend, 11% genügend, 8% nicht genügend)	Fragen zum Thema Lüftungsanlage im ersten Jahr nach Bezug	bei 43% der BewohnerInnen tauchten Fragen auf, es stand aber keine Ansprechperson zur Verfügung
Luftzufuhr	83 % lüften im Winter zusätzlich zur eingeschalteten Komfortlüftung, als Gründe werden Gewohnheit, Geruchsentwicklung beim Kochen, trockene Luft, zu wenig Luft in der Wohnung angegeben		
Überhitzungsprobleme im Sommer	50 % zufrieden, 50 % zu heiß oder zu stickig		

Tabelle 15 zeigt abschließend eine Zusammenstellung der Zielwertabweichungen der Raumlufttemperaturen und der relativen Feuchte aller Projekte.

**Tabelle 15: Zusammenfassung der Zielwertabweichungen aller Projekte**

Projekt	ZWA Temperatur [h]		ZWA rel. Feuchte [%-rF]	
	Kernwinter 1.12.-28.2.	Heizperiode 1.10.-30.4.	Kernwinter 1.12.-28.2.	Heizperiode 1.10.-30.4.
<b>Objekte mit luftgeführtem Heizsystem</b>				
<b>Dreherstraße (DR)</b>				
Raum1 DR	1001,25	1002,70	0,00	0,00
Raum2 DR	827,25	849,10	0,76	0,45
Raum3 DR	0,00	0,00	0,73	0,36
Raum4 DR	0,00	4,80	0,96	0,46
Raum5 DR	886,30	947,20	0,28	0,15
Raum6 DR	148,50	432,75	0,26	0,11
min	0,00	0,00	0,00	0,00
mittel	477,22	539,43	0,50	0,26
max	1001,25	1002,70	0,96	0,46
<b>Utendorfstraße (UT)</b>				
Raum1 UT	43,30	54,00	0,03	0,02
Raum2 UT	0,00	5,50	0,56	0,35
Raum3 UT	0,00	0,00	2,92	1,56
Raum4 UT	0,00	4,50	0,35	0,18
min	0,00	0,00	0,03	0,02
mittel	10,83	16,00	0,96	0,53
max	43,30	54,00	2,92	1,56
<b>Hoerbranz (H)</b>				
Raum1 H	792,80	823,10	0,51	0,22
Raum2 H	3,45	3,45	1,22	0,53
min	3,45	3,45	0,51	0,22
mittel	398,13	413,28	0,86	0,37
max	792,80	823,10	1,22	0,53
<b>Wolfurt (W)</b>				
Raum1 W	0,00	0,00	3,46	1,85
Raum2 W	0,00	0,00	3,59	2,01
Raum3 W	0,00	0,00	4,57	2,65
Raum4 W	3,45	3,45	0,15	0,08
Raum5 W	0,00	30,20	0,01	0,01

Projekt	ZWA Temperatur [h]		ZWA rel. Feuchte [%-rF]	
	Kernwinter 1.12.-28.2.	Heizperiode 1.10.-30.4.	Kernwinter 1.12.-28.2.	Heizperiode 1.10.-30.4.
min	0,00	0,00	0,01	0,01
mittel	0,69	6,73	2,36	1,32
max	3,45	30,20	4,57	2,65
<b>Steyr (ST)</b>				
Raum1 ST	28,75	155,30	0,53	0,23
Raum2 ST	92,95	846,75	1,21	0,59
Raum3 ST	64,50	418,60	0,16	0,10
min	28,75	155,30	0,16	0,10
mittel	62,07	473,55	0,63	0,31
max	92,95	846,75	1,21	0,59
<b>Objekte mit wassergeführtem Heizsystem</b>				
<b>Mühlweg (MU)</b>				
Raum1 MU	45,45	250,55	1,12	0,67
Raum2 MU	158,70	206,40	1,59	0,89
Raum3 MU	200,25	362,85	0,34	0,15
Raum4 MU	22,60	22,60	0,56	0,28
min	22,60	22,60	0,34	0,15
mittel	106,75	210,60	0,90	0,50
max	200,25	362,85	1,59	0,89
<b>Lodenareal (LA)</b>				
W1 Raum1 LA	130,10	598,15	1,82	1,26
W2 Raum2 LA	1,15	7,35	7,78	4,90
W3 Raum3 LA	0,00	1,15	0,21	0,30
W4 Raum4 LA	0,00	0,00	0,97	0,76
W5 Raum5 LA	1,45	82,45	4,02	2,68
W6 Raum6 LA	0,00	0,00	3,82	2,50
W7 Raum1 LA	8,40	16,00	2,77	1,98
W8 Raum2 LA	0,00	1,60	0,63	0,71
W9 Raum3 LA	2,65	5,40	2,94	2,40
W10 Raum4 LA	0,00	0,00	3,13	2,31
W11 Raum5 LA	9,25	16,65	3,44	2,11
W12 Raum6 LA	0,00	0,00	0,98	0,86
W13 Raum1 LA	2,65	3,80	0,33	0,28
W14 Raum2 LA	9,75	526,15	1,73	1,36
W15 Raum3 LA	0,00	0,00	1,77	1,14
W16 Raum4 LA	0,00	0,00	0,02	0,04
W18 Raum6 LA	0,00	0,00	0,01	0,04

Projekt	ZWA Temperatur [h]		ZWA rel. Feuchte [%-rF]	
	Kernwinter 1.12.-28.2.	Heizperiode 1.10.-30.4.	Kernwinter 1.12.-28.2.	Heizperiode 1.10.-30.4.
	min	0,00	0,00	0,01
mittel	9,73	74,04	2,14	1,51
max	130,1	598,15	7,78	4,9

## 9 Anhang B: Telefonumfragen

### 9.1.1 Fragebogen für die Energieinstitute der Bundesländer

Bei den Energieinstituten wurde vor allem versucht zu erfahren welche Beratungslinie sie grundsätzlich verfolgen bzw. inwieweit sie aktiv tätig sind die eine oder andere Technologie zu forcieren.

I

# LUNA

Fragebogen für das Projekt LUNA - Luftheizung versus wassergeführte Heizsysteme in Österreich

**Hinweis:** Unter Passivhaus (PH) werden ausschließlich Objekte verstanden, welche die Kriterien des Passivhausinstitutes einhalten (Nach PHPP: max. HWB 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> bzw. Heizlast max. 10 W/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>). Analoge Bezeichnungen, z.B. von Wohnbauförderungen sind davon zu unterscheiden.

Forschungsprojekt  
im Rahmen der Programmlinie  
Haus der Zukunft Plus – 4. Ausschreibung

### Fragebogen für Energieberatungsinstitute


Institution: \_\_\_\_\_

Auskunftsperson: \_\_\_\_\_


Funktion der Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Telefoninterview durch: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_


Projektpartner:



universität  
innsbruck




AEE INTEC



komfortlüftung.at  
gesund & energieeffizient

gefördert durch:



bm



FFG



HAUS  
der Zukunft



LUNA

**I. Würden sie einem Bauträger raten ein Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**II. Würden sie einem Freund, der gerade ein Einfamilienhaus baut, raten ein Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Worin liegt der Unterschied zum MFH? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**III. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bei einer Luftheizung?**

MFH ca: \_\_\_\_\_ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. USt.)

EFH ca: \_\_\_\_\_ pro Einfamilienhaus (inkl. USt.)

**IV. Hat ihre Institution besondere Aktivitäten gesetzt um Luftheizungen zu forcieren bzw. zu verhindern? (z.B. Wohnbauförderung, Beratungslinie, Infomaterialien)**

Ja    Nein

Welche: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**V. "Wodurch wird die Leistung der Luftheizung begrenzt?"**

\_\_\_\_\_

**Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!**

2

## 9.1.2 Fragebogen für die Techniker der Wohnbauförderung

Bei den Wohnbauförderungsstellen wurde insbesondere versucht zu hinterfragen inwieweit die Förderung einen direkten oder indirekten Einfluss auf das Thema Luftheizung hat, bzw. die Förderung eventuell sogar bewusst lenkend ausgelegt ist.

I

# LUNA

Fragebogen für das Projekt LUNA - Luftheizung versus wassergeführte Heizsysteme in Österreich

**Hinweis:** Unter Passivhaus (PH) werden ausschließlich Objekte verstanden, welche die Kriterien des Passivhausinstitutes einhalten (Nach PHPP: max. HWB 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> bzw. Heizlast max. 10 W/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>). Analoge Bezeichnungen, z.B. von Wohnbauförderungen sind davon zu unterscheiden.

Forschungsprojekt  
im Rahmen der Programmlinie  
Haus der Zukunft Plus – 4. Ausschreibung

### Fragebogen für Wohnbauförderung


Bundesland: \_\_\_\_\_

Auskunftsperson: \_\_\_\_\_


Funktion der Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Telefoninterview durch: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_


Projektpartner:



universität  
innsbruck




AEE INTEC




komfortlüftung.at  
gesund & energieeffizient


gefördert durch:



bme



FFG



HAUS  
der Zukunft

Abbildung 115: Fragebogen Wohnbauförderung – Seite 1

**I. Würden sie einem Bauträger raten ein Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

- Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**II. Würden sie einem „Häuslbauer“ raten ein Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

- Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Worin liegt der Unterschied zum MFH? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**III. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht bei einer Luftheizung?**

MFH ca: \_\_\_\_\_ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. USt.)

EFH ca: \_\_\_\_\_ pro Einfamilienhaus (inkl. USt.)

**IV. Gibt es eine spezielle Passivhausförderung in ihrem Bundesland?**

- Ja    Nein

Förderung bis zu €/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_    Kredit    Barzuschuss

**V. Wird durch die Förderung eine Luftheizung gegenüber einem wassergeführten Wärmeverteilsystem (Fußbodenheizung, Radiator) bevorzugt bzw. benachteiligt?**

- keine Unterscheidung    Luftheizung hat bessere Förderung    FBH, Radiator hat bessere Förderung

Begründung: \_\_\_\_\_

**VI. Welcher %-Satz an geförderten Passivhäusern wird derzeit mit Luftheizung ausgeführt?**

MFH ca. \_\_\_\_\_%   MFH ca. \_\_\_\_\_%

**VII. "Wodurch wird die Leistung der Luftheizung begrenzt?"**

\_\_\_\_\_

**Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!**

### 9.1.3 Fragebogen für die Bauträger

Bei den Wohnbauträgern wurde vor allem versucht die Kostenseite zu beleuchten.

|

# LUNA

Fragebogen für das Projekt LUNA - Luftheizung versus wassergeführte Heizsysteme in Österreich

**Hinweis:** Unter Passivhaus (PH) werden ausschließlich Objekte verstanden, welche die Kriterien des Passivhausinstitutes einhalten (Nach PHPP: max. HWB 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> bzw. Heizlast max. 10 W/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>). Analoge Bezeichnungen, z.B. von Wohnbauförderungen sind davon zu unterscheiden.

Forschungsprojekt  
im Rahmen der Programmlinie  
Haus der Zukunft Plus – 4. Ausschreibung

## Fragebogen für Wohnbauträger

Wohnbauträger: \_\_\_\_\_

Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Funktion der Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Telefoninterview durch: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Projektpartner:







gefördert durch:







Abbildung 117: Fragebogen Wohnbauträger – Seite 1

**I. Würden sie ihr nächstes Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

Ja    Nein    Weis nicht    bauen keine Passivhäuser (bzw. nicht mehr)

Warum: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**II. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bei einer Luftheizung (exkl. USt.)**

Ca: \_\_\_\_\_

**III. Welche Vorteile/Nachteile ergeben sich bei der Wartung/Instandhaltungskosten durch die Luftheizung?**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**IV. Sind Wohnungen mit einer Luftheizung schwieriger zu vermieten bzw. zu verkaufen?**

Ja    Nein   Warum: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**V. Hat die Luftheizung einen Einfluss auf den Wert des Gebäudes (Bewertung, Verkauf)?**

Ja    Nein   in welcher Form: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**VI. Haben sie schon Mehrfamilien-Passivhäuser umgesetzt?    Ja    Nein**

Wie viele Objekte ca. gesamt? \_\_\_\_\_ Anzahl Wohnungen gesamt? \_\_\_\_\_

Wie viele Objekte davon mit Luftheizung? \_\_\_\_\_ Anzahl Wohnungen?: \_\_\_\_\_

Wie viele % der Passivhäuser sind „wirkliche Passivhäuser nach PHPP“ \_\_\_\_\_ %

**Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!**

### 9.1.4 Fragebogen für die Haustechnikplaner

Bei den Haustechnikplanern stand deren Empfehlung an die Bauträger und die Kostenseite in einem engeren Fokus.

I

# LUNA

Fragebogen für das Projekt LUNA - Luftheizung versus wassergeführte Heizsysteme in Österreich

**Hinweis:** Unter Passivhaus (PH) werden ausschließlich Objekte verstanden, welche die Kriterien des Passivhausinstitutes einhalten (Nach PHPP: max. HWB 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> bzw. Heizlast max. 10 W/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>). Analoge Bezeichnungen, z.B. von Wohnbauförderungen sind davon zu unterscheiden.

Forschungsprojekt  
im Rahmen der Programmlinie  
Haus der Zukunft Plus – 4. Ausschreibung

## Fragebogen für Haustechnikplaner

Firma: \_\_\_\_\_

Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Funktion der Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Telefoninterview durch: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Projektpartner:



gefördert durch:



Abbildung 119: Fragebogen Haustechnikplaner – Seite 1

**I. Würden sie einem Bauträger raten ein Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**II. Würden sie einem Freund, der gerade ein Einfamilienhaus baut, raten ein Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?**

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Worin liegt der Unterschied zum MFH? \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**III. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht bei einer Luftheizung?**

MFH ca: \_\_\_\_\_ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. USt.)

EFH ca: \_\_\_\_\_ pro Einfamilienhaus (inkl. USt.)

**IV. Planungsaufwand beim Passivhaus mit Luftheizung?**

gleich    höher    niedriger ca. \_\_\_\_\_% als bei wassergeführten Verteilsystem

**V. Welche Vorteile/Nachteile ergeben sich bei der Wartung/Instandhaltungskosten durch die Luftheizung?**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**VI. Haben sie schon Passivhäuser geplant?                       Ja    Nein**

EFH? \_\_\_\_\_ Wie viele davon mit Luftheizung (LH)? \_\_\_\_\_%

MFH? \_\_\_\_\_ Anzahl Wohnungen? \_\_\_\_\_ davon mit LH \_\_\_\_\_%

Wie viele % der Passivhäuser sind „wirkliche Passivhäuser nach PHPP“ \_\_\_\_\_%

**Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!**

### 9.1.5 Fragebogen für Facility Manager, Hausverwalter

Bei den Facility Managern ging es ebenfalls um die Kosten, aber vor allem auch um die praktischen Erfahrungen aus dem Betrieb.

I

# LUNA

Fragebogen für das Projekt LUNA - Luftheizung versus wassergeführte Heizsysteme in Österreich

**Hinweis:** Unter Passivhaus (PH) werden ausschließlich Objekte verstanden, welche die Kriterien des Passivhausinstitutes einhalten (Nach PHPP: max. HWB 15 kWh/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub> bzw. Heizlast max. 10 W/m<sup>2</sup><sub>EBF</sub>). Analoge Bezeichnungen, z.B. von Wohnbauförderungen sind davon zu unterscheiden.

Forschungsprojekt  
im Rahmen der Programmlinie  
Haus der Zukunft Plus – 4. Ausschreibung

## Fragebogen für Facility Manager

Wohnbauträger: \_\_\_\_\_

Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Funktion der Auskunftsperson: \_\_\_\_\_

Telefoninterview durch: \_\_\_\_\_ Datum: \_\_\_\_\_

Projektpartner:



Universität  
innsbruck



AEE INTEC



komfortlüftung.at  
gesund & energieeffizient

gefördert durch:



bm



FFG



HAUS  
der Zukunft

Abbildung 121: Fragebogen Facility Manager – Seite 1



**I. Raten sie Investoren Mehrfamilien-Passivhäuser, Bürogebäude etc. mit einer Luftheizung umzusetzen?**

Ja     Nein     Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**II. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bei einer Luftheizung (exkl. USt.)**

Ca: \_\_\_\_\_

**III. Welche Vorteile/Nachteile ergeben sich bei der Wartung/Instandhaltungskosten durch die Luftheizung?**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**IV. Sind Wohnungen/Büros mit einer Luftheizung schwieriger zu vermieten bzw. zu verkaufen?**

Ja     Nein    Warum: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**V. Hat die Luftheizung einen Einfluss auf den Wert des Gebäudes (Bewertung, Verkauf)?**

Ja     Nein    in welcher Form: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**VI. Haben sie Passivhäuser zu betreuen?     Ja     Nein**

Wie viele PH Objekte ca. gesamt? \_\_\_\_\_ Anzahl Whg/Büro? \_\_\_\_\_

Wie viele Objekte davon mit Luftheizung? \_\_\_\_\_ Anzahl Whg/Büro?: \_\_\_\_\_

Wie viele % der Passivhäuser sind „wirkliche Passivhäuser“ \_\_\_\_\_ %

**Herzlichen Dank für Ihre Mithilfe!**

### 9.1.6 Ergebnisse Energieberatungsinstitute

Bei den Energieberatungsinstituten der Bundesländer wurden diejenigen Personen befragt die für den Verein komfortlüftung.at als Ansprechpartner tätig sind, d.h. entweder Geschäftsführer oder für den Bereich Lüftung zuständig sind (Siehe: <http://www.komfortlüftung.at/index.php?id=2326> ). Für Wien wurde Matthias Watzak-Helmer, MSc von der tina vienna urban technologies + strategies GmbH befragt.

I. Würden sie einem Bauträger raten ein Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?

Ja PH mit Luftheizung     PH ohne Luftheizung     kein PH     Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_

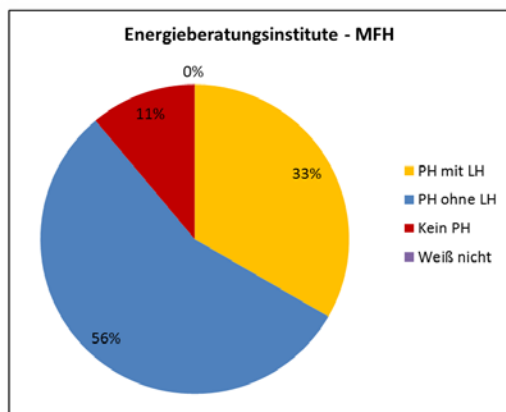


Abbildung 123: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im MFH

Auswertung: 9 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: PH mit Luftheizung (3x)

- Lüftung ohnehin vorhanden
- Kostenersparnis
- Luftheizung für die Grundlast – aber in jeder Wohnung eine „Wärmeinsel“

Antworten zu Warum bei: PH ohne Luftheizung (5x)

- Behaglichkeit bei wassergeführten System höher
- Hohe Einblastemperatur
- Trockene Luft bei Luftheizung
- Auch bei maximaler Heizlast ist bei einem wassergeführten System eine Reduktion der Luftmenge möglich
- Erhöhter Komfort bei wassergeführtem System
- Erhöhter Leistungsbedarf 22-23°C gewünscht
- Außergewöhnliche Betriebszustände (z.B. Außentemperatur) können nicht abgedeckt werden
- Kunden wollen in der Regel FBH
- Lärm durch hohe Luftmengen

Antworten zu Warum bei: kein PH (1x)

- Niedrigstenergiehaus + PV

II. Würden sie einem Freund, der gerade ein Einfamilienhaus baut, raten ein Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?

Ja PH mit Luftheizung     PH ohne Luftheizung     kein PH     Weis nicht

Worin liegt der Unterschied zum MFH? \_\_\_\_\_

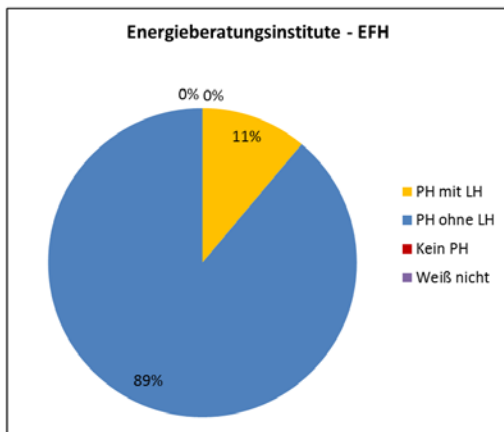


Abbildung 124: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im EFH

Auswertung: 9 Fragebögen

Unterschied zu MFH:

- Energiekennzahl – Größe
- Kein Gleichzeitigkeitsfaktor
- Komfort

III. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bei einer Luftheizung?

MFH ca: \_\_\_\_\_ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. USt.)

EFH ca: \_\_\_\_\_ pro Einfamilienhaus (inkl. USt.)

**Auswertung:** Keine bzw. Keiner der Befragten der Energieinstitute konnte eine konkrete Zahl für die Ersparnis an Investitionskosten bei Luftheizungen nennen. Weder beim MFH noch beim EFH.

IV. Hat ihre Institution besondere Aktivitäten gesetzt um Luftheizungen zu forcieren bzw. zu verhindern? (z.B. Wohnbauförderung, Beratungslinie, Infomaterialien)

Ja     Nein

Welche: \_\_\_\_\_

**Auswertung:** Eine eindeutige Aktivität pro oder kontra zur Luftheizung wurde von keinem der Energieinstitute gesetzt.

V. "Wodurch wird die Leistung der Luftheizung begrenzt?"

Antworten:

- Temperatur/Luftmenge
- Luftmenge/Temperatur/Feuchtigkeit
- Strömungsverhältnisse in den Räumen
- Volumenstrom/Temperatur
- Luftwechsel/Temperatur
- Luftmenge
- Wärmekapazität/Luftmenge

### 9.1.7 Ergebnisse TechnikerInnen der Wohnbauförderung

Bei den Wohnbauförderungen der Bundesländer wurden diejenigen Personen befragt welche die technischen Aspekte der Wohnbauförderung behandeln. Insgesamt waren dies 5 Personen bzw. Bundesländer. In den restlichen Bundesländern konnte die Auskunftspersonen nicht erreicht werden bzw. waren diese nicht bereit an der Befragung teilzunehmen.

I. Würden sie einem Bauträger raten ein Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_

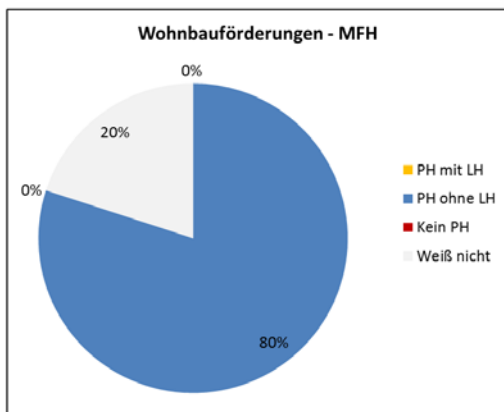


Abbildung 125: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im MFH

Auswertung: 5 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: PH ohne Luftheizung (4x)

- Einsparungen gegenüber Risiken zu gering
- Leute wollen das nicht
- Luft wird zu trocken
- NutzerInnen sind mit 20°C nicht zufrieden
- Personenabwärme ausschlaggebend
- Keine Unterschiedliche Temperierung einzelner Räume möglich
- Probleme in Eckwohnungen
- Euphorie beim PH ist verfallen

- Beim Heizen mit Luft entsteht Feinstaub

Antworten zu Warum bei: Weis nicht (1x)

- Die Förderstelle hat in dieser Hinsicht keine beratende Funktion

II. Würden sie einem „Hausbauer“, der gerade ein Einfamilienhaus baut, raten ein Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Worin liegt der Unterschied zum MFH? \_\_\_\_\_

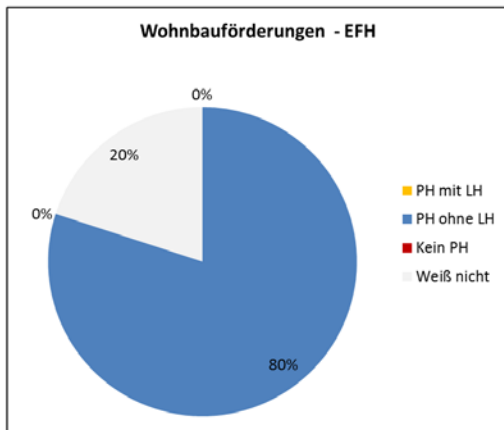


Abbildung 126: Energieberatungsinstitute – Luftheizung im EFH

Auswertung: 5 Fragebögen

Es wurden keine Unterschiede zum MFH genannt.

III. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht bei einer Luftheizung?

MFH ca: \_\_\_\_\_ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. USt.)

EFH ca: \_\_\_\_\_ pro Einfamilienhaus (inkl. USt.)

**Auswertung:** Nur eine Angabe mit 40,-- €/m<sup>2</sup> für das MFH und 50,--/m<sup>2</sup> für das EFH

IV. *Gibt es eine spezielle Passivhausförderung in ihrem Bundesland?*

Ja  Nein

Förderung bis zu €/m<sup>2</sup> \_\_\_\_\_

Kredit  Barzuschuss

**Auswertung:** In zwei Bundesländern gibt es eine spezielle Passivhausförderung in drei nicht.

V. *Wird durch die Förderung eine Luftheizung gegenüber einem wassergeführten Wärmeverteilsystem (Fußbodenheizung, Radiator) bevorzugt bzw. benachteiligt?*

keine Unterscheidung

Luftheizung hat bessere Förderung

FBH, Radiator hat bessere Förderung

Begründung: \_\_\_\_\_

**Auswertung:** In keinem der Bundesländer wurde eine Unterscheidung angegeben

VI. *Welcher %-Satz an geförderten Passivhäusern wird derzeit mit Luftheizung ausgeführt?*

EFH ca. \_\_\_\_\_%

MFH ca. \_\_\_\_\_%

**Auswertung:** Nur in einem Bundesland wurde eine Angabe gemacht. Jeweils 50% mit sinkender Tendenz für EFH und MFH.

VII. *"Wodurch wird die Leistung der Luftheizung begrenzt?"*

**Auswertung:**

- Luftmenge und Lufttemperatur (2x)
- Es gibt physikalische Grenzen - in der Förderung nicht
- Durch die Wärmetransportfähigkeit der Luft
- Physikalisch 10 W

### 9.1.8 Ergebnisse Bauträger

Bei den Bauträgern wurden 9 Personen befragt.

I. *Würden sie ihr nächstes Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?*

Ja  Nein  Weis nicht  bauen keine Passivhäuser (bzw. nicht mehr)

Warum: \_\_\_\_\_

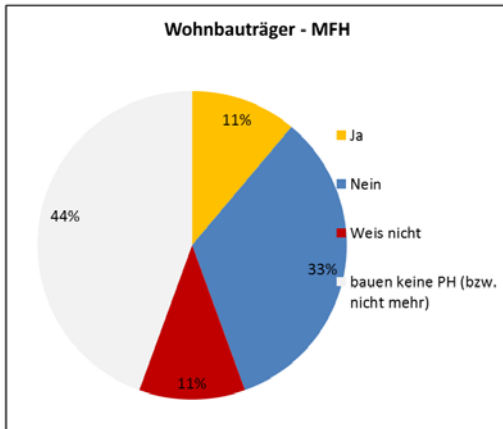


Abbildung 127:Wohnbauträger – Luftheizung im MFH

Auswertung: 9 Fragebögen:

Antworten zu Warum bei: Ja (1x)

- Wenn möglich

Antworten zu Warum bei: Nein (3x)

- Mit wassergeführter Heizung erhält man größere Flexibilität
- Umgang der Mieter mit Luftheizung problematisch
- Konventionelle Heizsystem von Hausherrschafft gewünscht
- Bedenken bei Zuverlässigkeit
- Der Ausführungsstandard des HLS-Planers sind getrennte Systeme
- Unterschiedliche Raumtemperaturen möglich
- Gastherme ist günstig, zuverlässiger und bei Bedarf auf Biogas umrüstbar

Antworten zu Warum bei: Weis nicht (1x)

- Zur Zeit ist die erste PH-Anlage in Bau

Antworten zu Warum bei: bauen keine Passivhäuser (bzw. nicht mehr) (4x)

- Hat keine Sinn
- Kostenseite
- Heizkosten sind so gering
- +10 cm bringt nichts mehr
- Lüftung ja - Luftheizung nein
- Mit Luft kann man Haus nicht heizen
- Immer Radiator
- Kosten zu hoch (Lüftung)
- Kosten zu hoch (Lüftung) – derzeit Einzelraumlüfter oder Abluftanlage (Wartung/Instandhaltung)

II. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bei einer Luftheizung (exkl. USt.)

Auswertung:

- Keine Angabe (5x)
- 3.000,-- pro Wohnung im MFH
- +5% für Lüftung
- -40,-- € /m<sup>2</sup>
- Mehrkosten

II. Welche Vorteile/Nachteile ergeben sich bei der Wartung/Instandhaltungskosten durch die Luftheizung?

Auswertung:

- Keine
- Vorteile: nicht beurteilbar  
Nachteil: Raumlufthygiene
- Weder noch, da Wartung und Kosten ungefähr gleich
- Kein Mehraufwand, keine zusätzlichen Instandhaltungskosten
- Keine besonderen Unterschiede
- Luftheizung reagiert auf alles sensibel
- Kostenreduktion, da Lüftung sowie so vorhanden

IV. Sind Wohnungen mit einer Luftheizung schwieriger zu vermieten bzw. zu verkaufen?

Ja  Nein Warum: \_\_\_\_\_

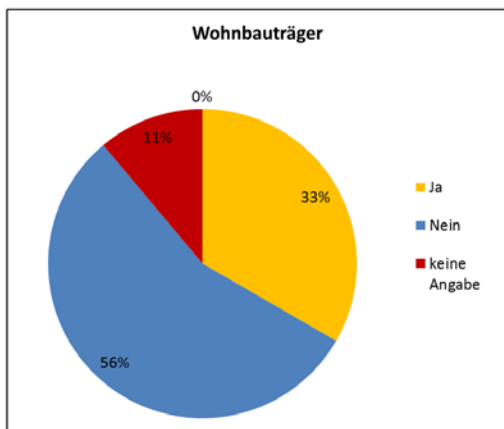


Abbildung 128: Wohnbauträger – Luftheizung im MFH schwieriger zu vermieten

Auswertung: 9 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: Ja

- Verständnis muss erst geschaffen werden
- Keine unterschiedlichen Raumtemperaturen möglich
- Geringere Flexibilität
- Keiner kennt es

Antworten zu Warum bei: Nein

- Obwohl noch immer generelle Vorurteile gegenüber Lüftungsanlagen vorhanden sind, können diese im Kundengespräch beseitigt werden, so bestimmt auch bei der Luftheizung



- Kein „Verkaufsschlager“
- Wohnungen werden gesucht (Heizung daher unerheblich)

V. Hat die Luftheizung einen Einfluss auf den Wert des Gebäudes (Bewertung, Verkauf)?

Ja  Nein in welcher Form: \_\_\_\_\_

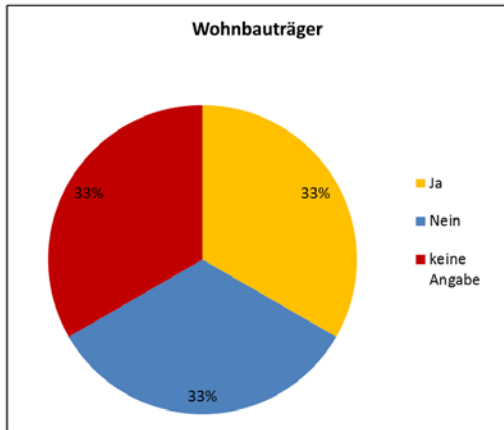


Abbildung 129: Wohnbauträger – Luftheizung im MFH hat Einfluss auf den Wert des Gebäudes

Auswertung: 9 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: Ja

- Verständnis muss erst geschaffen werden
- Eher positiv, da einfachere, weniger störanfällige Anlage
- Negativ, aufgrund hohem ideellen Wert der Fußbodenheizung

Antworten zu Warum bei: Nein

- Kostendeckungsprinzip

VI. Haben sie schon Mehrfamilien-Passivhäuser umgesetzt?  Ja  Nein

Wie viele Objekte ca. gesamt? \_\_\_\_\_ Anzahl Wohnungen gesamt? \_\_\_\_\_

Wie viele Objekte davon mit Luftheizung? \_\_\_\_\_ Anzahl Wohnungen?: \_\_\_\_\_

Wie viele % der Passivhäuser sind „wirkliche Passivhäuser nach PHPP“ \_\_\_\_\_%

**Antworten:** Alle 9 befragten Bauträger bzw. Personen hatten schon MFH-Passivhäuser umgesetzt.

MFH: 6 Objekte, 75 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 17% wirkliche Passivhäuser

MFH: 5 Objekte, 500 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 40% wirkliche Passivhäuser

MFH: 4 Objekte, 50 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 25% wirkliche Passivhäuser

MFH: 2 Objekte, 17 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 100% wirkliche Passivhäuser

MFH: 1 Objekte, 28 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 100% wirkliche Passivhäuser

MFH: 1 Objekte, 62 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 0% wirkliche Passivhäuser

MFH: 2 Objekte, 250 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 0% wirkliche Passivhäuser

MFH: 1 Objekte, 60 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, ?% wirkliche Passivhäuser

MFH: 1 Objekte, 27 Wohnungen, 0% mit Luftheizung, 0% wirkliche Passivhäuser

### 9.1.9 Ergebnisse Haustechnikplaner

Bei den Haustechnikplanern wurden nur Planer befragt die schon eine gewisse Erfahrung mit Luftheizungen bzw. Passivhäusern hatten. Teilweise sind dabei auch reine Lüftungsfirmen enthalten. Insgesamt waren dies 16 Personen.

I. Würden sie einem Bauträger raten ein Mehrfamilien-Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?

Ja PH mit Luftheizung    PH ohne Luftheizung    kein PH    Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_

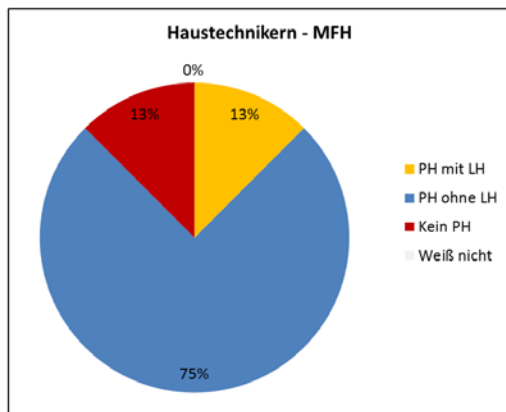


Abbildung 130: Haustechnikplaner – Luftheizung im MFH

Auswertung: 16 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: PH mit Luftheizung (2x)

- Ökonomische Lösung

Ergänzung zu PH mit Luftheizung:

- Kommt auf die Außentemperaturen an
- Nur wenn eine Zonenweise/Raumweise Regelung möglich ist
- Nur wenn in Zonen mit höheren Leistungen (z.B. Eckwohnung g) eine Zusatzheizung eingebaut ist

Antworten zu Warum bei: PH ohne Luftheizung (12x)

- Trockenzeit der Luft (4x)
- Luftmenge und Heizfunktion gekoppelt (2x)
- Unbehaglich
- Schlechte Erfahrungen (2x)
- Benutzerverhalten schwierig – Nutzer wird mit der Luftheizung nicht zufrieden sein
- Flexibilität
- Luftheizung wird wegen thermischer Trägheit den hohen Komfortansprüchen nicht gerecht
- Kein großes Einsparungspotential aufgrund benötigter dezentraler Nachheizung
- Zonierung nicht möglich
- Keine Einzelraumtemperierung möglich – dadurch erheblicher Komfortverlust
- Probleme mit Kinderzimmern bei geschlossenen Türen
- Traue dem nicht
- Luft schlechter Wärmeträger (2x)

- Keine Leistungsregelung
- Hygiene
- Zugscheinungen

Antworten zu Warum bei: kein PH (2x)

- Trockene Luft
- Innere Wärmequellen sind geringer geworden (LED)
- Negative Erfahrungen
- Behaglichkeit leidet
- Luft ist schlechter Wärmeträger
- Funktioniert in unseren Breiten nicht

II. Würden sie einem „Häuslbauer“, der gerade ein Einfamilienhaus baut, raten ein Passivhaus mit einer Luftheizung umsetzen?

Ja PH mit Luftheizung     PH ohne Luftheizung     kein PH     Weis nicht

Worin liegt der Unterschied zum MFH? \_\_\_\_\_

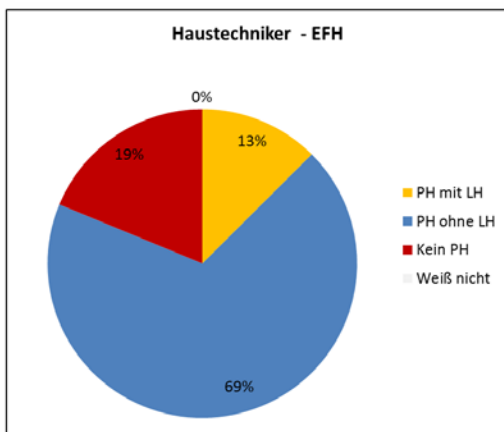


Abbildung 131: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH

Auswertung: 16 Fragebögen

Als Unterschiede zum MFH wurden die geringere Kompaktheit und die höheren Kostenersparnisse beim EFH genannt.

III. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht bei einer Luftheizung?

MFH ca: \_\_\_\_\_ pro m<sup>2</sup> Nutzfläche (inkl. USt.)

EFH ca: \_\_\_\_\_ pro Einfamilienhaus (inkl. USt.)

**Auswertung:** 10 Haustechnikplaner gaben auch Einschätzungen bei den Kostenersparnissen ab:

MFH: 30,-- €/m<sup>2</sup> bzw.

EFH: 40,-- €/m<sup>2</sup>

MFH: ?

EFH: 50 bis 100,--€/m<sup>2</sup> bzw. 8.000 – 16.000,--€/EFH

MFH: 1.500,-- €/Wohnung

EFH 3.000,-- bis 5.000,-- €/EFH

MFH: 40 bis 50,-- €/m<sup>2</sup>

EFH: 12.000,-- €/EFH

MFH: 10,-- €/m<sup>2</sup>

EFH: 2.500,-- €/EFH

MFH 12 bis 15,-- €/m<sup>2</sup>

EFH: 3.500,-- €/EFH

MFH: 50 bis 60,-- €/m<sup>2</sup>

EFH: 10.000 bis 12.000,-- €/EFH

MFH: 12,-- €/m<sup>2</sup>

EFH: 2.500,-- €/EFH

MFH: ?

EFH: 10.000,-- €/EFH

MFH: 300,-- €/Whg?

EFH: 5.000 bis 8.000,-- /EFH

**Schnitt:** MFH ca. 25,-- €/m<sup>2</sup> inkl. USt. EFH: ca. 45,-- €/m<sup>2</sup> bzw. ca. 7.000,-- € pro EFH  
(Hinweis: Wohnungsangaben wurden mit 75 m<sup>2</sup> und EFH's mit 150 m<sup>2</sup> NF umgerechnet)

Die Bandbreite der Schätzungen ist sehr weit und schwankt beim MFH zwischen 10 und 55 €/m<sup>2</sup> NF und beim EFH zwischen 2.500 und 12.000 € pro EFH bzw. zwischen 17 und 80 €/m<sup>2</sup> NF.

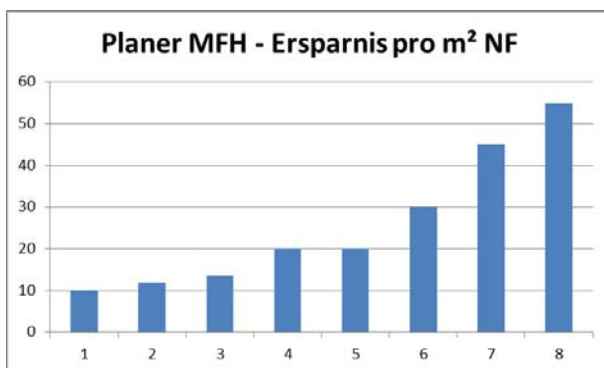


Abbildung 132: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH – geschätzte Einsparung pro m<sup>2</sup> NF

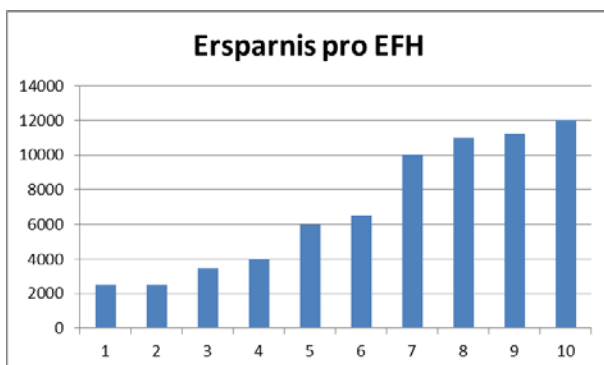


Abbildung 133: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH – geschätzte Einsparung pro EFH

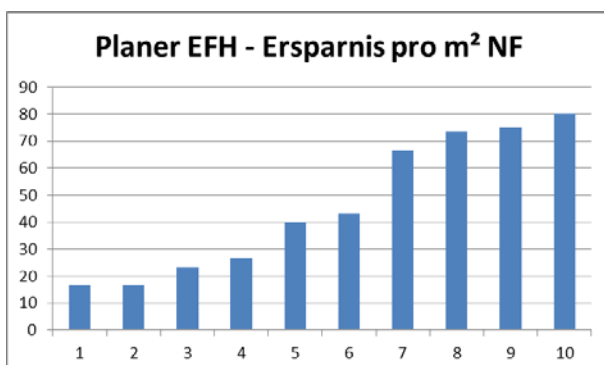


Abbildung 134: Haustechnikplaner – Luftheizung im EFH – geschätzte Einsparung pro m<sup>2</sup> NF

#### IV. Planungsaufwand beim Passivhaus mit Luftheizung?

gleich  höher  niedriger ca. \_\_\_\_\_% als bei wassergeführten Verteilsystem

**Auswertung:** Der Planungsaufwand wurde 7mal gleich, 3mal höher und 5mal niedriger und 1mal nicht angegeben. Die Werte bei niedriger schwankten zwischen 10 und 50% und ergaben im Mittel 22% bei den Höheren Kosten gab es nur eine konkrete Angabe mit 10%.

V. Welche Vorteile/Nachteile ergeben sich bei der Wartung/Instandhaltungskosten durch die Luftheizung?

**Antworten:** Generell wurden meist keine Unterschiede

- Keine (5)
- Kosten gleich
- Wartung aufgrund zusätzlicher Wärmetauscher, eventuell höherer Wartungsaufwand des Kanalnetzes aufgrund Bakterienwachstums, das durch höhere Temperaturen begünstigt wird
- Niedriger Kosten da nur ein Gerät und eine Ansprechperson
- Lüftung kein Mehraufwand
- Höherer Verschleiß der Ventilatoren bzw. Filtertausch
- Keine Leitungen für Heizung in Boden
- Kein Ausdehnungsgefäß
- Kein hydraulischer Abgleich
- Geringerer Aufwand/Kosten - Filterwechle ist aber unabdingbar

VI. Haben sie schon Passivhäuser geplant?  Ja  Nein  
 EFH? \_\_\_\_\_ Wie viele davon mit Luftheizung (LH) ? \_\_\_\_\_ %  
 MFH? \_\_\_\_\_ Anzahl Wohnungen? \_\_\_\_\_ davon mit LH \_\_\_\_\_ %  
 Wie viele % der Passivhäuser sind „wirkliche Passivhäuser nach PHPP“ \_\_\_\_\_ %

**Antworten:** 13 der Haustechniker hatten eigene Erfahrungen mit Planungen von Passivhäusern. Drei hatten keine Erfahrung.

EFH: > 50 davon mit Luftheizung 60%	MFH: 0
EFH: 1 (Büro) davon mit Luftheizung 1 (mit ZH)	MFH:0
EFH: 7 davon mit Luftheizung 0	MFH: 10, Wohnungen 10-30 davon mit LH: 0
EFH: 5 davon mit Luftheizung 0	MFH: 10, Wohnungen 100 davon mit LH: 0
EFH: 5 davon mit Luftheizung 0	MFH: 15, Wohnungen 500 davon mit LH: 0%
EFH: 12 davon mit Luftheizung 0	MFH: 8, Wohnungen 100 davon mit LH: 0
EFH: 10 davon mit Luftheizung 0	MFH: 0
EFH: 2 davon mit Luftheizung 0	MFH: 10, Wohnungen 900 davon mit LH:0
EFH: 50 davon mit Luftheizung 35%	MFH: 30, Wohnungen 600 davon mit LH:5%
EFH: 30 davon mit Luftheizung 0	MFH: 0
EFH: 5 davon mit Luftheizung 0	MFH: 15, Wohnungen 450 davon mit LH:0%
EFH: 10 davon mit Luftheizung 1	MFH: 0
EFH: 7 davon mit Luftheizung 3	MFH: 0

Die Erfahrungen mit Luftheizungen sind äußerst gering, da die meisten Passivhäuser von den Planern nicht mit Luftheizung sondern mit einer konventionellen Wärmeabgabe umgesetzt wurden.

Bei der Frage wie viele % „ihrer“ Passivhäuser „wirkliche Passivhäuser“ sind ergaben sich folgende Antworten:

- Keine Angabe (7x)
- 2%
- 5% bis 10%
- Max. 10%
- 10%
- 20%
- 30%
- 50%
- 70-80%
- EFH 100%

### 9.1.10 Ergebnisse Facility Manager

Bei den Facility Managern wurden insgesamt 7 Personen befragt. Die Fragen für die Facility Manager bezogen sich nicht nur auf den Bereich Wohnung sondern allgemein auf MFH-Passivhäuser, Bürogebäude, etc.

I. Raten sie Investoren Mehrfamilien-Passivhäuser, Bürogebäude etc. mit einer Luftheizung umzusetzen?

Ja    Nein    Weis nicht

Warum: \_\_\_\_\_

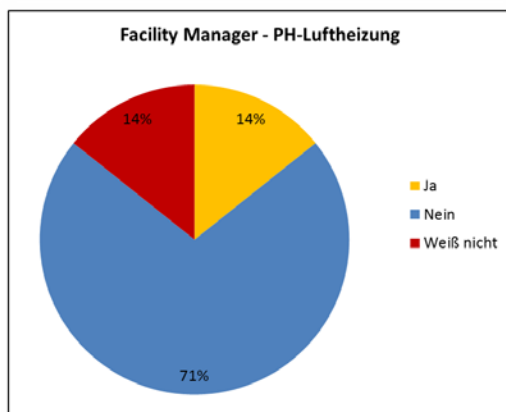


Abbildung 135: Facility Manager – Luftheizung im PH

Auswertung: 7 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: Ja (1x)

- Aufgrund hoher Instandhaltungskosten der technischen Einrichtungen
- Komplexe Systeme machen eine Low-Tech-Lösung durchaus Sinn
- Jedoch differenzierte Betrachtung nötig, ob im MFH sinnvoll

Antworten zu Warum bei: Nein (5x)

- Aufgrund hohem benötigten Luftwechsel ergeben sich Probleme mit zu trockener Luft
- Hygienisch problematisch
- Behaglichkeit (laut, Trockenheit) leidet

- Aufgrund der Klimaverhältnisse nur mit Luftheizung umzusetzen
- Als Hausverwaltung sind wir in die Entscheidung nicht eingebunden

II. Welche Ersparnis bei den Investitionskosten ergibt sich aus ihrer Sicht pro m<sup>2</sup> Nutzfläche bei einer Luftheizung (exkl. USt.)?

Antworten:

- Die Einsparung an Rohren - keine Radiatoren/Fußbodenheizung
- Keine Begründung (6x)

III. Welche Vorteile/Nachteile ergeben sich bei der Wartung/Instandhaltungskosten durch die Luftheizung?

Antworten:

- Wegfall Heizung/Regelung
- Kleinere Anlagen
- Leichtere Kalkulation der Wartungskosten
- Wartung bleibt gleich

IV. Sind Wohnungen/Büros mit einer Luftheizung schwieriger zu vermieten bzw. zu verkaufen?

Ja  Nein Warum: \_\_\_\_\_

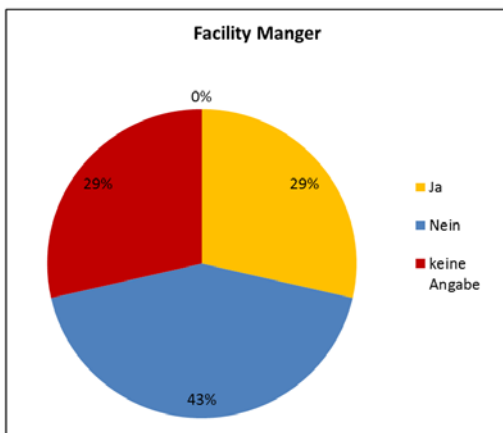


Abbildung 136: Facility Manager – Schwierigere Vermietbarkeit?

Auswertung: 7 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: Ja (2x)

- Keine unterschiedliche Temperierung der einzelnen Räume möglich
- Frischluftanlage

Antworten zu Warum bei: Nein (3x)

- Menschen sind sehr wohl dazu bereit, neue Technologien auszuprobieren
- Keine Einbußen bezüglich Komfort befürchtet

V. Hat die Luftheizung einen Einfluss auf den Wert des Gebäudes (Bewertung, Verkauf)?

Ja  Nein in welcher Form: \_\_\_\_\_

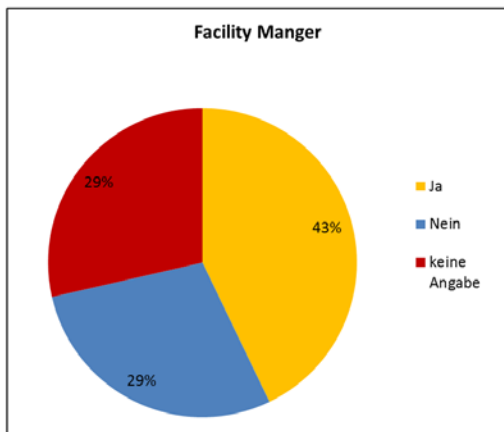


Abbildung 137: Facility Manger – Einfluss auf den Wert des Gebäudes?

Auswertung: 7 Fragebögen

Antworten zu Warum bei: Ja (3x)

- Hochwertiger, da keine störenden Heizkörper mehr im Raum
- Bewohner haben keinen individuellen Einfluss auf die Raumtemperatur
- Hochwertiger Bau
- Keine Erfahrung

Antworten zu Warum bei: Nein (2x)

- Keine Begründung (2x)

VI. Haben sie Passivhäuser zu betreuen?  Ja  Nein

Wie viele PH\_Objekte ca. gesamt? \_\_\_\_\_ Anzahl Whg/Büro? \_\_\_\_\_

Wie viele Objekte davon mit Luftheizung? \_\_\_\_\_ Anzahl Whg/Büro?: \_\_\_\_\_

Wie viele % der Passivhäuser sind „wirkliche Passivhäuser nach PHPP“ \_\_\_\_\_ %

**Auswertung:** Nur 2 der 7 Befragten Personen hatten selbst Passivhäuser mit Luftheizung zu betreuen. Die Gebäude wurden als „wirkliche Passivhäuser“ eingestuft.