

Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser

W. Streicher

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

15/2004

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 Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at/>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Nedergasse 23, 1190 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Streicher,
DI Thomas Mach, DI Karin Schweyer, DI Richard Heimrath,
Dr. rer. Nat. Robert Kouba
Institut für Wärmetechnik, TU Graz

DI Alexander Thür, DI Dagmar Jähnig, DI Irene Bergmann
AEE INTEC

Mag. Jürgen Suschek-Berger, Mag. DI Harald Rohrer
Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur, IFZ

Arch. DI Helmut Krapmeier
Energieinstitut Vorarlberg

Graz, Jänner 2004

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser

Autorenliste



Projektleitung und Konzeption:
Institut für Wärmetechnik, TU Graz

Ao. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Wolfgang Streicher

Simulation der Vergleichsgebäude und Nutzungsanalysen:
Institut für Wärmetechnik, TU Graz

DI Thomas Mach
DI Karin Schweyer

Simulation der Heizungssysteme:
Institut für Wärmetechnik, TU Graz

DI Richard Heimrath
Dr. rer. nat. Robert Kouba

Bereitstellung und Analyse der Messdaten- Definition der Heizungssysteme:
Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE, AEE INTEC



DI Alexander Thür
DI Dagmar Jähnig
DI Irene Bergmann

Sozialwissenschaftliche Analysen:

Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur, IFZ



Mag. Jürgen Suschek-Berger
Mag. DI Harald Rohrer



Energieinstitut Vorarlberg[®]

Beratung und Hilfestellung:
Energieinstitut Vorarlberg

Arch. DI Helmut Krapmeier

In Zusammenarbeit mit:

Ing. Christof Drexel, Drexel und Weiss, Energieeffiziente Haustechniksysteme GmbH
DI Erwin Stubenschrott, DI Wilhelm Schmidt KWB Kraft & Wärme aus Biomasse GmbH
Josef Steiner, Hexatherm Energietechnik GmbH
Karl Hofer, Fa. Vaillant

Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines beauftragten Projekts aus der dritten Ausschreibung der Programmlinie *Haus der Zukunft* im Rahmen des Impulsprogramms *Nachhaltig Wirtschaften*, welches 1999 als mehrjähriges Forschungs- und Technologieprogramm vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie gestartet wurde.

Die Programmlinie *Haus der Zukunft* intendiert, konkrete Wege für innovatives Bauen zu entwickeln und einzuleiten. Aufbauend auf der solaren Niedrigenergiebauweise und dem Passivhaus-Konzept soll eine bessere Energieeffizienz, ein verstärkter Einsatz erneuerbarer Energieträger, nachwachsender und ökologischer Rohstoffe, sowie eine stärkere Berücksichtigung von Nutzungsaspekten und Nutzerakzeptanz bei vergleichbaren Kosten zu konventionellen Bauweisen erreicht werden. Damit werden für die Planung und Realisierung von Wohn- und Bürogebäuden richtungsweisende Schritte hinsichtlich ökoeffizientem Bauen und einer nachhaltigen Wirtschaftsweise in Österreich demonstriert.

Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt dank des überdurchschnittlichen Engagements und der übergreifenden Kooperationen der Auftragnehmer, des aktiven Einsatzes des begleitenden Schirmmanagements durch die Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik und der guten Kooperation mit dem Forschungsförderungsfonds der gewerblichen Wirtschaft bei der Projektabwicklung über unseren Erwartungen und führt bereits jetzt zu konkreten Umsetzungsstrategien von modellhaften Pilotprojekten.

Das Impulsprogramm *Nachhaltig Wirtschaften* 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 auch in der Schriftenreihe "Nachhaltig Wirtschaften konkret" publiziert, aber auch 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

Kurzfassung

Teil A

Motivation

Der Energieverbrauch neuer Gebäude hat sich in den letzten 25 Jahren drastisch reduziert. Dies ist auf eine rasante Entwicklung von Baustoffen und Bautechnik zurückzuführen. Waren z.B. vor 10 Jahren Fenster mit einem U-Wert von $3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ die Regel, so sind heute zum gleichen Preis Fenster mit nur dem halben U-Wert Standard. Ähnliche Entwicklungen hat es bei anderen Baustoffen gegeben, sodass heute Häuser mit nur einem Sechstel des Energieverbrauchs ($50 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$) gegenüber durchschnittlichen Häusern vor 30 Jahren ohne Mehrkosten gebaut werden können. Mit geringen Mehrkosten kann der Energieverbrauch noch weiter gesenkt werden.

Gebäude in Niedrigenergiebauweise (bzw. Passivhausstandard) stellen aber andere Anforderungen an das Heizungssystem als herkömmliche Gebäude. Das vorliegende Forschungsprojekt befasst sich mit der Darstellung dieser Anforderungen sowie der Analyse von Heizungssystemen in Bezug auf End- und Primärenergiebedarf, treibhausrelevante Emissionen, Betriebskosten und qualitative Kriterien.

Inhalt

Nach einer Einführung in das Thema wurden in einem ersten Schritt zwei im Rahmen des EU-Projektes CEPHEUS energetisch vermessene Passiv-Mehrfamilienhäuser mit dem Simulationsprogramm TRNSYS nachgebaut und die Simulation mit der Vermessung abgeglichen. Hierbei wurden die Sensitivitäten vieler Einflussparameter auf den Raumtemperaturverlauf untersucht.

Im Rahmen einer Befragung in 53 Wohneinheiten von Niedrigenergie- und Passivhaus Mehrfamilienhäuser sowie aufgrund der Messungen im CEPHEUS Projekt als auch über Literaturstudien wurden Benutzerverhaltensmuster entwickelt. Ausgehend hiervon wurden zwei Referenz-Mehrfamilienhäuser entwickelt.

In einer, sicher nicht vollständigen, Betrachtung von 9 verschiedenen Heizungssystemen für solche Gebäude (4 Luftheizungs- und 5 Wasserheizungssysteme) mit den Wärmequellen dezentrale Abluftwärmepumpe, zentrale Erdreichwärmepumpe, zentraler Pellets- und Gaskessel sowie dezentraler Kaminofen und dezentraler Kachelofen wurden deren Eigenschaften, Vor- und Nachteile sowie der Platzbedarf beschrieben.

Vier dieser Systeme (dezentrale Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpe, zentrale Sole/Wasser-Wärmepumpe, zentraler Gas- und zentraler Pelletskessel; alle zentralen Systeme mit Zweileiternetzen) wurden in einer detaillierten Simulation auf ihre Eigenschaften, End-, und Primärenergiebedarf, CO_2 -äquivalente Emissionen, Wärmegestehungskosten und auf den Einfluss von verschiedenem Benutzerverhalten getestet.

Zusätzlich wurde eine sozialwissenschaftliche Untersuchung mittels Befragung und Literatur-Sekundäranalyse bezüglich Anforderungen zur Akzeptanz von Heizungs- und Wärmeabgabesystemen durchgeführt.

Beabsichtigte Ziele

Entwicklung einer umfassenden Bewertungsmethode und die Bewertung von Heizungssystemen für Gebäude gedämmt nach Passivhauskriterien.

Methode der Bearbeitung

Datenerhebung durch Befragung, Messung und Literaturrecherche, Auswertung mit statistischen Methoden, Aufstellen und Berechnen von Simulation mittels TRNSYS,

Welche Daten wurden verwendet

Vorangegangene Projekte im Rahmen „Haus der Zukunft“, EU und andere sowie eigene Erhebungen

Kurzfassung

Teil B, Ergebnisse, Schlussfolgerungen

Simulation von Gebäuden gedämmt nach Passivhauskriterien

Zwischen Messung und Simulation kann bei hohem Detaillierungsgrad der Eingabe- und Messdaten eine hohe Übereinstimmung im Raumlufttemperaturverlauf erzielt werden. Bereits kleine Schwankungen sensitiver Parameter können das Ergebnis, aufgrund des geringen Heizenergiebedarfs des Gebäudes, entscheidend beeinflussen. Ein Abgleichen des Simulationsmodells mit dem tatsächlichen Baubestand ist unerlässlich. Allein eine Erhöhung der Raumtemperatur von z.B. 20°C auf 25°C steigert, bei sonst gleich bleibendem Verhalten, den Heizenergiebedarf um über 50 %. Für einen genauen Vergleich reicht es nicht aus, das Nutzungsverhalten aus Normangaben zu beziehen. Selbst durch Befragungen erstellte Nutzungsprofile weisen (insb. beim Lüftungsverhalten) größere Unsicherheiten auf.

Qualitative Bewertung von Heizungssystemen für Gebäude gedämmt nach Passivhauskriterien

Nach Passivhauskriterien gedämmte Gebäude stellen andere Anforderungen an das Heizungssystem als herkömmliche Gebäude. Als Wärmeabgabesysteme eignen sich reine Luftheizungen (sofern die spezifische Heizlast durch Transmission und Infiltration nicht 14 W/m² überschreitet) sowie alle gängigen Warmwasser-Wärmeabgabesysteme (Radiator-, Fußboden- und Wandheizung). Die Innenoberflächentemperatur der Außenbauteile bei solch hoch wärmegeprägten Gebäuden liegen immer nahe der Raumtemperatur, was generell ein gutes Raumklima gewährleistet. Neun verschiedene Heizungssysteme wurden mit Vor- und Nachteilen beschrieben. Primäres Ergebnis der Benutzerbefragung ist, dass den Bewohnern die Art der Heizung nicht so wichtig ist, vorausgesetzt die Anlage ist einfach bedienbar, wenig fehleranfällig und arbeitet möglichst wartungsfrei. Akzeptanzprobleme konnten immer wieder auf nicht optimal geplante und errichtete Heizanlagen (Dimensionierung, Regelung, Geräuschentwicklung etc.) zurückgeführt werden – relativ unabhängig vom Typus des Heizsystems.

Quantitative Bewertung von Referenzanlagen durch Simulation

Als Ergebnis der Befragungen wurde die Soll-Raumlufttemperatur mit 22,5°C angesetzt. Bis auf das System zentrale Sole/Wasser-Wärmepumpe wurden zudem alle Systeme mit und ohne Einbeziehung einer thermischen Solaranlage betrachtet. Den geringsten Energiebedarf der vier analysierten Systeme hat das dezentrale System Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Solaranlage, gefolgt vom zentralen Sole-Wasser-Wärmepumpensystem und etwa gleichwertig dem dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem ohne Solaranlage. Die geringsten CO₂-äquivalent Emissionen hat hingegen das zentrale Pelletssystem. Die geringsten Wärmegestehungskosten hat das zentrale Gassystem ohne Solaranlage, die höchsten das System Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Solaranlage. Allerdings wird hier auch eine kontrollierte Lüftungsanlage mitgeliefert. Von großer Bedeutung für den gesamten Primärenergiebedarf ist der Haushaltsstrom, der nur wenig mit dem Heizungssystem zu tun hat. Daher wurde er auch in den neuesten Passivhauskriterien in Deutschland aus der Betrachtung herausgenommen. Für „normales“ Benutzerverhalten können alle Systeme die gewünschte Raumlufttemperatur und Raumluftfeuchte über die gesamte Heizperiode halten. Bei extremen Benutzerverhalten (hohe Heizlast durch hohe Raumtemperatur und geringe Innenwärmen) und nach Auskühlvorgängen wird jedoch die limitierte Heizlast des dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystems ersichtlich. Bei einer Wiederaufheizung reagiert die Fußbodenheizung naturgemäß träger als eine Radiatorheizung, allerdings ist auch die Auskühlung geringer. Zwischen den beiden Referenzgebäuden konnten keine großen Unterschiede in den betrachteten Kriterien festgestellt werden.

Generelle Aussagen

Generell kann nicht gesagt werden, dass dieses oder jenes Heizungssystem das beste darstellt – jeder Typus hat ein spezifisches Stärke-Schwächenprofil, dessen Gesamtbewertung letztlich von Art und Umfeld des Gebäudes und den jeweiligen Nutzerpräferenzen abhängt. Daher werden vor allem die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme dargestellt und können somit selbst bewertet werden.

Abstract

Part A

Motivation

The energy demand of new buildings has been decreased significantly during the last 25 years. This is due to the development of new building materials and building technology. Whereas 10 years ago common windows had a U-value of 3 W/(m²K) today's U-values are half of this at the same price. Similar developments have been achieved for other building materials which results in a specific energy demand of only one sixth (50 kWh/m²a) of today's buildings compared to buildings 30 years ago without additional costs. With little higher investment cost the energy demand can be decreased even further.

Low energy buildings (or passivehouses) have different demands for the heating systems than conventional buildings. This research project deals with these demands and an analysis of various heating systems with respect to end-use and primary energy demand, greenhouse relevant emissions, heat delivery costs (including capital costs) and qualitative criteria.

Content

Following a general introduction two passivehouses which were energetically monitored within the EC-project CEPHEUS were simulated in TRNSYS. The results were compared to the measurements and a sensitivity analysis of various parameters for the simulation compared to the measured room temperature course was undertaken.

A set of user behaviour patterns (ventilation, room temperature, presence, internal gains ..) was developed using a questionnaire in 53 apartments of low-energy multi family buildings, the measurements in the EC-project CEPHEUS, and an additional literature research. Using these data two reference multi family buildings, insulated according to passivehouse criteria, were set up for the simulation.

Following this, nine different heating systems for such buildings (4 air heating and 5 water heating systems) with the heat sources decentralized air/air/water heat pump, central ground coupled heat pump, central pellets or gas burner, and decentralized pellets or tiled stove were described and qualitatively analyzed.

Four out of these systems (decentralized air/air/water heat pump, centralized ground coupled brine/water heat pump, centralized gas- and pellets burner, all centralized systems using two-pipe heat distribution systems) were simulated in detail using the simulation tool TRNSYS. They were compared according to end-use and primary energy demand, CO₂-equivalent emissions, heat delivery costs (including capital costs), and their sensitivity for changing user behaviour.

Additionally a sociological analysis using questionnaires and additional literature review was undertaken to evaluate the user demand and user acceptance for the various heating and heat delivery systems.

Aims of the project

The main goal was the development of a comprehensive evaluation method for heating systems for buildings insulated according to passivehouse criteria.

Methods used in the study

Questionnaire, measurements and literature review; evaluation using statistical methods, set up and use of simulation models using the tool TRNSYS.

Data used

Earlier projects in the frame of „Haus der Zukunft“, EC- and other projects, own inquiries

Abstract

Part B Results

Simulation of buildings insulated according to passive house criteria

It is possible to reach high accordance of the measured and simulated room air temperatures, when very detailed input data is available. Little differences i.e. in the user behaviour can alter the results significantly because the heat demand of the building is very small. An increase of the room set temperature from 20°C to 25°C increases, for example, the space heating energy demand by over 50% (with all other parameters fixed). For detailed simulations and comparisons the user behaviour taken from standards is not sufficient. Even user profiles evaluated from questionnaires are sometimes not accurate enough (this is especially true for the ventilation by windows).

Heating systems for buildings insulated according to passive house criteria

Heating systems for buildings insulated according to passive house criteria have to meet other requirements than heating systems for conventional buildings. Possible heat delivery systems are pure air heating systems (if the space heat demand for transmission and infiltration lays below 14 W/m²) as well as all kinds of water systems (radiator, floor-, and wall heating systems). The room-side temperatures of the windows and walls to the ambient are always relatively high in such well insulated buildings, which results in a good indoor climate. Nine different heating systems (space heating and domestic hot water) were described and analyzed qualitatively. One of the main results of the sociological questionnaire was, that in multi family buildings the type of the heating system is not seen as relevant as long as it works, is simple to be used, has no failures, and little maintenance costs. Problems with the acceptance occur for not optimal planned or mounted systems (dimensioning, control, noise etc.) no matter which type of system.

Simulation of the reference plants

The room temperature for the simulations was set to 22.5°C according to the results of the questionnaire. All systems apart from the central ground-coupled brine/water heat pump was additionally calculated with an incorporated solar thermal plant. The lowest energy demand could be found for the decentralized air/air/water heat pump system with solar thermal collectors, followed by the centralized ground-coupled brine/water heat pump equally to the decentralized air/air/water heat pump system without solar thermal system. The lowest greenhouse gas emissions were found for the centralized pellets system. The lowest heat delivery cost has the centralized gas-burner system without solar plant; the highest were found for the decentralized air/air/water heat pump system with solar thermal collectors. This system includes the controlled ventilations system, which would have to be paid separately for the other systems. The electricity demand of the building apart from the heating system is very relevant for the total primary energy demand. As this demand is not strongly coupled to the heating system, it was taken out of the newest calculations for passive houses in Germany. For “normal” user behaviour all systems can keep the desired room air temperature and humidity over the whole heating period. For extreme behaviour (high heat load due to high room air temperature and low internal gains and for the heating up after cooling down periods) the limited heating capacity of the air heating systems becomes visible. For heating up the floor heating system of the brine/water heat pump system reacts slower than the radiators, but the cooling needs also longer.

No significant difference could be found in the heating systems for the two reference buildings.

General conclusions

Generally all analyzed heating systems fulfil the user demands, therefore it cannot be said that there is a „winner“. Each system has its own specifications and pros and cons and the total evaluation is depended on the type and the surrounding conditions of the building and the users. This report lists all the criteria and gives the user the opportunity to make his own decision.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG	1
1.1 PROBLEMBESCHREIBUNG	1
1.2 EINORDNUNG IN DIE PROGRAMMLINIE „HAUS DER ZUKUNFT“	2
1.3 SCHWERPUNKT DES PROJEKTES	3
1.4 VERWENDETE METHODEN UND DATEN	3
1.5 DEFINITIONEN	3
1.6 AUFBAU DER ARBEIT	7
2. MESSUNG UND SIMULATIONSTECHNISCHE BEWERTUNG AUSGEWÄHLTER CEPHEUS GEBÄUDE IM VERGLEICH	8
2.1 PROBLEMSTELLUNG	8
2.2 MESSDATENERFASSUNG	8
2.2.1 <i>Beschreibung der Messobjekte</i>	8
Das Reihenhauses in Hörbranz:	9
Das Mehrfamilienhaus in Egg:	10
2.2.2 <i>Messkonzept und Messpunkte</i>	11
2.2.3 <i>Messgeräte</i>	16
2.3 ERMITTLUNG DER SIMULATIONSEINGABEPARAMETER	19
2.3.1 <i>Erstellung der Nutzungsprofile</i>	19
Allgemeines und Vorgangsweise	19
Ermittelte Belegungsprofile	20
Aussagen zur Raumtemperaturregelung	20
Warmwasser und Benützung der Jalousien	21
Mechanische Lüftung und Fensterlüftung	22
2.3.2 <i>Vergleich der Normen untereinander und mit dem erhobenen Nutzerverhalten</i>	23
Raumtemperatur	23
Mindest – Außenluftvolumenstrom	24
Raumluftfeuchtigkeit	26
Innere Wärmen	26
2.3.3 <i>Modellierung der Gebäude</i>	28
Zonierung des Gebäudes in Hörbranz	28
Zonierung des Gebäudes in Egg	28
Geometrische Auswertung des Simulationsmodelle	29
Strahlungsangebot auf die Gebäudeaußenflächen	30
Konstruktionsaufbauten	31
Verglasungs- und Rahmenflächen	33
2.3.4 <i>Klimatische Randbedingungen</i>	34
Außenlufttemperatur	34
Globalstrahlung	36
Modellierung der Erdreichtemperaturen	38
2.4 UMSETZUNG DER GESAMMELTEN DATEN IN SIMULATIONSMODELLE	39
2.4.1 <i>Kurzvorstellung des Simulationsprogrammes</i>	39
Gebäudesimulation mit TRNSYS	39
Simulationsmethodik	39
2.4.2 <i>Simulationsaufbau für das Gebäude in Hörbranz</i>	40
2.4.3 <i>Simulationsaufbau für das Gebäude in Egg</i>	45
2.5 SENSITIVITÄTENANALYSE VERSCHIEDENER EINGABEPARAMETER	49
2.5.1 <i>Erklärung der Bewertungsparameter und Szenarienübersicht</i>	49
2.5.2 <i>Klimaszenarien – Gebäude Hörbranz</i>	51
2.5.3 <i>Szenarien verschiedener Innenwärmen – Gebäude Hörbranz</i>	57
2.5.4 <i>Szenarien bezüglich Fensterlüftung – Gebäude Hörbranz</i>	62
2.5.5 <i>Szenarien bzgl. der Temperaturen der Nachbarzonen – Gebäude Hörbranz</i>	66
2.5.6 <i>Szenario bzgl. Messungenauigkeiten – Gebäude Hörbranz</i>	71
2.5.7 <i>Übersicht der Sensitivitätsanalysen für das Gebäude Hörbranz</i>	85
3. UNTERSUCHUNGEN ZUM NUTZUNGSVERHALTEN IN NIEDRIGENERGIE- UND PASSIVHÄUSERN	86

3.1	PROBLEMSTELLUNG	86
3.2	WÄRMEEINTRAG DURCH PERSONENBELEGUNG	88
3.3	WÄRMEEINTRAG DURCH BELEUCHTUNG	89
3.4	WÄRMEEINTRAG DURCH GERÄTE	90
3.5	NUTZUNGSSZENARIOEN IM MEHRFAMILIENHAUS WOHNBAU -DATENERMITTLUNG DURCH BEFRAGUNGEN UND MESSUNGEN	91
3.5.1	<i>Erstellung des Fragebogens</i>	92
3.5.2	<i>Mündliche Zusatzinformationen</i>	95
3.5.3	<i>Belegungsauswertung</i>	96
3.5.4	<i>Temperaturniveaus in den Wohnungen</i>	98
3.5.5	<i>Lüftungsauswertung</i>	99
3.5.6	<i>Haushaltsstrom</i>	100
3.6	NUTZUNGSSZENARIOEN IM BÜROBAU – DATEN AUS NORMEN UND PLANUNGSANNAHMEN	103
3.6.1	<i>Abwärme durch Personen</i>	103
3.6.2	<i>Beleuchtung</i>	104
3.6.3	<i>Wärmeabgabe durch Geräte</i>	105
3.6.4	<i>Beispielhafte Aufschlüsselung des nutzerbedingten Wärmeintrages in einen Büroraum</i>	105
4.	REFERENZSZENARIOEN FÜR DEN SYSTEMVERGLEICH	107
4.1	NUTZUNGSPARAMETER	107
4.2	GEBÄUDEMODELLIERUNG	107
4.2.1	<i>Allgemeines zur Definition von Referenzgebäuden</i>	107
4.2.2	<i>Gemeinsame Annahmen für die Referenzgebäude</i>	107
4.2.3	<i>Referenzgebäude 1</i>	113
4.2.4	<i>Referenzmehrfamilienhaus Typ 2, mehrgeschossiger Wohnbau, 12 WE)</i>	115
5.	QUALITATIVE BEWERTUNG VON HEIZUNGSKONZEPTE FÜR NIEDRIGENERGIE UND PASSIVHÄUSER.....	118
5.1	BEHAGLICHKEIT UND EIGENSCHAFTEN VON HEIZSYSTEMEN	118
5.1.1	<i>Thermische Behaglichkeit</i>	118
5.1.2	<i>Eigenschaften gängiger Wärmeabgabesysteme</i>	119
	Luftheizung	119
	Wasserheizungssysteme	120
	Vergleich der verschiedenen Wärmeabgabesysteme	123
5.1.3	<i>Wärmeverteilung für zentrale Wärmeerzeugung in Mehrfamilienhäuser</i>	124
	Vier-Leiter-Netze	125
	Drei Leiter-Netze	125
	Zwei-Leiter-Netze	126
5.1.4	<i>Wärmeerzeuger und Pufferspeicher</i>	127
	Emissionen von Heizkesseln	127
	Generelle technische Hinweise für Pufferspeicher	129
5.2	QUALITATIVER VERGLEICH AUSGEWÄHLTER SYSTEMVARIANTEN	132
5.2.1	<i>Kleinstwärmepumpe – Luftheizung – dezentral</i>	132
5.2.2	<i>Gastherme – Luftheizung – dezentral</i>	135
5.2.3	<i>Gastherme – Wasserheizung – dezentral</i>	138
5.2.4	<i>Pelletskaminofen – Luftheizung – dezentral</i>	140
5.2.5	<i>Pelletskaminofen – Wasserheizung – dezentral</i>	143
5.2.6	<i>Sole-Wärmepumpe – Wasserheizsystem – zentral (mit Speicherbeladung)</i>	145
5.2.7	<i>Pellets- oder Gaskessel zentral – Luftheizsystem dezentral</i>	148
5.2.8	<i>Pellets- oder Gaskessel – Wasserheizsystem – zentral</i>	151
5.2.9	<i>Kachelofen – Wasserheizung – dezentral</i>	154
5.3	ZUSAMMENFASSUNG DER QUALITATIVEN BEWERTUNG	156
6.	QUANTITATIVER VERGLEICH AUSGEWÄHLTER SYSTEME.....	158
6.1	STANDARDVARIANTE	161
6.1.1	<i>Energiebilanz des Systems im Gebäude (Referenzgebäude 1)</i>	161
6.1.2	<i>Ökonomische Randbedingungen</i>	166
	Einleitung	166
	Investitionskosten	167

Annuitätenfaktoren und Kapitalkosten	173
Betriebsgebundene Kosten.....	174
Kosten der Heizkostenabrechnung.....	175
Verbrauchsgebundene Kosten	177
Wärmegestehungskosten	178
6.1.3 <i>End-, Primärenergie, CO₂-äquivalent Emissionen und Betriebskosten der Systeme (Referenzgebäude 1)</i>	180
6.2 EXTREMSZENARIEN (REFERENZGEBÄUDE 1).....	185
6.3 HÄRTETEST FÜR ALLE SYSTEME (REFERENZGEBÄUDE 1).....	190
6.4 STATISTIK RAUMTEMPERATUREN (REFERENZGEBÄUDE 1)	193
6.4.1 <i>Raumlufttemperaturen</i>	193
6.4.2 <i>Raumluftfeuchten</i>	196
6.4.3 <i>Heizleistung</i>	198
6.5 AUSWERTUNG DES REFERENZGEBÄUDE 2 (12 WE MEHRFAMILIENHAUS)	200
6.5.1 <i>Standardvariante und Extremszenarien</i>	200
6.5.2 <i>Härtetest für alle Systeme (Referenzgebäude 2)</i>	204
6.6 ÜBERSICHT ÜBER DIE QUANTITATIVE BEWERTUNG.....	207
7. SOZIALWISSENSCHAFTLICHER PROJEKTTEIL.....	210
7.1 AUFBAU DER ARBEIT	210
7.1.1 <i>Einleitung</i>	210
7.1.2 <i>Ziele der Befragung</i>	210
7.1.3 <i>Ausgewählte Wohnanlagen für die Befragung</i>	210
Wohnanlage Egg.....	210
Wohnanlage Hörbranz	210
Wohnanlage Gnigl.....	211
Wohnanlage Kuchl	211
Wohnanlage Gneis-Moos	211
7.1.4 <i>Erstellen des Fragebogens</i>	211
7.1.5 <i>Vorgehen bei der Befragung</i>	211
7.1.6 <i>Zahl der durchgeführten Interviews</i>	212
7.2 ERGEBNISSE AUS DER BEFRAGUNG	212
7.2.1 <i>Auswertung nach verschiedenen Wohnanlagen</i>	218
7.2.2 <i>Wünschenswerte Heizsysteme</i>	221
7.2.3 <i>Resümee aus der Befragung</i>	223
7.3 SEKUNDÄRANALYSE VON PROJEKTBERICHTEN ZUR EINSCHÄTZUNG VON HEIZUNGSSYSTEMEN	224
7.3.1 <i>Einschätzung unterschiedlicher Heizsysteme</i>	225
7.3.2 <i>Heizen mit Biomasse aus Sicht der NutzerInnen – eine Sekundäranalyse</i>	227
7.3.3 <i>Heizen über die Lüftungsanlage aus Sicht der NutzerInnen</i>	229
8. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	232
8.1 PROBLEMBESCHREIBUNG	232
8.2 ZIELRICHTUNG DES PROJEKTES	232
8.3 DURCHFÜHRTE ARBEITEN.....	233
8.4 KURZZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE	234
8.5 AUSBLICK UND EMPFEHLUNGEN	237
9. LITERATURANGABEN.....	238
10. TÄTIGKEITSBERICHT	243
10.1 GEPLANTER ZEITPLAN DER „WORKPACKAGES“	243
10.2 DURCHFÜHRTE ARBEITEN ZU DEN EINZELNEN „WORKPACKAGES“	244
10.3 BESPRECHUNGEN UND WORKSHOPS	246
10.3.1 <i>Übersicht</i>	246
10.3.2 <i>Kick-Off-Meeting</i>	246
10.3.3 <i>Startworkshop</i>	248
10.3.4 <i>Endberichtsworkshop</i>	251
Kurzprotokoll:	251

1. Einleitung und Zielsetzung

1.1 Problembeschreibung

Der Energieverbrauch neuer Gebäude hat sich in den letzten 25 Jahren drastisch reduziert. Dies ist auf eine rasante Entwicklung von Baustoffen und Bautechnik zurückzuführen. Waren z.B. vor 10 Jahren Fenster mit einem U-Wert von $3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ die Regel so sind heute zum gleichen Preis Fenster mit nur dem halben U-Wert Standard. Ähnliche Entwicklungen hat es bei anderen Baustoffen gegeben, sodass heute Häuser mit nur einem Sechstel des Energieverbrauchs ($50 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$) gegenüber durchschnittlichen Häusern vor 30 Jahren ohne Mehrkosten gebaut werden können. Mit geringen Mehrkosten kann der Energieverbrauch noch weiter gesenkt werden.

Gebäude in Niedrigenergiebauweise (bzw. Passivhausstandard) stellen aber andere Anforderungen an das Heizungssystem als herkömmliche Gebäude. In diesen Systemen haben Benutzerverhalten, passive Solargewinne und innere Wärmequellen einen wesentlichen größeren Einfluss auf die benötigte Wärmemenge. Untersuchungen von (BÜHRING, 2000) zeigen, dass eine Erhöhung der Raumtemperatur von 20 auf 22 °C bei einem Passivhaus ($15,3 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ in der Basisvariante) zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs von 41% führt. (LARI, 1999) stellte für die Erhöhung der Raumlufttemperatur von 20°C auf 24°C für ein Niedrigenergiehaus (Basisvariante $32 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$) eine Verdoppelung des Heizenergiebedarfes fest. Auch das Lüftungsverhalten spielt eine ähnlich wichtige Rolle.

Die Anwesenheit von Personen im Gebäude beeinflusst den Jahresheizenergiebedarf nicht unwesentlich. Für den Heizungsbauer ergeben sich zwei Möglichkeiten zur Auslegung: Entweder wird die Heizanlage so klein (und kostengünstig) ausgeführt, wie für ein ideales Benutzerverhalten notwendig ist oder sie wird so groß ausgeführt, dass die gesamte Bandbreite des Benutzerverhaltens und der Benutzerwünsche abgedeckt werden kann. Bei Niedrigenergiehäusern kann dies aber eine Verdoppelung der Auslegungsleistung und somit eine wesentliche Erhöhung der Investitionskosten bedeuten.

Aus diesen Gründen muss gerade bei Niedrigenergiegebäuden das Heizungs- und Lüftungssystem auf den Nutzer gut abgestimmt sein. Um eine hohe Marktakzeptanz zu erreichen sollte das Gebäude im Zusammenspiel mit dem Heizungssystem ein breites Spektrum an Benutzerverhalten ermöglichen (z.B. gewünschte Raumtemperatur und Lüftungsverhalten).

Bisher wird folgendes Heizungssystem für Passivhäuser favorisiert: Luftheizung in Kombination mit kontrollierter Wohnraumlüftung mit Abluftwärmerückgewinnung und Wärmepumpe sowie Luftvorwärmung in einem Erdkanal. Die Brauchwasserbereitung erfolgt über die Wärmepumpe mit der Abluft als Wärmequelle, über eine Solaranlage, mit einem konventionellen Nachheizgerät (z.B. Biomassekessel) oder elektrisch.

Passivhäuser sind nicht nur über den spezifischen Rest-Heizenergiebedarf bezogen auf die Wohnnutzfläche von $15 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ (hierbei ist die Abluftwärmerückgewinnung bereits berücksichtigt, allerdings deren Strombedarf nicht inkludiert) sondern auch über $42 \text{ kWh}/\text{m}^2$ Endenergiebedarf für alle Verbraucher (Heizung, Warmwasser, Elektrogeräte etc.) bzw. $120 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ Primärenergiebedarf definiert.

Die neuesten Passivhaus-Förderkriterien von der deutschen Kreditanstalt für Wiederaufbau vom Mai 2003 nehmen hierbei den Haushaltsstrom wieder heraus, da dem Gebäude das Nutzerverhalten bzgl. Haushaltgeräte nicht angelastet werden kann. Als Nachweisverfahren dient jetzt das Passivhaus Projektierungs Paket PHPP (Neuaufgabe 2003) und nicht mehr die Passivhaus-Vorprojektierung

(PHVP). Nachzuweisen sind der Jahres-Heizwärmebedarf von max. 15 kWh/(m²a), Energiebezugsfläche hierfür ist die Wohnfläche innerhalb der thermischen Hülle (zur genauen Definition siehe PHPP, Feist 2001) und – das ist neu - der Jahresprimärenergiebedarf von max. 40 kWh/(m²a), Bezugsfläche hierfür ist die Gebäudenutzfläche A_N nach Energieeinsparverordnung (EnEV). Im Jahresprimärenergiebedarf sind der Jahresheizwärmebedarf, der Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung, die Energieverluste des Wärmeversorgungssystems, der Hilfsenergiebedarf für Heizung und Brauchwarmwasserbereitung sowie der Energieverbrauch für die Bereitstellung der Energieträger enthalten (<http://www.passiv.de>).

Um diese energetischen Passivhauskriterien zu erreichen braucht das Passivhauskonzept ein „dichtes Gebäude“ als Voraussetzung für eine funktionierende kontrollierte Wohnraumlüftung und ein „sehr gut gedämmtes Gebäude“ um den Wärmebedarf gering zu halten. Die kontrollierte Wohnraumlüftung wiederum erlaubt, bei knapper Erreichung der energetischen Passivhauskriterien, nur eine eingeschränkte Variation des Benutzerverhaltens, da die Lufteintrittsgeschwindigkeit und –temperatur der Zuluft aus Komfortgründen begrenzt sind (vgl. Kap. 5.1.2).

Berechnet man den Heizenergieverbrauch eines Passivhauses ohne den Einsatz von Abluftwärmegewinnung und Luftvorwärmung in einem Erdkollektor so ergibt sich ein Wert von 37 kWh/m²a (Feist, 2000). Die Energiebedarfswerte für alle Verbraucher unter Zugrundelegung des gleichen Gebäudes lassen sich auch mit anderen Heizungstechnologien erreichen, die gewisse Vor- aber auch Nachteile gegenüber der oben beschriebenen Variante des Passivhauses haben. Die Marktakzeptanz für Systeme, die nur ein eingeschränktes Benutzerverhalten ermöglichen, ist sicherlich geringer als für Systeme, die ein breites Spektrum des Benutzerverhaltens abdecken können.

1.2 Einordnung in die Programmlinie „Haus der Zukunft“

„Ziel der Programmlinie "Haus der Zukunft" ist die Entwicklung und Marktdiffusion von Komponenten, Bauteilen und Bauweisen für Wohn-, Büro- und Nutzbauten (sowohl für den Neubau als auch für den Altbau), die den Kriterien und den Leitprinzipien der Nachhaltigen Entwicklung in hohem Maße entsprechen. Die Verknüpfung dieser Anforderungen ist anspruchsvoll und birgt Zielkonflikte in sich, für die konsensfähige Lösungen gefunden werden müssen. Andererseits ist die Integration von sozialen, ökonomischen und ökologischen Zielvorstellungen auch mit erheblichen Chancen verbunden, wobei der Schlüssel zu deren Realisierung in Innovationen liegt - wiederum nicht nur in technologischen, sondern in Kombination mit sozialen, ökonomischen und institutionellen Innovationen. Gerade in der Kombination der genannten Kriterien besteht die Chance zur Erreichung von Technologiesprüngen mit hohem Marktpotenzial“ (<http://www.hausderzukunft.at/hdz.htm>).

Das vorliegende Projekt entspricht durch die Beschäftigung mit Heizungssystemen für Niedrigenergie-Mehrfamilienhäuser unter Berücksichtigung der psychologischen und sozialen Ansprüche der Bewohner vielen der oben angeführten Punkte. Durch die Öffnung des mit dem Begriff Passivhaus verbundenen Luftheizungssystems, welches eine gut aufbereitete und funktionierende Möglichkeit der Raumluftkonditionierung darstellt, auf andere Heizungssysteme wie Biomasse, Wärmepumpen gekoppelt mit Radiator- oder Fußbodenheizung und andere wird eine größere Akzeptanz einer energiesparenden Bauweise einerseits bei den Benutzern, denen eine größere Palette von Heizmöglichkeiten mit unterschiedlichen Charakteristiken zur Verfügung steht, als auch bei Herstellerfirmen von Heizgeräten und Wärmeabgabesystemen, welche sich in diesem Marktsegment neben den Luftheizgeräten etablieren können, erreicht. Damit wird die umfassende Markteinführung von Niedrigenergie- und Passivhäusern unterstützt.

1.3 Schwerpunkt des Projektes

Der Schwerpunkt der Arbeit liegt in der Bewertung von verschiedenen Heizungssystemen für Mehrfamilienhäuser in Niedrigenergie- und Passivhausbauweise in Bezug auf Erfüllung des weiten Spektrums der Benutzerwünsche sowie ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten. Es soll die Frage: Welches Heizungssystem bietet für welche Anforderungen welche Eigenschaften? -leichter beantwortet werden können.

1.4 Verwendete Methoden und Daten

- € Erhebung von Gebäude- und Heizungsdaten bei ausgeführten Objekten (Cepheus und andere).
- € Auswertung von Messdaten aus dem EU-Projekt Cepheus (2001), bei welchem in mehreren Passivhäusern die Energieflüsse sowie das Benutzerverhalten in Bezug auf die Raumtemperatur aufgezeichnet wird.
- € Vertiefte face-to-face-Interviews mit Leitfaden zur Erhebung der Zufriedenheit, der Akzeptanz und des Benutzerverhaltens der Bewohner sowie die Zuverlässigkeit der verschiedenen Heizungs- und Lüftungssysteme.
- € Auswertung der Ergebnisse mehrerer vorausgegangener Forschungsprojekte im Rahmen der Forschungsschiene „Haus der Zukunft“ (z.B. Könighofer et al., 2001, Streicher et al., 2001).
- € Einheitliche Beschreibung (Charakteristik, Vor- und Nachteile) verschiedener Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser
- € Diskussion in Expertenrunden über die Vor- und Nachteile von Heizungssystemen.
- € Erstellung von Simulationsmodellen für zwei Mehrfamilien-Passivhäuser und vier Heizungssysteme (mit/ohne Unterstützung durch thermische Sonnenenergie)
- € Vergleich der verschiedenen Heizungssysteme aufgrund Endenergie- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent-Emissionen, Betriebskosten und Erfüllung verschiedener Nutzeranforderungen.

1.5 Definitionen

In diesem Projekt wurden Messdaten aus dem EU-Projekt CEPHEUS (2001) von mehreren Passivhäusern ausgewertet. Dabei wurden Energieverbräuche und das Benutzerverhalten in Bezug auf die Raumtemperatur aufgezeichnet. Ausgehend von diesen Messungen, einer detaillierten Befragung der Bewohner und den Gebäudedaten dieser Wohnhäuser wurden repräsentative Referenzgebäude definiert (siehe Kap. 4), die mit dem Simulationsprogramm TRNSYS (2000) mit verschiedenen Heizsystemen simuliert wurden. Bei dem einen Referenzgebäude handelt es sich um ein Reihenhaus mit drei Wohneinheiten, das andere Referenzgebäude ist ein mehrgeschossiges Gebäude mit 12 Wohneinheiten. Die Simulationsergebnisse (siehe Kap. 6) dienen als Basis für die Vergleiche der unterschiedlichen Heizsysteme in den folgenden Kapiteln.

In dieser Studie werden für Gebäudetypen und Heizungen die folgenden Annahmen getroffen:

- Energiebezugsfläche: Die Energiebezugsfläche für sämtliche spezifische Energiedaten ist in dieser Studie die Nettogeschossfläche des Gebäudes
- Altbau: Heizwärmebedarf 125 kWh/(m²a) (dieser Wert war vor ca. 15 Jahren Standard, vor 30 Jahren war der Wert noch wesentlich höher)
- Niedrigenergiehaus: (NEH) Gleich guter Dämmstandard wie Passivhäuser, jedoch ohne Abluftwärmerückgewinnung. Diese Definition wurde für diese Arbeit gewählt, um verschiedene Heizungssysteme (mit und ohne Abluftwärmerückgewinnung) am selben Gebäude vergleichen zu können. In dieser Studie hat das NEH

einen spezifischen Heizwärmebedarf zwischen 44,5 und 41,7 kWh/(m²a) für die Standard Benutzerannahmen (22,5°C Raumtemperatur, Belegung, innere Wärmen etc.).

- Passivhaus: (PH) Gleicher Dämmstandard wie Niedrigenergiehaus, jedoch mit Abluftwärmerückgewinnung, um den Restheizwärmebedarf auf unter 15 kWh/m²a zu senken. Dies entspricht der klassischen Passivhaus-Definition nach Feist, 2003 (<http://www.passiv.de/>). Zusätzliche Definitionen des Passivhauses sind ein spezifischer Gesamtenergiebedarf unter 42 kWh/(m²a) und ein spezifischer Primärenergiebedarf von unter 120 kWh/(m²a). Die neuesten Passivhaus-Förderkriterien von der deutschen Kreditanstalt für Wiederaufbau vom Mai 2003 nehmen hierbei den Haushaltsstrom wieder heraus, da dem Gebäude das Nutzerverhalten bzgl. Haushaltgeräte nicht angelastet werden kann. Als Nachweisverfahren dient jetzt das Passivhaus Projektierungs- Paket PHPP (Neuaufgabe 2003) und nicht mehr die Passivhaus-Vorprojektierung (PHVP). Nachzuweisen sind der Jahres-Heizwärmebedarf von max. 15 kWh/(m²a), Energiebezugsfläche hierfür ist die Wohnfläche innerhalb der thermischen Hülle (zur genauen Definition siehe PHPP, Feist 2001) und – das ist neu - der Jahresprimärenergiebedarf von max. 40 kWh/(m²a), Bezugsfläche hierfür ist die Gebäudenutzfläche A_N nach Energieeinsparverordnung (EnEV). Im Jahresprimärenergiebedarf sind der Jahresheizwärmebedarf, der Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung, die Energieverluste des Wärmeversorgungssystems, der Hilfsenergiebedarf für Heizung und Brauchwarmwasserbereitung sowie der Energieverbrauch für die Bereitstellung der Energieträger enthalten (<http://www.passiv.de/>).
- Vergleichsgebäude: In dieser Studie werden im EU-Projekt CEPHEUS (2001) vermessene Passivhäuser herangezogen, um die Simulationsmodelle für die Referenzgebäude aufzubauen. Zuerst werden diese Vergleichsgebäude mit TRNSYS (2000) nachsimuliert um die Realitätsnähe des Simulationsmodells zu erhöhen.
- Referenzgebäude 1: Mit den Referenzgebäuden werden die Modellrechnungen für die verschiedenen Heizungssysteme und Nutzerverhalten aufgestellt. Das Referenzgebäude 1 ist ein Reihenhaus mit drei Wohneinheiten (WE) gedämmt im Passivhausstandard (siehe Kapitel 4).
- Referenzgebäude 2: Ein Geschosswohnhaus mit zwölf Wohneinheiten (WE) gedämmt im Passivhausstandard (siehe Kapitel 4).
- Heizungssysteme: Es wird davon ausgegangen, dass entweder ein Luftheizungssystem mit Abluftwärmerückgewinnung (ev. in Kombination mit einem Pellets-Kaminofen) oder ein Wasserheizungssystem zum Einsatz kommt. Bei Wasserheizungssystemen wird davon ausgegangen, dass gleichzeitig KEIN Lüftungssystem eingesetzt wird, um die Investitionskosten und den Platzbedarf für die Systeme gering zu halten.

Abbildung 1-1 zeigt, wie sich der Heizwärmebedarf mit den oben definierten Gebäuden darstellt. Niedrigenergiegebäude und Passivhäuser zeichnen sich durch eine sehr gut gedämmte Gebäudehülle aus. Die Transmissionsverluste sind dadurch deutlich gegenüber dem Altbau reduziert. Die Lüftungsverluste bleiben aber in etwa gleich wie im Altbau, da sich der Lüftungsbedarf nicht wesentlich ändert, nur die Infiltration sinkt durch dichter gebaute Häuser für die Niedrigenergie- und Passivhäuser. Der Heizwärmebedarf von Niedrigenergiehäusern liegt damit auf etwa 40-50

kWh/(m²a). Dadurch verschiebt sich auch der Anteil, den die Lüftungsverluste am Gesamtwärmeverlust haben und auch der Anteil, den die internen Gewinne haben, den Wärmeverlust zu decken.

Niedrigenergiehäuser mit Passivhaus-Dämmstandard haben nicht nur einen niedrigeren Heizwärmebedarf (die Betriebskosten des Gebäudes sinken erheblich), sie bieten gegenüber Altbauten auch eine Komfortsteigerung durch höhere Wandtemperaturen und damit geringere Temperaturunterschiede der Umschließungsflächen eines Raumes im Winter. Dadurch wird die Anfälligkeit für Kondensat- und damit Schimmelbildung vermindert. Durch diszipliniertes Lüftungsverhalten bzw. eine kontrollierte Wohnraumlüftung wird diese Schimmelbildung ebenfalls verhindert.

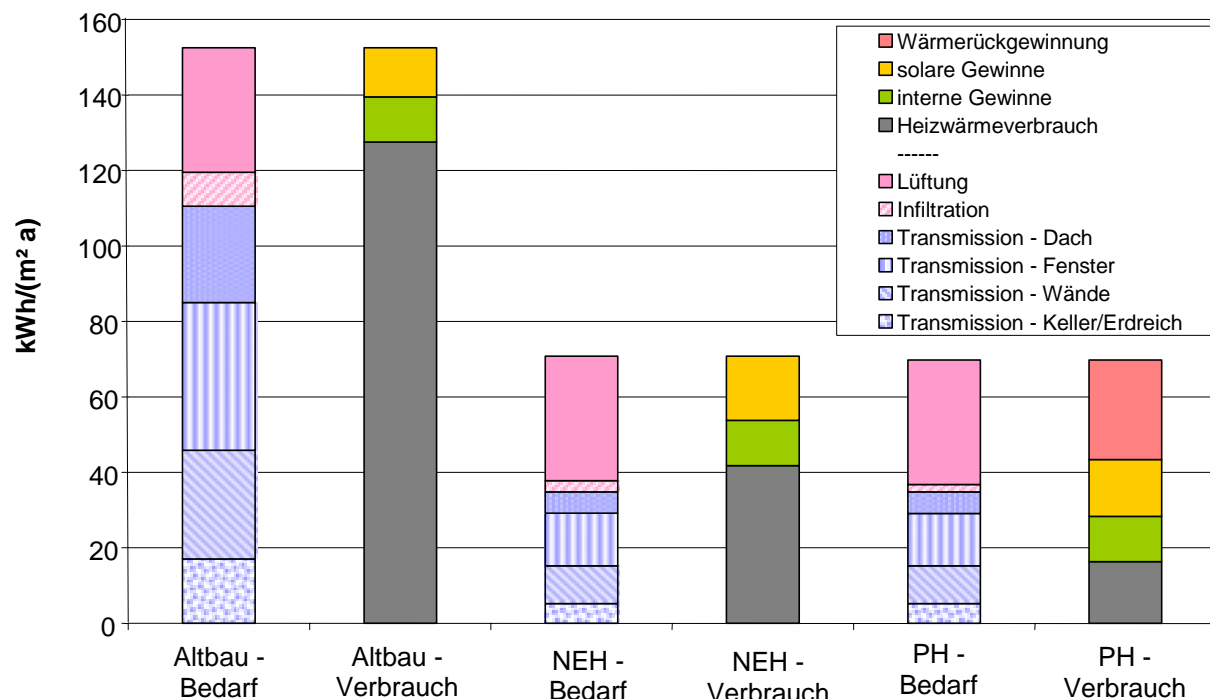


Abbildung 1-1: Entwicklung der Energiebilanzen (bezogen auf die Nettogeschossfläche) von älteren Gebäuden zum Passivhaus bzw. zum Niedrigenergiehaus mit gleichem Dämmstandard wie das Passivhaus aber ohne Abluftwärmerückgewinnung

Will man jetzt den Heizwärmebedarf eines Gebäudes weiter senken, muss man die Lüftungsverluste verringern. Dies geschieht üblicherweise, indem kontrollierte Lüftungssysteme mit Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Das bedeutet, dass mit Hilfe eines Wärmetauschers Wärme aus der Abluft der Frischluft zugeführt wird. Dabei werden Rückgewinnungsgrade von 75-90% erreicht. Dadurch kann der Heizwärmebedarf soweit gesenkt werden, dass er bei hygienischer Luftwechselrate von 0,3 - 0,5 h⁻¹ und einer Zulufttemperatur unter 50°C allein durch Erwärmung der Zuluft gedeckt werden kann. Ist dies gegeben, so spricht man üblicherweise von einem Passivhaus-Konzept. Konventionelle Heizung (Fußboden-, Wand- oder Radiatorheizung) ist somit nicht mehr notwendig. Wärmerückgewinnung ist also eine Form, die Lüftungsverluste und damit den Heizwärmebedarf des Gebäudes zu reduzieren. Darum taucht die Wärmerückgewinnung (WRG) in Abbildung 1-1 als Gewinn auf. Der Restheizwärmebedarf liegt bei Passivhäusern bei höchstens 15 kWh/(m² a). Voraussetzung für einen so niedrigen Heizwärmebedarf ist eine sehr hohe Qualität der Gebäudehülle (Dämmung, keine Wärmebrücken, niedriges Verhältnis Oberfläche zu Volumen und hohe Luftdichtheit: bei 50 Pascal Druckdifferenz zwischen Raum und Außen soll der Luftwechsel durch Infiltration kleiner als 0,6 h⁻¹ sein; n₅₀<0,6).

Der Heizwärmebedarf eines Gebäudes hängt außer von der Dämmung und der Luftdichtheit auch von vielen anderen Faktoren ab. Ein Faktor ist, in welchem Maß passive Solarenergie genutzt wird. Eine optimierte passive Solarenergienutzung (hohe solare Gewinne während der Heizperiode ohne Überhitzung im Sommer) kann den Heizenergiebedarf weiter senken ohne einen Kühlbedarf zu schaffen.

Auch das Benutzerverhalten beeinflusst den Heizwärmebedarf maßgeblich durch die Wärmeabgabe der Bewohner, den Stromverbrauch im Gebäude, der als Wärme an den Raum abgegeben wird, das Lüftungsverhalten der Bewohner und die gewünschte Raumtemperatur.

Tabelle 1-1 zeigt den Einfluss von verschiedenen Faktoren des Benutzerverhaltens auf den Heizwärmebedarf von den in Kap. 4 definierten Referenzgebäuden mit 3 und 12 Wohneinheiten (3 WE, 12 WE). Allein die Änderung der Raumtemperatur um $\pm 2,5$ °C erhöht bzw. senkt den Heizenergiebedarf um 23 bzw. 22 %. Die in Kap. 6.2 definierten Extremszenarien (hohe Last/geringe Innenwärmen, ex 1 bzw. niedrige Last/hohe Innenwärmen, ex 2) bewirken eine Änderung um + 130 % bzw. - 75 % des Heizenergiebedarfs der Referenzvariante.

Tabelle 1-1: Einfluss der Gebäudenutzung und des Benutzerverhaltens in Bezug auf Strombedarf, Personenbelegung, Raumtemperatur und Luftwechselrate auf den Heizwärmebedarf (Referenzgebäude 1 mit 3 Wohneinheiten, Beispiel)

	Variation des Benutzerverhaltens				Wärmebedarf		
	Strom- verbrauch	Perso- nenzahl	Raumtem- peratur	Luftwechsel- rate	Heizwärme- bedarf	Differenz zu Referenz	
	kWh/ (d WE)		°C	[1/h]	kWh/(m ² a)	kWh/ (m ² a)	%
3 WE ref.	7	4	22,5	0,4	44,5	Referenz	
3 WE 20°C	7	4	20	0,4	34,9	-9,6	-22
3 WE 25°C	7	4	25	0,4	54,8	+10,3	+23
3 WE ex 1	3,5	2	25	0,8	100,7	+56,2	+126
3 WE ex 2	15	6	20	0,2	11,6	-32,9	-74
12 WE ref.	7	4	22,5	0,4	41,7	Referenz	
12 WE ex 1	3,5	2	25	0,8	97,2	+55,6	+133
12 WE ex 2	15	6	20	0,2	10,2	-31,5	-76

Die Nutzung des Gebäudes bzw. das Verhalten der Nutzer hat also bei gut gedämmten Gebäuden einen wesentlichen Einfluss auf den Heizwärmebedarf. Verschiedene Heizsysteme reagieren unterschiedlich auf das Nutzerverhalten. Ein Kriterium ist zum Beispiel, wie lange es dauert, das Gebäude wieder aufzuheizen, wenn im Winter längere Zeit das Fenster offen war (vgl. Kap. 6.2). Auch sollte bei der Planung eine mögliche zukünftige Nutzung des Gebäudes berücksichtigt werden, um das Heizsystem nicht zu klein zu dimensionieren. Im Extremfall könnte das Gebäude nicht mehr ausreichend beheizt werden, wenn beispielsweise Energiesparelektrogeräte statt Durchschnittsgeräte benutzt werden und weniger gekocht wird.

1.6 Aufbau der Arbeit

- € Nachweis der Möglichkeit thermische Prozesse in Gebäuden mittels thermischer Simulation nachvollziehen und bewerten zu können. Aufzeigen der Sensitivitäten der wesentlichen Parameter an Hand eines Vergleiches von Messdaten zweier Mehrfamilienhäuser in Vorarlberg (in Hörbranz und in Egg) aus dem EU-Projekt CEPHEUS 2001 (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) mit den Ergebnissen einer thermischen Simulation (Programm TRNSYS (2000), Version 15.09).
- € Durchführen von Analysen zu den wesentlichen thermisch relevanten Komponenten des Nutzungsverhaltens in Gebäuden. Erstellen von Auswertungen von Messwerten aus dem EU-Projekt CEPHEUS. Durchführung einer Nutzerbefragung in 53 Wohneinheiten verschiedener Niedrigenergie- bzw. Passivhaussiedlungen zur Ermittlung von Lüftungsverhalten, inneren Wärmen und Raumlufttemperaturen. Vergleich der erhaltenen Daten mit Aussagen deutschsprachiger Normen.
- € Definition von Referenzgebäuden und Referenz-Szenarien für ein möglichst repräsentatives Nutzungsverhalten unter Zuhilfenahme der in den obigen Punkten erarbeiteten Ergebnisse sowie von Messungen und Erhebungen aus Projekten im Rahmen des „Haus der Zukunft“ Forschungsprogramms und weiterer nationaler und internationaler Programme.
- € Aufstellung und qualitative Analyse verschiedener Heizungssysteme und ihrer Komponenten in Bezug auf Passivhäuser und Niedrigenergiehäuser mit Passivhaus-Dämmstandard inklusive Platzbedarf und Fehleranfälligkeit bei Installation und Betrieb.
- € Durchführen einer simulationstechnischen Ermittlung der Kennwerte für den Heizenergiebedarf, den Endenergiebedarf und den Primärenergiebedarf (absolut und spezifisch) für verschiedene Heiz- und Anlagenkonzepte der Referenzgebäude unter Variationen der ermittelten Referenz-Szenarien des Nutzungsverhaltens.
- € Bewertung unterschiedlicher Heizungs- und Lüftungssysteme für Passiv- und Niedrigenergie Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude unter Berücksichtigung von Raumklima, mögliche Bandbreite des Benutzerverhaltens, Endenergie- und Primärenergiebedarf, Wärmegestehungskosten, CO₂-äquivalent-Emissionen, mit Hilfe von Simulationen, Erfahrungen mit gebauten Anlagen.
- € Der sozialwissenschaftliche Teil setzt sich mit der Frage auseinander, wie sich BewohnerInnen von Niedrigenergie- und Passivhäusern in ihren Wohnungen verhalten, wie sie mit den darin vorhandenen Heizsystemen zurechtkommen, wie zufrieden sie damit sind, welche Schwierigkeiten es gibt und welche Heizsysteme sie für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus geeignet halten. Diese Untersuchung stützt sich vor allem auf eine Befragung von BewohnerInnen in bestehenden Mehrgeschosswohnbauten zu ihren Heizanlagen und einer Sekundäranalyse von mehreren Projektberichten, die im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ bereits durchgeführt wurden.
- € Als ein weiteres Ergebnis wurde ein Leitfaden der Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser mit deren Vor- und Nachteilen, Einsatzgrenzen, Kosten, Endenergie- und Primärenergiebedarf, etc. erstellt und im Rahmen eines Workshops dem interessierten Fachpublikum (Architekten, Bauträger, Haustechnikplaner, Förderstellen, Betreiber und Benutzer) vorgestellt und diskutiert.

2. Messung und simulationstechnische Bewertung ausgewählter CEPHEUS Gebäude im Vergleich

2.1 Problemstellung

Passivhäuser zeigen aufgrund ihrer äußerst gut gedämmten Außenhülle und der obligatorischen Abluftwärmerückgewinnung ein im Vergleich zu konventionellen Häusern verschobenes Verhalten. Schwankungen in der Außenlufttemperatur beispielsweise haben bei Passivhäusern auf den Verlauf der Innenraumlufttemperatur geringen Einfluss, jedoch innere Wärmen durch Geräte und Personen steigen auf einen substantziellen Beitrag der Wärmebedarfsdeckung an.

Wenn man nun das thermische Verhalten eines Passivhauses inklusive seiner Anlagen bewerten will, dann ist eine genaue Kenntnis der inneren thermischen Vorgänge von zentraler Bedeutung, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass es gleich wie ein konventionelles Gebäude reagiert. Die Sensitivität einzelner Parameter des thermischen Systems, d.h. das Wissen wie und in welcher Weise das zu bewertende Gebäude auf unterschiedliche Einflüsse reagiert, stehen im Zentrum dieses Kapitels.

Im vorliegenden Projekt bot sich die Möglichkeit zwei im Rahmen des EU-Projektes CEPHEUS (2001) (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) vermessene Passivhäuser als Grundlage einer Untersuchung der oben beschriebenen Sensitivitäten zu nutzen. Der Vergleich von Messergebnissen mit Simulationsergebnissen eröffnet die Möglichkeit zu prüfen, in welcher Weise und Genauigkeit thermische Prozesse in Passivhäusern mittels thermischer Simulation nachvollziehbar sind und ob sich daraus eine Bewertung der Systeme ableiten lässt. Als Bewertungskriterium wird der Verlauf der Raumlufttemperatur herangezogen.

Von den Vergleichsgebäude ausgehend wurden Referenzgebäude abgeleitet, an Hand derer in den nachfolgenden Kapiteln unterschiedliche Heizungssysteme miteinander verglichen werden. Dies bietet die Grundlage der weiterführenden Untersuchungen. Bei den Vergleichsgebäuden handelt es sich um zwei Mehrfamilienhäuser in Vorarlberg (in Hörbranz und in Egg). Die thermische Modellierung wird mit dem Programmpaket TRNSYS (2000) durchgeführt.

2.2 Messdatenerfassung

Die Messdaten stammen aus Messungen im Rahmen des EU-Projektes CEPHEUS 2001 (Cost Efficient Passive Houses as European Standards). Die Erstellung des Messkonzeptes, die Installation der Messgeräte sowie die Messdatenerfassung wurde von der Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie [AEE INTEC] im Rahmen des CEPHEUS – Projektes durchgeführt. Für die thermische Simulation werden die Messdaten für den Vergleichszeitraum vom 11. November 2001 bis 24. Jänner 2002 verwendet (d.h. 16 Wochen innerhalb der Heizsaison). Die erforderlichen Messwerte wurden von der AEE INTEC in Form von Stundenwerten zur Verfügung gestellt.

2.2.1 Beschreibung der Messobjekte

Als Messobjekte werden zwei Passivhäuser in Vorarlberg, einerseits ein Reihenhaus in Hörbranz und andererseits ein Mehrfamilienwohnhaus in Egg festgelegt. Der Begriff „Passivhaus“ bezeichnet einen Baustandard mit den Kennwerten für eine Heizlast von maximal 10 W/m^2 bzw. einen spezifischer Heizwärmebedarf nach Abluftwärmerückgewinnung von $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, einen Primärenergiebedarf von maximal $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und einen Gesamtenergiebedarf von $42 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Um dies zu realisieren wird bei der Gebäudehülle von Passivhäusern auf eine sehr gute Wärmedämmung und große Luftdichtheit geachtet. Ebenso wird die passive Solarnutzung durch die Südausrichtung der

Gebäude und entsprechende Fensterausführungen begünstigt (KRAPMEIER et al. 2000). Bei Passivhäusern wird mittels einer Abluftwärmerückgewinnung mit Nachheizung der gesamte, oder zumindest der größte Teil, des Wärmebedarfes über die eingeblasene Luft als Wärmeträger ins Gebäude gebracht.

Das Reihenhaus in Hörbranz:

Die Gemeinde Hörbranz befindet sich am Stadtrand von Bregenz (geografische Länge: $9^{\circ} 45'$, geografische Breite: $47^{\circ} 33'$, Meereshöhe: 426 m ü. Adr.). Dieses Reihenhaus ist ein Passivhaus mit drei Wohneinheiten und insgesamt 370 m² Wohnnutzfläche. Die Abbildung 2-1 zeigt das Gebäude und in Abbildung 2-2 sind die dazugehörigen Baupläne zu sehen.



Abbildung 2-1: Reihenhaus in Hörbranz; Planung: Architekt Richard Caldonazzi, Frastanz; bezugsfertig: Juli 1999; Bildquelle: KRAPMEIER

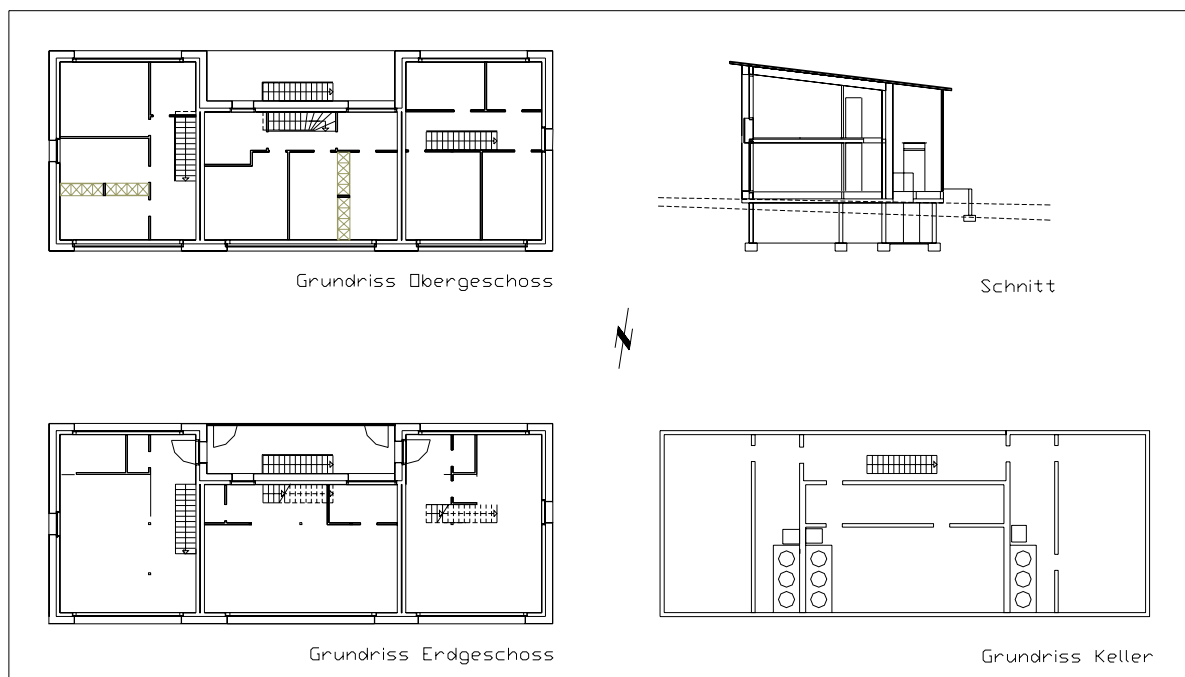


Abbildung 2-2: Pläne vom Reihenhaus in Hörbranz, Bildquelle: (CALDO 2001)

Das Mehrfamilienhaus in Egg:

Egg ist ein kleiner Ort im Bregenzer Wald der ca. 20 km von Bregenz entfernt liegt (geografische Länge: 9° 45', geografische Breite: 47° 26', Meereshöhe: 545 m ü. Adr.). Dieses Wohngebäude ist ein Passivhaus mit vier Wohneinheiten und insgesamt 321 m² Wohnnutzfläche. Die Abbildung 2-3 zeigt die Süd-West-Ansicht des Gebäudes und in Abbildung 2-4 sind Baupläne zu sehen.



Abbildung 2-3: Mehrfamilienhaus in Egg; Architekt: Fink&Thurnher, Bregenz; bezugsfertig: Oktober 2000; Bildquelle: KRAPMEIER

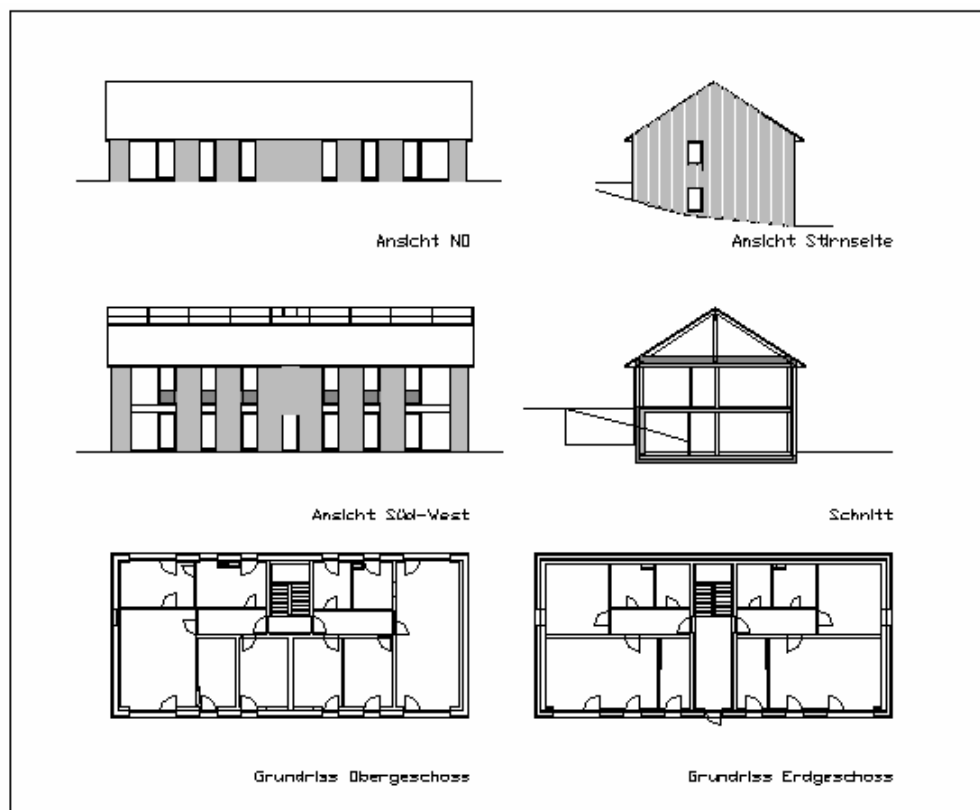


Abbildung 2-4: Pläne des Mehrwohnungsgebäudes in Egg, Quelle: (MORSCHER 2001)

2.2.2 Messkonzept und Messpunkte

In der Abbildung 2-5 ist das Messschema mit den einzelnen Messstellen für das Reihenhaus in Hörbranz und in Abbildung 2-6 ist das Messschema des Mehrfamilienhauses in Egg ersichtlich. Die Bezeichnung der einzelnen Messstellen ist in Tabelle 2-1 und Tabelle 2-2 zu sehen. Die Messstellenbezeichnung setzt sich aus der Nummer der Wohneinheit und dem Typ des Messgerätes zusammen, außerdem wird innerhalb einer Wohneinheit jedes Messgerät in Abhängigkeit vom Messgerätetyp mit einer fortlaufenden Nummer versehen um eine eindeutige Identifizierung des Messgerätes zu gewährleisten. Die Wohneinheit-Nummer 00 entspricht dem allgemeinen Bereich, der keiner Wohnung direkt zugerechnet werden kann.

Die Kurzzeichen des Gerätetyps entsprechen folgenden Messgeräten:

E	.....	Strom- (Elektro-) Zähler
F	.....	Luftfeuchtigkeitsfühler
G	.....	Gaszähler
H	.....	Heizenergieerfassung bei Luft/Luft bzw. Luft/Wasser –Wärmepumpe
L	.....	Luftmengenmessung
P	.....	Pyranometer
T	.....	Temperaturfühler
V	.....	Volumenstromzähler
W	.....	Wärmemengenzähler

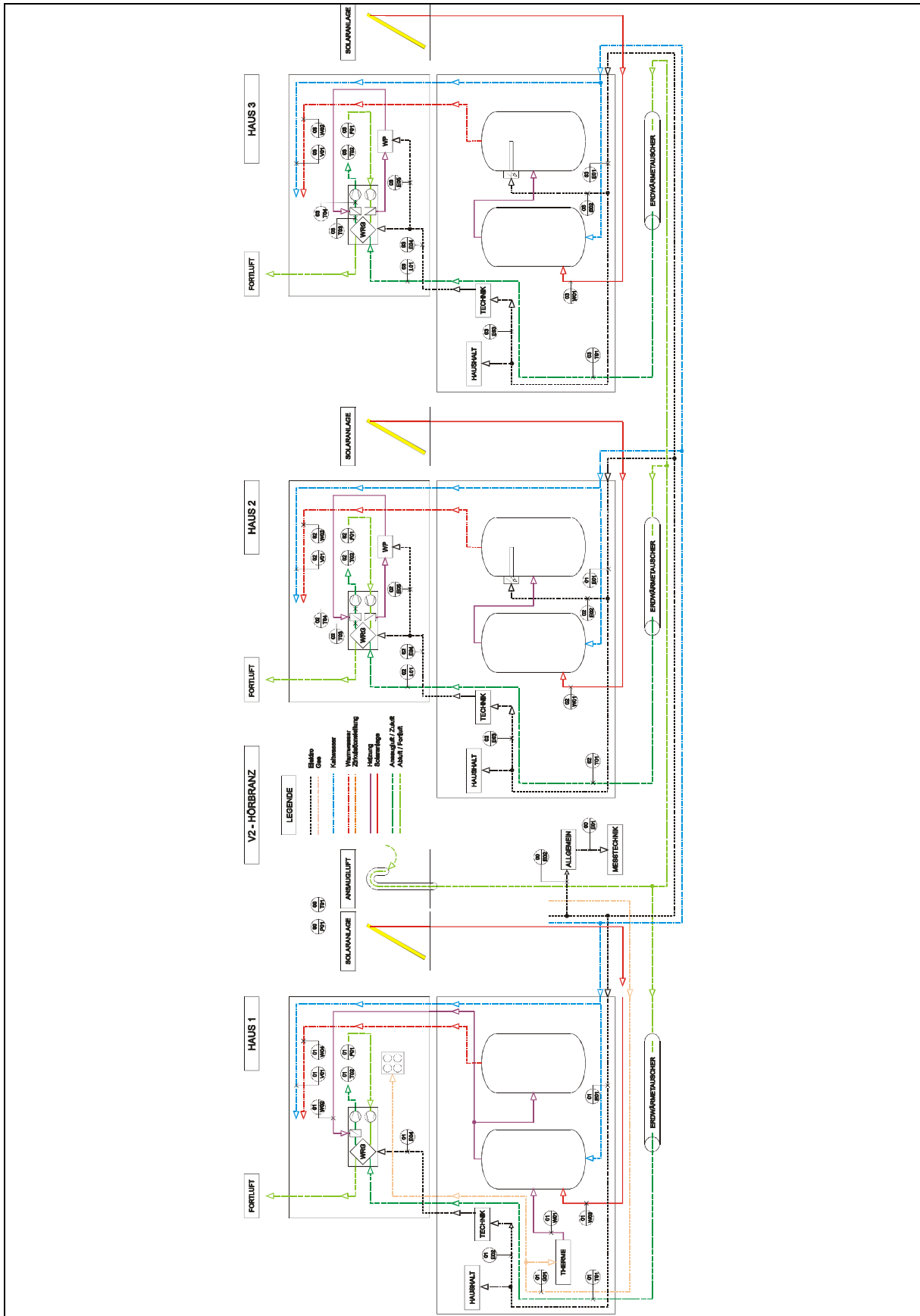


Abbildung 2-5: Hydraulik- und Messschema für das Reihenhaus in Hörbranz, Quelle: (THÜR 2001a)

Tabelle 2-1: Messgeräteliste für das Reihenhaus in Hörbranz (THÜR 2001a)

Messgerätebezeichnung			Messgröße	Einheit
Wohn- einheit	Typ	Nummer		
00	P	01	Solare Einstrahlung	[W/m ²]
00	T	01	Außentemperatur	[°C]
00	E	01	Stromverbrauch, Messtechnik	[kWh]
00	E	02	Stromverbrauch, Allgemein	[kWh]
01	F	01	Luftfeuchtigkeit	[% r.F.]
01	T	01	Temperatur Ansaugluft nach Erdwärmetauscher	[°C]
01	T	02	Raumtemperatur	[°C]
01	E	01	Stromverbrauch, gesamt	[kWh]
01	E	02	Stromverbrauch, Technik	[kWh]
01	E	04	Stromverbrauch, Lüftungsgerät	[kWh]
01	G	01	Gasverbrauch, gesamt	[kWh]
01	V	01	Wasserverbrauch KW	[m ³]
01	W	01	Energiezufuhr WW und HZ, aus Gastherme	[kWh]
01	W	02	Energieverbrauch HZ	[kWh]
01	W	03	Energiezufuhr WW und HZ, aus Solarkreis	[kWh]
01	W	04	Energieverbrauch WW	[kWh]
02	F	01	Luftfeuchtigkeit	[% r.F.]
02	T	01	Temperatur Ansaugluft nach Erdwärmetauscher	[°C]
02	T	02	Raumtemperatur	[°C]
02	L	01	Luftmengenmessung	[kg/h]
02	T	03	Temperatur Ansaugluft vor WP-Register	[°C]
02	T	04	Temperatur Ansaugluft nach WP-Register	[°C]
02	H	01	Energiezufuhr aus Wärmepumpe	[kWh]
02	E	01	Stromverbrauch, gesamt	[kWh]
02	E	02	Stromverbrauch, WW E-Patrone	[kWh]
02	E	03	Stromverbrauch, Technik	[kWh]
02	E	04	Stromverbrauch, Lüftungsgerät	[kWh]
02	E	05	Stromverbrauch, WP Nachheizung Zuluft	[kWh]
02	V	01	Wasserverbrauch KW	[m ³]
02	W	01	Energiezufuhr WW, aus Solarkreis	[kWh]
02	W	02	Energieverbrauch WW	[kWh]
03	F	01	Luftfeuchtigkeit	[% r.F.]
03	T	01	Temperatur Ansaugluft nach Erdwärmetauscher	[°C]
03	T	02	Raumtemperatur	[°C]
03	L	01	Luftmengenmessung	[kg/h]
03	T	03	Temperatur Ansaugluft vor WP-Register	[°C]
03	T	04	Temperatur Ansaugluft nach WP-Register	[°C]
03	H	01	Energiezufuhr aus Wärmepumpe	[kWh]
03	E	01	Stromverbrauch, gesamt	[kWh]
03	E	02	Stromverbrauch, WW E-Patrone	[kWh]
03	E	03	Stromverbrauch, Technik	[kWh]
03	E	04	Stromverbrauch, Lüftungsgerät	[kWh]
03	E	05	Stromverbrauch, WP Nachheizung Zuluft	[kWh]
03	V	01	Wasserverbrauch KW	[m ³]
03	W	01	Energiezufuhr WW, aus Solarkreis	[kWh]
03	W	02	Energieverbrauch WW	[kWh]

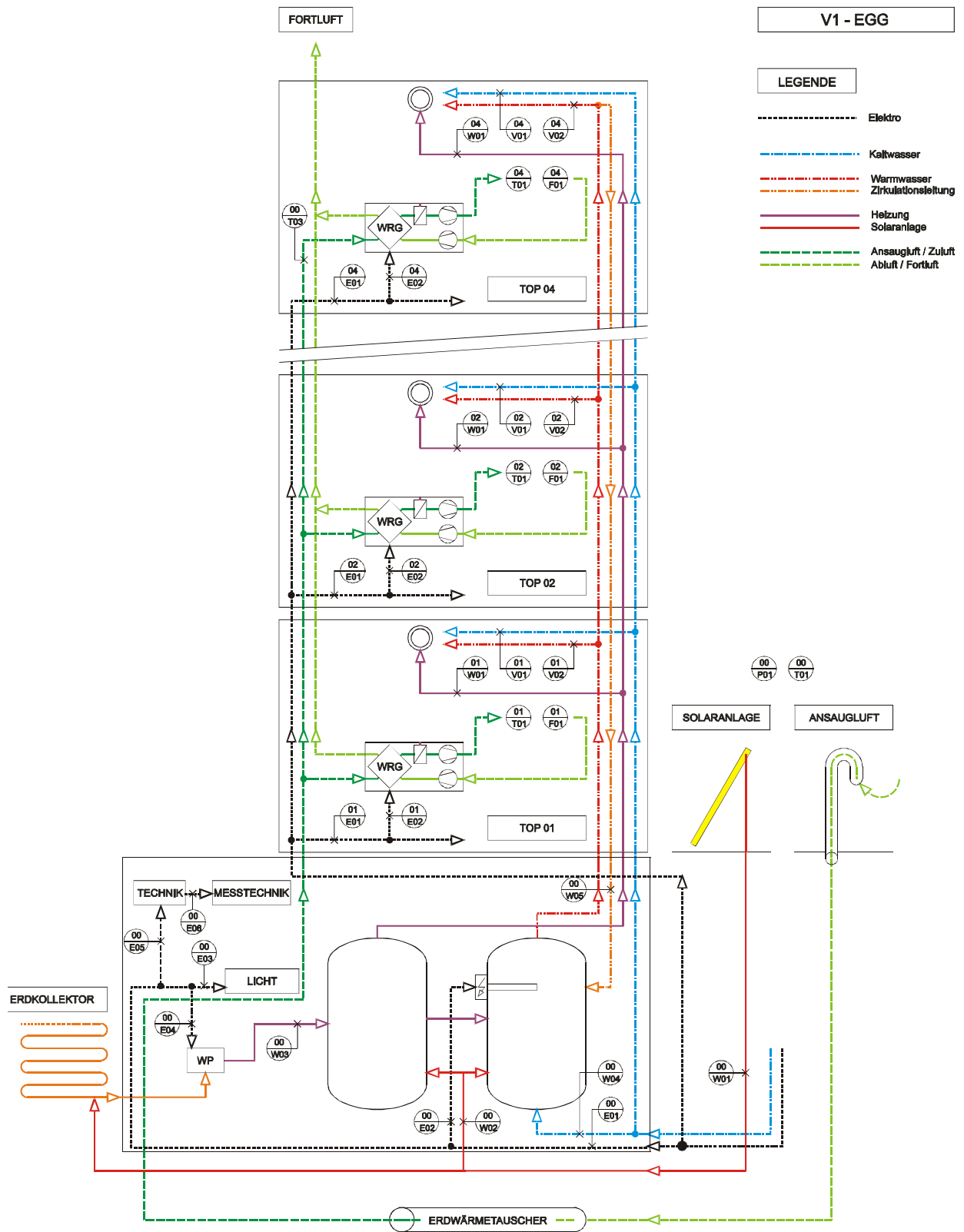


Abbildung 2-6: Hydraulik- und Messschema für das Mehrfamilienwohnhaus in Egg, Quelle: (THÜR 2001b)

Tabelle 2-2: Messgeräteliste für das Mehrfamilienwohnhaus in Egg (THÜR 2001b)

Messgerätebezeichnung			Messgröße	Einheiten
Wohn-einheit	Typ	Nummer		
00	P	01	Solare Einstrahlung	[W/m ²]
00	T	01	Außentemperatur	[°C]
00	T	03	Temperatur Ansaugluft nach Erdwärmetauscher Wohnung 4	[°C]
00	E	01	Stromverbrauch, Allgemein	[kWh]
00	E	02	Stromverbrauch, WW E-Patrone	[kWh]
00	E	03	Stromverbrauch, Licht	[kWh]
00	E	04	Stromverbrauch, WP Erdregister	[kWh]
00	W	01	Energiezufuhr aus Solarkreis	[kWh]
00	W	02	Energiezufuhr HZ in Speicher, aus Solarkreis	[kWh]
00	W	03	Energiezufuhr HZ in Speicher, aus WP Erdregister	[kWh]
00	E	05	Stromverbrauch, Technik	[kWh]
00	W	04	Energieverbrauch WW	[kWh]
00	W	05	Energieverbrauch Zirkulationsleitung	[kWh]
00	E	06	Stromverbrauch, Messtechnik	[kWh]
01	F	01	Luftfeuchtigkeit	[% r.F.]
01	T	01	Raumtemperatur	[°C]
01	E	01	Stromverbrauch, WE gesamt	[kWh]
01	E	02	Stromverbrauch, Lüftungsgerät	[kWh]
01	V	01	Wasserverbrauch KW	[m ³]
01	W	01	Energieverbrauch HZ	[kWh]
01	V	02	Wasserverbrauch WW	[m ³]
02	F	01	Luftfeuchtigkeit	[% r.F.]
02	T	01	Raumtemperatur	[°C]
02	E	01	Stromverbrauch, WE gesamt	[kWh]
02	E	02	Stromverbrauch, Lüftungsgerät	[kWh]
02	V	01	Wasserverbrauch KW	[m ³]
02	W	01	Energieverbrauch HZ	[kWh]
02	V	02	Wasserverbrauch WW	[m ³]
03	F	01	Luftfeuchtigkeit	[% r.F.]
03	T	01	Raumtemperatur	[°C]
03	E	01	Stromverbrauch, WE gesamt	[kWh]
03	E	02	Stromverbrauch, Lüftungsgerät	[kWh]
03	V	01	Wasserverbrauch KW	[m ³]
03	W	01	Energieverbrauch HZ	[kWh]
03	W	02	Wasserverbrauch WW	[m ³]
04	F	01	Luftfeuchtigkeit	[% r.F.]
04	T	01	Raumtemperatur	[°C]
04	E	01	Stromverbrauch, WE gesamt	[kWh]
04	E	02	Stromverbrauch, Lüftungsgerät	[kWh]
04	V	01	Wasserverbrauch KW	[m ³]
04	W	01	Energieverbrauch HZ	[kWh]
04	V	02	Wasserverbrauch WW	[m ³]

2.2.3 Messgeräte

Bei den Messungen der Vergleichsgebäude wurden Energieflüsse über die Gebäudegrenzen, Klimadaten, Komfortparameter, Heizenergiebedarf, hydraulische und elektrische Energieflüsse im Haus sowie Ein- und Austrittstemperaturen der Erdwärmetauscher ermittelt. Zu den Energieflüssen über die Gebäudegrenzen gehören Strom, Gas und Solarenergie. Zu den Klimadaten zählen die Außenlufttemperatur und die solare Einstrahlung. Als Komfortparameter wurden die Raumtemperatur und die Raumluftfeuchte und als hydraulische Energieflüsse der Warmwasserverbrauch und die Zirkulationsverluste gemessen. Die elektrischen Energieflüsse wurden für Haushalt, Lüftung, Heizung, Wärmepumpe, Allgemein- und Hilfsenergie getrennt aufgenommen.

Alle Messwerte der einzelnen Messstellen eines Gebäudes (siehe Abbildung 2-5 bzw. Abbildung 2-6) werden auf einen Datenlogger zusammengeführt und mindestens stündlich gespeichert. Die Messdaten werden über Modem wöchentlich automatisch ausgelesen und überprüft. Bei der Prüfung der Messdaten wird die Einhaltung von Wertebereichen kontrolliert bzw. eine Plausibilitätsrechnung in Form von Energiebilanzen durchgeführt. Auch jene Messgeräte die in der konventionellen Haustechnik vorhanden sind, wie Gesamtkaltwasserzähler, Gesamtstromzähler, usw. werden, wenn es technisch möglich ist, an die Messdatenerfassung angeschlossen oder zumindest in regelmäßigen Abständen abgelesen.

Feuchte-/Temperaturmessumformer

In den Gebäuden in Hörbranz und in Egg wird ein E+E Elektronik Messumformer EE20-FT6 verwendet. Als Messsensoren werden ein E+E Elektronik Feuchtesensor der Type HC 1000 und ein Temperatursensor KF 6544 verwendet. Die technischen Daten des Messumformers sind in Abbildung 2-7 dargestellt.



Messbereich Feuchte	0 ... 100 % r.F.
Temperatureinfluss auf die Elektronik	< 0,03 °C/°C
Hysterese 10% - 80% - 10%	< 2 % r.F.
Temperatureinfluss bei 60%r.F.	typisch – 0,06 % r.F./°C
Messbereich Temperatur	-20 ... 80 °C
Genauigkeit Temperatur bei 20°C	∂ 0,3 °C
Genauigkeit Feuchte bei 20°C	∂ 2 % r.F. (0 ... 90 %) ∂ 3 % r.F. (90 ... 100 %)

Abbildung 2-7: Messumformer EE20-FT6, Quelle (E+E Elektronik)

Pyranometer

Pyranometer werden zur Messung der Sonnenstrahlung [W/m²] auf eine ebene Oberfläche verwendet. Das Gerät ist halbkugelförmig aufgebaut um Strahlung aus der gesamten Hemisphäre empfangen zu können, dabei wird das Gehäuse durch eine Schutzhaube vor Erwärmung und durch eine Trocknungspatrone aus Silicagel vor Feuchtigkeit geschützt. Das Pyranometer kann mittels einer Libelle und dreier Verstellerschrauben genau waagrecht ausgerichtet werden. Pyranometer können Strahlung auf allen Ebenen messen, dabei ist der Messwert vom Einstrahlungswinkel abhängig. Als Pyranometer wird ein SKS 1100 von Skye verwendet. Die technischen Daten dieses Messensors sind in Abbildung 2-8 ersichtlich.



Messbereich	0 ... 5000 W/m ²
Absoluter Kalibrationsfehler	typisch < 3 %; maximal 5 %
Azimuth-Fehler	< 1 %
Temperatur Koeffizient	∂ 0,2 %/°C
Langzeit-Stabilität	∂ 2 %
Spektraler Messbereich	350 ... 1100 nm
Detektor	Silicon Photozelle

Abbildung 2-8: Pyranometer SKS 1110, Quelle: (EMLTD, 2002)

Wechselstromzähler

Der verwendete Wechselstromzähler SWHM 12.11.11 ist ein elektronischer Einphasenwechselstromzähler (230 V AC, 5 (20) A, 50 Hz) mit der Genauigkeitsklasse 1, die Ausführung entspricht IEC 1036. Dieser Wechselstromzähler besitzt einen Optokoppler als Schnittstelle. Die technischen Daten des Stromzählers sind in Abbildung 2-9 ersichtlich.



Anzeige	5 Stellen für Kilowatt und 1 Dezimalstelle
Leistungsaufnahme / Eigenverbrauch	< 2 VA
Grenzspannungsbereich	184 V bis 265 V
Betriebs-/ Grenzstrombereich	0,02 A bis 20 A
Anlaufstrom bei cos phi = 1	typisch 15 mA
Betriebsfrequenzbereich	40 Hz bis 60 Hz
Grenztemperaturbereich	-20°C bis +55°C
Luftfeuchte maximal	Jahresmittel 75 %, kurzzeitig 95 %

Abbildung 2-9: elektronischer Einphasen-Wechselstromzähler SW 12.11 11, Quelle: (ENNOS)

Drehstromzähler

Bei dem eingesetzten Drehstromzähler wird durch den Einsatz von Elektronik der Eigenverbrauch des Zählers, das Gewicht und die Stoss- und Erschütterungsempfindlichkeit des Gerätes reduziert. Der Zähler arbeitet von der Anzahl der angeschlossenen Phasen und deren Reihenfolge unabhängig. In Abbildung 2-10 sind die technischen Daten des Drehstromzählers zu sehen.



Meterol. Anforderungen	Klasse 2 für Wirkverbrauch; entsprechend IEC 1036
Messprinzip	„Time Division“-Verfahren; doppelte Messkreise
Spannung	3 x 230/400 V (3P+N); 2 x 230/400 V (2P+N)
Frequenz	50 Hz
Strom	Nennstrom 5 A; Grenzstr. 80 A; Anlaufstr. <25 mA
Temperaturbereich	-40°C bis +60°C
Stossspannungsfestigkeit	G 12 kV
Leistungsaufnahme	Spannungspfad 5,5 VA, kapazitiv 0,5 W pro Phase; Strompfad 0,05 VA

Abbildung 2-10: elektronischer Drehstrom-Zähler K420iNN, Quelle: (ENERMET)

Wärmezähler

Der Wärmezähler besteht aus einem Volumenmessteil, einem Temperaturfühlerpaar mit Tauchhülsen und einem Rechenwerk optocom (siehe Abbildung 2-11). Die technischen Daten des Wärmezählers sind in Tabelle 2-3 ersichtlich.

Tabelle 2-3: technische Daten des Wärmezählers [KUNDO 1996]

Rechenwerk Optocom	beglaubigter Registrierbereich	+5°C bis +180°C
	beglaubigte Temperaturdifferenz	3 bis 150 K
	max. Messfehler	±1,5 % bei 3 K G Ot q 20 K ±1,0 % bei 20 K G Ot q 150 K
Temperaturfühler PT 1000 in 2-Leiter-Ausführung	Messbereich	0°C bis +150°C
Volumenmessteile	Messprinzip	Einstrahl Flügelrad
	max. Betriebstemperatur	+120°C



Abbildung 2-11: Universal-Rechenwerk für Wärmezähler optocom, Quelle: (KUNDO 1996)

Wasserzähler

Die eingesetzten Warm- und Kaltwasserzähler sind Mehrstrahl-Flügelradzähler mit Magnetkupplung und Rollenzählwerk. Der Vorteil des Mehrstrahl-Flügelradzählers liegt in der gleichmäßigen Belastung des Flügelrades und somit auch in einer erhöhten Mess-Stabilität. Die Magnetkupplung überträgt die Drehung des Flügelrades auf das Zählwerk. Das Prinzip der Wasserzähler ist ein Koaxialprinzip, d.h. der Wasserzufluss und -abfluss am Zähler erfolgen in konzentrisch angeordneten Zu- und Abflusskanälen mit großem Querschnitt. Das sorgt für Formstabilität, geringen Druckverlust und problemlose Abdichtung zwischen Zähler und Einbauteilen. Die Ausführung als Volltrockenläufer führt zu erhöhter Betriebssicherheit und Messgenauigkeit. Da das Zählwerk mit dem durchfließenden Wasser nicht in Berührung kommt, können Ablagerungen im Zählwerk vermieden werden. Die technischen Daten des Wasserzählers sind in Abbildung 2-12 zu sehen.



Nenndurchfluss	2,5 m³/h
Druckverlust bei Nenndurchfluss	0,2 bar
Nenndruck	10 bar

Abbildung 2-12: Wasserzähler (Kalt- und Warmwasser) istameter, Quelle: (VITERRA, 2002)

2.3 Ermittlung der Simulationseingabeparameter

Das vorliegende Kapitell beschreibt einerseits die Erstellung der Eingabedatensätze für die vergleichenden thermischen Simulationen und andererseits den Aufbau der Simulationsmodelle in der Simulationsumgebung TRNSYS (2000). Behandelt wird die Vorgangsweise bei der Erstellung der Nutzerprofile für die beiden Vergleichshäuser in Egg und in Hörbranz, der Aufbau des Simulationsmodells mit Beschreibungen der baulichen Struktur und eine Analyse der klimatischen Randbedingungen im Vergleichszeitraum.

2.3.1 Erstellung der Nutzungsprofile

Allgemeines und Vorgangsweise

Bei Niedrigenergiehäusern und im Besonderen bei Passivhäusern erhöht sich der Einfluss des Nutzerverhaltens auf die Wärmebilanz gegenüber „konventionellen Gebäuden“ beträchtlich. Dies wird vor allem durch eine Verminderung der beiden bedeutendsten thermischen Verlustfaktoren des Gebäudes an seine Umgebung, den Transmissionswärmeverlusten und den Wärmeverlusten durch Lüftung, bedingt. Die geringen Transmissionswärmeverluste werden durch hohe Dämmstärken und hochwertige Fensterkonstruktionen und den daraus resultierenden niedrigen U-Werten der Außenbauteile erzielt und die Installation einer Abluftwärmerückgewinnung verringert die Lüftungswärmeverluste. Für den durchzuführenden Vergleich zwischen Simulation und Messung ist aus diesen Gründen das Nutzerverhalten möglichst realitätsgetreu und genau zu erfassen. Dabei ist vor allem von Interesse in welcher Höhe und in welcher zeitlichen Abfolge vom Nutzer verursachte Wärmeströme auftreten.

In Zusammenarbeit mit IFZ und AEE-INTEC wurde in 53 Wohnungen diverser Niedrigenergie- bzw. Passivhaussiedlungen im Zuge dieses Projektes eine Befragung der Bewohner durchgeführt. Diese Befragung beinhaltete einerseits sozialwissenschaftliche Fragestellungen (siehe Kapitel 7) sowie thermisch relevante Fragestellungen (siehe Kapitel 3).

Die in dieser Befragung erstellten Fragebögen (Abbildung 3-5 - Abbildung 3-7) wurden für die Vergleichsgebäude in Egg und in Hörbranz detaillierter ausgearbeitet um nähere, für den Simulationsvergleich relevanten Daten zu erhalten. Die Fragestellungen beziehen sich auf das Lüftungsverhalten, auf die Jalousienutzung und auf die Aufenthaltszeiten der Bewohner in der Wohnung (Belegungsprofil). Weiters werden Fragen über die Temperaturregelung in den verschiedenen Räumen der Wohnungen und zum Bade-, Dusch und Waschverhalten der Bewohner gestellt. Die Befragungen wurden als Interview unter Zuhilfenahme eines Fragebogens durchgeführt.

Nach Auswertung der erhaltenen Befragungsdaten wurden diese dann mit den Messdaten aus dem CEPHEUS (2001) Projekt verglichen bzw. ergänzt um Nutzungsprofile (Eingabedatensätze) für die Simulation zu erstellen. Die auf diese Weise ermittelten Nutzungsprofile der Vergleichsgebäude werden den entsprechenden in Österreich gängigen Normen gegenüber gestellt.

Die Fragebögen sind zur Identifizierung jeweils mit einer Nummer versehen. Den Fragebögen der Haushalte in den zwei Vergleichsgebäuden wurden die Nummern 51, 52 und 53 und denen in Egg die Nummern 54, 55, 56 und 57 zugewiesen. In einer der Wohnungen in Egg konnte keine Befragung durchgeführt werden. Die Zuteilung der Fragebogennummern zu einzelnen Wohnungen und die detaillierten Ergebnisse der Befragung können aus Gründen des Datenschutzes in diesem Bericht nur selektiv und auszugsweise wiedergegeben werden.

Ermittelte Belegungsprofile

Die Datengrundlage zur Ermittlung der Belegungsprofile bildet die Frage 17 des Fragebogens (siehe Kap. 3). Angaben über längere Abwesenheitszeiten bzw. Zeiten mit außergewöhnlicher Belegung während des Simulationszeitraumes waren zum Zeitpunkt der Befragung nicht ermittelbar. Da aus dem Fragebogen Nummer 57 keine Daten vorliegen, wurde auf eine Darstellung dieses Fragebogens verzichtet. Um die Vergleichbarkeit der ermittelten Belegungszahlen mit Belegungszahlen anderer Gebäude zu gewährleisten sind sämtliche Werte auf die jeweilige Wohnfläche bezogen (d.h. spez. Belegungsprofil). Für die Erstellung dieser spezifischen Belegungsprofile (Tabelle 2-4) wurden die entsprechenden Angaben über Wohnungsgrößen aus den Bauplänen herangezogen.

Tabelle 2-4: Anzahl der anwesenden Personen bezogen auf 1m² Wohnfläche in Hörbranz und Egg

Anwesende Personen auf 1m ² Wohnnutzfläche bezogen																					
Stunde des Tages	Hörbranz												Egg								
	Montag bis Mittwoch			Donnerstag, Freitag			Samstag			Sonntag			Montag bis Freitag			Samstag			Sonntag		
	Fragebogen Nr.			Fragebogen Nr.			Fragebogen Nr.			Fragebogen Nr.			Fragebogen Nr.			Fragebogen Nr.			Fragebogen Nr.		
	51	52	53	51	52	53	51	52	53	51	52	53	54	55	56	54	55	56	54	55	56
1	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.000	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
2	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.000	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
3	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.000	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
4	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.014	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
5	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.014	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
6	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.014	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
7	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.014	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
8	0.017	0.025	0.008	0.017	0.025	0.008	0.025	0.033	0.025	0.034	0.033	0.034	0.013	0.014	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
9	0.008	0.016	0.000	0.000	0.016	0.000	0.025	0.033	0.017	0.034	0.033	0.034	0.000	0.014	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
10	0.008	0.016	0.000	0.000	0.016	0.000	0.025	0.033	0.017	0.034	0.033	0.034	0.000	0.014	0.000	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.000
11	0.008	0.016	0.000	0.000	0.016	0.000	0.025	0.033	0.017	0.034	0.033	0.034	0.000	0.014	0.000	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.000
12	0.008	0.016	0.000	0.000	0.016	0.000	0.025	0.033	0.017	0.034	0.033	0.017	0.000	0.014	0.000	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.000
13	0.017	0.025	0.000	0.008	0.025	0.000	0.025	0.033	0.017	0.034	0.033	0.017	0.000	0.014	0.000	0.013	0.028	0.000	0.013	0.028	0.000
14	0.025	0.025	0.017	0.008	0.025	0.017	0.025	0.033	0.034	0.034	0.033	0.017	0.000	0.014	0.000	0.013	0.028	0.000	0.013	0.028	0.000
15	0.025	0.025	0.017	0.008	0.025	0.017	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.017	0.000	0.014	0.000	0.013	0.028	0.000	0.013	0.028	0.000
16	0.025	0.025	0.017	0.025	0.025	0.017	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.017	0.000	0.000	0.000	0.013	0.028	0.000	0.013	0.028	0.000
17	0.025	0.025	0.017	0.025	0.025	0.017	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.017	0.000	0.000	0.000	0.013	0.028	0.000	0.013	0.028	0.000
18	0.025	0.025	0.042	0.025	0.025	0.042	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.017	0.000	0.000	0.000	0.013	0.028	0.000	0.013	0.028	0.000
19	0.034	0.033	0.042	0.025	0.033	0.042	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.017	0.013	0.000	0.000	0.013	0.028	0.000	0.013	0.028	0.000
20	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.017	0.013	0.000	0.000	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.000
21	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.000	0.000	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.000
22	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.000	0.000	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.000
23	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.000	0.014	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028
24	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.034	0.033	0.034	0.013	0.000	0.028	0.013	0.028	0.028	0.013	0.028	0.028

Aussagen zur Raumtemperaturregelung

Die Fragen 6 bis 10 des Fragebogens behandeln das Thema Temperaturregelung in der kalten Jahreszeit. In Tabelle 2-5 bis Tabelle 2-9 sind einige Antworten auf die diesbezüglichen Fragestellungen auszugsweise zusammengefasst.

Tabelle 2-5: Maßnahmen zum Erreichen der gewünschten Raumtemperatur

Durch welche Maßnahmen erreichen Sie die von Ihnen gewünschte Raumtemperatur?							
mögliche Antworten:	Hörbranz Fragebogen Nr.			Egg Fragebogen Nr.			
	51	52	53	54	55	56	57
Einstellen des Heizkörperventils		J		J			
Einstellen des Raumtemperaturreglers				J	J	J	
Regelung der Lüftungsanlage	J		J		J	J	
Fensterlüftung	J	J	J			J	keine Angaben
...wenn ja, wie oft und warum	wenn es zu warm ist	bei zu viel Sonne	bei zu viel Sonne			nur im Schlafzimmer	
Anderes, nämlich							

Tabelle 2-6: Temperatur auf die die Heizung eingestellt wird

Auf welche durchschnittliche Raumtemperatur stellen Sie Ihre Heizung ein, damit Sie sich wohlfühlen? ca. ...°C							
mögliche Antworten:	Hörbranz Fragebogen Nr.			Egg Fragebogen Nr.			
	51	52	53	54	55	56	57
Temperatur [°C]	23	21	23	22	23	22	k.A.

Tabelle 2-7: Regelung der Heizung bei Abwesenheit der BewohnerInnen

Drehen Sie die Heizung zurück bzw. ab, wenn niemand zu Hause ist?							
mögliche Antworten:	Hörbranz Fragebogen Nr.			Egg Fragebogen Nr.			
	51	52	53	54	55	56	57
Ja					J		
Wenn ja, auf wieviel °C?							keine Angaben
Nein	J	J	J	J		J	

Tabelle 2-8: Absenkung der Heizung während der Nacht

Drehen Sie in der Nacht die Heizung zurück bzw. ab?							
mögliche Antworten:	Hörbranz Fragebogen Nr.			Egg Fragebogen Nr.			
	51	52	53	54	55	56	57
Ja		J	J		J	J	
Wenn ja, auf wieviel °C?		20	Lüftungsstufe				keine Angaben
Nein	J			J			

Tabelle 2-9: Geschätzte und gewünschte Raumtemperatur

Welche Raumtemperaturen haben Sie in der kalten Jahreszeit und welche hätten Sie gerne?																									
Hörbranz	Tag						Nacht						Egg	Tag						Nacht					
	geschätzt			gewünscht			geschätzt			gewünscht				geschätzt			gewünscht			geschätzt			gewünscht		
	Fragebogen Nr.						Fragebogen Nr.							Fragebogen Nr.						Fragebogen Nr.					
	51	52	53	51	52	53	51	52	53	51	52	53		54	55	56	54	55	56	54	55	56	54	55	56
Wohnzimmer	22	21	21	23	21	22	21	20	19	21	20	19	Wohnzimmer	22	23	22	22	23	22	20	18	18	20	18	18
Zimmer EG	21	21	20	21	21	22	20	20	19	20	20	19	Schlafzimmer	20	18	11	20	18	11	19	16	11	19	16	11
WC EG	22	21	20	22	21	20	21	20	19	21	20	19	Zimmer	22	18	22	22	18	22	20	16	18	20	16	18
Vorraum EG	22	21	21	22	21	22	21	20	19	21	20	19	Küche	22	23	22	22	23	22	20	18	18	20	18	18
Schlafzimmer	21	21	19	21	21	18	20	20	19	20	20	19	Bad/Wc	22	21	22	22	21	22	20	18	18	20	18	18
Zimmer 1OG	21	21	20	21	21	20	21	20	20	21	20	20	Nebenträume	22	18	22	22	18	22	20	16	18	20	16	18
Zimmer 2OG	24	21	20	24	21	20	18	20	20	18	20	20													
Bad OG	20	21	19	23	21	23	20	20	19	20	20	19													
Vorraum OG	22	21	21	22	21	21	22	20	19	22	20	19													

Warmwasser und Benützung der Jalousien

Die Angaben der BewohnerInnen bezüglich des Warmwasserverbrauchs werden für diese thermische Simulation nicht benötigt und werden hier deshalb nicht weiter ausgewertet. Die inneren Wärmegewinne durch das Warmwasser bzw. das Waschen mit der Waschmaschine werden in der thermischen Simulation durch den Stromverbrauch des Haushaltes, der als innere Wärme in die thermische Simulation eingeht, berücksichtigt. Die Auswertung des Verhaltens der BewohnerInnen bezüglich der Benützung der Jalousien wurde in der thermischen Simulation nicht berücksichtigt, da die Jalousien im Winter tagsüber in sehr geringem Ausmaß und äußerst unregelmäßig eingesetzt werden. Die Jalousien werden von den BewohnerInnen meist nur als nächtlicher Sichtschutz verwendet wobei diese Auswirkung auf die Wärmebilanz als vernachlässigbar erscheint.

Mechanische Lüftung und Fensterlüftung

In den Referenzgebäuden befinden sich Zu- und Abluftanlagen zur geregelten Versorgung mit Frischluft, trotzdem wird in den Wohnungen noch zusätzlich über die Fenster gelüftet. Die Daten über die maschinelle Lüftung liegen in Form von Messdaten vor. Die Erfassung der Daten über die Fensterlüftung sind schwer zu erfassen, da es für die NutzerInnen schwierig ist, das eigene Verhalten in Bezug auf den Zeitpunkt, die Dauer und Art (gekippt oder halb bzw. voll geöffnet) des Öffnens der Fenster genau zu beschreiben. Andererseits ist es problematisch die Luftmenge, die bei der Fensterlüftung in die Wohnung strömt, ohne genaue Kenntnis der Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung zu berechnen. Da Messungen über die Benutzung der Fenster (Zeitpunkt, Dauer und Art der Fensterlüftung) und über die Luftgeschwindigkeiten in der Fensteröffnung sehr aufwendig und kostenintensiv sind konnten diese Messungen bei den Referenzgebäuden nicht durchgeführt werden. Aus diesem Grund musste eine Möglichkeit gefunden werden mit den Befragungsdaten und durch Unterstützung von Erfahrungswerten und Literaturzitate ein Lüftungsprofil erstellen zu können. Sehr hilfreich war dabei, dass die Bewohner der beiden Vergleichsgebäude mit der kontrollierten Lüftung zufrieden waren und daher die Möglichkeit der Fensterlüftung in nur einem sehr bescheidenen Ausmaß einsetzen

Die Ausgangsbasis für die Annahme der Luftwechselraten waren die Angaben der NutzerInnen über ihr Fenster- Lüftungsverhalten. Folgenden Daten standen aus den Fragebögen zur Verfügung: die Anzahl der geöffneten Fenster, die Dauer der Fensterlüftung, die Tageszeit (Stunde des Tages) zu der gelüftet wird, die Art der Fensteröffnung (gekippt, halb und voll geöffnet) und ob bei der Fensterlüftung ein Durchzug entsteht. Die Raumvolumina und die Querschnittsflächen der Fensteröffnungen waren aus den entsprechenden Bauplänen und durch Vorortmessungen festzustellen. Aufgrund des Datenmaterials wurde eine Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung von $G = 0,15$ m/s gewählt, damit die mit ihnen berechneten Luftwechselzahlen in den Bereich veröffentlichter Werte fallen. Diese Werte für den Luftwechsel durch Fensterlüftung stimmen gut mit dem Endbericht „Wissenschaftliche Begleitung zur Sicherung der energetischen Optimierung für das Projekt Solarsiedlung Plabutsch“ von Lari (2001) und den Werten nach Sagelsdorff, (1982) sowie den vorgeschlagenen Luftwechselzahlen aus der VDI 2067 Blatt 2 überein. Eine diesbezügliche Gegenüberstellung ist in Tabelle 2-10 dargestellt.

Tabelle 2-10: Luftwechselraten in Abhängigkeit von der Fenster- bzw. Türstellung

	Fenster- bzw. Türstellung	Luftwechsel [1/h]
angenommener Luftwechsel	Eine Tür gekippt	0,9
	Eine Tür halb geöffnet	1,8
	Eine Tür voll geöffnet	3,6
	Zwei Türen voll geöffnet mit Durchzug	29
laut (LARI 2001)	Zwei Türen kipp	1
	Zwei Türen offen	15
	Vier Türen kipp	2
laut (SAGELSDORFF 1982)	Fenster gekippt	0,8 bis 4,0
	Fenster halb offen	5 bis 10
	Fenster ganz offen	9 bis 15
	Gegenüberliegende Fenster offen	40 und mehr
laut (VDI 2067)	Fenster gekippt, ohne Querlüftung	0,3 bis 1,5
	Fenster gekippt, mit Querlüftung	0,8 bis 2,5
	Fenster halb geöffnet	2,5 bis 4,0
	Fenster voll geöffnet	9,0 bis 10,0
	Fenster oder Fenstertüren mit Durchzug voll geöffnet	über 20

In Tabelle 2-11 bis Tabelle 2-14 sind die nach dem oben beschriebenen Schema ermittelten Stundenwerte der Luftwechselraten für das Gebäude in Hörbranz und in Egg zu sehen

Tabelle 2-11: Luftwechselraten aufgrund von Fensterlüftung des Gebäudes in Hörbranz von Montag bis Mittwoch

Hörbranz - Montag bis Mittwoch																								
Nr.	Stunde des Tages																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0.38	0.38	0.38	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0.09	0.09	0	0	0	0.07	0.07	0.07	0.07	0	0	0	0	0	0

Tabelle 2-12: Luftwechselraten aufgrund von Fensterlüftung des Gebäudes in Hörbranz, Donnerstag und Freitag

Hörbranz - Donnerstag und Freitag																								
Nr.	Stunde des Tages																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0.38	0.38	0.38	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0	0	0	0	0	0

Tabelle 2-13: Luftwechselraten aufgrund von Fensterlüftung des Gebäudes in Hörbranz, Samstag und Sonntag

Hörbranz - Samstag und Sonntag																								
Nr.	Stunde des Tages																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0.38	0.38	0.38	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0.09	0.09	0.09	0.14	0.14	0.14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabelle 2-14: Luftwechselraten aufgrund von Fensterlüftung des Gebäudes in Egg, Montag bis Sonntag

Egg - Montag bis Sonntag																								
Nr.	Stunde des Tages																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
55	0	0	0	0	0	0	0.32	0.32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
54	0	0	0	0	0	0	0.51	0.51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.3.2 Vergleich der Normen untereinander und mit dem erhobenen Nutzerverhalten

In verschiedenen Normen werden Richtwerte für die Raumtemperatur, den Mindest-Außenluftvolumenstrom, die Raumluftfeuchtigkeit und für innere Wärmequellen angegeben. In den folgenden Abschnitten werden die Angaben verschiedener Normen einerseits untereinander und andererseits mit den Messdaten der Gebäude in Hörbranz und Egg beziehungsweise den Ergebnissen der Befragungen der BewohnerInnen dieser Gebäude verglichen.

Raumtemperatur

Bei den Richtwerten für die Raumtemperatur wird unterschieden zwischen Werten die zur Berechnung des Heizwärmebedarfes (ÖNORM M 7500, ÖNORM B 8110-1) herangezogen werden und Werten die für die thermische Behaglichkeit nach ÖNORM H 6000 erforderlich sind. In Tabelle 2-15 ist ein Überblick über ausgewählte Werte der einzelnen Normen zu sehen. Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass die Werte in den verschiedenen Normen auf unterschiedliche Weise dargestellt sind. Daher sind etwa die Werte der ÖNORM H 6000 beispielhaft aus dem entsprechenden Diagramm

entnommen. Die Tabelle 2-16 zeigt die Maximal-, Mittel- und Minimalwerte der gemessenen Raumtemperaturen der Wohnungen in Hörbranz und in Egg im Zeitraum vom 01.11.2001 bis zum 28.02.2002.

Es ist zu erkennen, dass die Temperaturwerte für die Berechnung des Heizwärmebedarfes für Aufenthalts- bzw. Wohnräume laut Norm meist 20°C betragen. Eine Ausnahme ist hier die ISO 7730, die eine Raumtemperatur von 22 ± 2°C vorschlägt. Der Mittelwert der gemessenen Raumtemperaturen aller Wohnungen der Gebäude in Hörbranz und in Egg im oben genannten Zeitraum ergibt 23,4°C und liegt somit deutlich über den Werten der ÖNORM M 7500 Teil 4 und ÖNORM B 8110-1. Der Minimalwert der gemessenen Temperatur in diesem Zeitraum beträgt 19,5°C und der Maximalwert 31°C.

Tabelle 2-15: Überblick über die in verschiedenen Normen angegebenen Raumtemperaturen

Norm	Raumart	Temperatur	Bemerkungen
ÖNORM H 6000 Teil 3	Aufenthaltsräume (Räume, die als Arbeits- oder Wohnräume dienen)	18,5°C	Bei leichter manueller Arbeit im Sitzen (120 W Gesamtwärmeabgabe/Person), warme Kleidung (1,5 clo = 0,24 m²K/W), Luftgeschwindigkeit von 10 cm/s
ÖNORM H 6000 Teil 3	Aufenthaltsräume (Räume, die als Arbeits- oder Wohnräume dienen)	23°C	Bei geringer körperlicher Beanspruchung (100 W Gesamtwärmeabgabe/Person), mittlerer Kleidung (1 clo = 0,16 m²K/W), Luftgeschwindigkeit von 10 cm/s
ÖNORM M 7500 Teil 4	Wohn-, Schlafräume sowie Büroräume	20°C	-
	Bäder	24°C	-
ÖNORM B 8110-1	Aufenthaltsräume	20°C	Temperatur für die Berechnung des Heizwärmebedarfes
VDI 2067 Blatt 2	Wohnräume	20°C	Norm-Innentemperatur zur Berechnung des Jahres-Heizwärmeverbrauches; in den Faktoren für die Regelungstechnische Ausstattung und Fremdwärmenutzung ist eine Erhöhung der Raumlufttemperatur um 1 bis 2 K gegenüber den angenommenen Sollwerten berücksichtigt.
ISO 7730	Aufenthaltsräume	22 ± 2°C	für leichte, hauptsächlich sitzende Aktivität während der Heizsaison

Tabelle 2-16: gemessene Raumtemperaturen der Wohnungen in Egg und in Hörbranz

gemessene Raumtemperaturen im Zeitraum von 01.11.2001 bis 28.02.2002								
[°C]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	25.4	31.0	26.4	28.5	27.0	26.8	27.1	31.0
Mittelwert	21.9	23.1	22.9	24.3	24.2	23.6	23.8	23.4
Minimum	19.5	21.1	20.9	22.9	22.6	20.4	21.7	19.5

Mindest – Außenluftvolumenstrom

In Tabelle 2-17 ist ein Vergleich der in den Normen angegebenen Mindest – Außenluftvolumenströme zu sehen. Die Luftwechselzahlen der vermessenen Passivhäuser, die in Tabelle 2-18 angeführt sind, werden aus den Messdaten von der über die Lüftungsanlage eingeblasenen Luftmenge und dem entsprechenden Volumen der jeweiligen Wohnung berechnet. Bei den angegebenen Werten ist die Fensterlüftung nicht mitberücksichtigt. Der Anteil der Fensterlüftung an dem gesamten Luftwechsel

ist nach den Ergebnissen aus der Befragung der BewohnerInnen nur gering. Für das Haus 1 in Hörbranz liegen keine Messdaten über die eingeblasenen Luftmengen vor.

Tabelle 2-17: Vergleich der Werte für Mindest-Außenluftvolumenströme verschiedener Normen

Norm	Personenbezogener Mindest – Außenluft- Volumenstrom	Bemerkungen
ÖNORM H 6000 Teil 3	20 m ³ /h	In Räumen mit Rauchverbot und geringer körperlicher Beanspruchung (100 W Gesamtwärmeabgabe/Person); für Räume mit Raucherlaubnis ist der Wert mindestens um den Faktor 1,5 zu erhöhen, es wird jedoch empfohlen den Wert wesentlich zu erhöhen (Faktor 6) um annähernd gleiche hygienische Verhältnisse wie bei Räumen mit Rauchverbot zu erreichen
ÖNORM H 6000 Teil 3	30 m ³ /h	In Räumen mit Rauchverbot und bei leichter manueller Arbeit im Sitzen (120 W Gesamtwärmeabgabe/Person)
ÖNORM B 8110 Teil 1	0,4-facher Luftwechsel je Stunde oder 30 m ³ /(h.Person), sofern dies zu einem höheren Luftwechsel führt (bezogen auf Außenabmessungen)	Rechenwerte für wohnhygienische Lüftung, wenn keine genaueren Werte zur Verfügung stehen
	30 m ³ /(h.Person)	arbeitshygienische Lüftung
ÖNORM B 8135	Außenluftwechsel bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$	Ein- und Mehrfamilienwohnhäuser mit großzügigem Raumangebot
ÖNORM B 8135	Außenluftwechsel bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$	Sozialer Wohnbau
EN 832	Mindest - Luftwechselrate bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n_{\min} = 0,5 \text{ h}^{-1}$	empfohlener Wert, wenn keine nationalen Angaben vorliegen
VDI 2067 Blatt 2	erforderlicher stündlicher Luftwechsel bezogen auf das Netto-Raumvolumen $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ bis $1,0 \text{ h}^{-1}$	aus hygienischer und physiologischer Sicht erforderlicher stündlicher Luftwechsel in genutzten Räumen während der Heizperiode

Die Werte für den Luftwechsel liegen laut der in Tabelle 2-17 angeführten Normen zwischen 0,4 h⁻¹ und 1,0 h⁻¹. Aus den Messdaten der beiden Gebäude in Egg und Hörbranz ergeben sich durchschnittliche Luftwechselraten der einzelnen Wohnungen zwischen 0,46 h⁻¹ und 0,83 h⁻¹. Es ist zu erkennen, dass die Luftwechselzahlen dieser Normen in etwa denen der betrachteten Gebäude entsprechen.

Tabelle 2-18: Luftwechselraten aus den Messdaten der Gebäude in Hörbranz und Egg berechnet

Luftwechselzahlen der Lüftungsanlage im Zeitraum von 01.11.2001 bis 28.02.2002								
[1/h]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	-	0.75	0.59	1.06	0.74	0.97	0.97	1.06
Mittelwert	-	0.55	0.46	0.83	0.52	0.66	0.61	0.61
Minimum	-	0.09	0.05	0.52	0.52	0.47	0.47	0.05

Raumlufffeuchtigkeit

In Tabelle 2-19 sind Werte für die Raumlufffeuchtigkeit aus ÖNORM H 6000 Teil 3 ersichtlich. Die anderen oben beschriebenen Normen enthalten keine Werte für die Raumlufffeuchtigkeit. Die Auswertung der Messwerte der Raumlufffeuchtigkeit der Gebäude in Hörbranz und Egg sind in Tabelle 2-20 dargestellt. Aus dem Vergleich der Messwerte mit den vorgeschlagenen Werten der ÖNORM H 6000 Teil 3 ist zu sehen, dass die tatsächliche Raumlufffeuchtigkeit in den Wohnungen mit einem Durchschnittswert von 28,3 % r.F. deutlich unter dem Normwert liegt.

Tabelle 2-19: Werte für die Raumlufffeuchtigkeit aus ÖNORM H 6000 Teil 3

Norm	relative Luftfeuchtigkeit [%]		Bemerkungen
	untere Grenze	obere Grenze	
ÖNORM H 6000 Teil 3	35	65	für Lüftungstechnische Anlagen mit Feuchtigkeitsregelung

Tabelle 2-20: Messwerte der Raumlufffeuchtigkeit im Zeitraum vom 01.11.2001 bis 28.02.2002

gemessene Raumlufffeuchtigkeit im Zeitraum von 01.11.2001 bis 28.02.2002								
[% r.F.]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	50.9	46.4	50.2	42.2	38.5	40.8	34.9	50.9
Mittelwert	35.9	30.6	32.6	23.8	26.2	25.7	23.1	28.3
Minimum	21.4	18.1	21.8	12.5	16.2	15.3	13.6	12.5

Innere Wärmen

Tabelle 2-21 zeigt eine Übersicht der Rechenwerte für innere Wärmen verschiedener Normen. Dabei entsprechen die 38 kWh/m²a innerer Wärmegewinn durch Personen und Geräte (VDI 2067 Blatt 2) eine mittlere Jahresdauerleistung (8760 Stunden pro Jahr) von 4,34 W/m². In Tabelle 2-22 ist die Auswertung der Messdaten des Haushaltsstromverbrauches der Wohnungen in Hörbranz und Egg dargestellt.

Tabelle 2-23 und Tabelle 2-24 zeigen den aus den Daten über die Anwesenheitszeiten der BewohnerInnen berechneten inneren Wärmegewinn mit einer Wärmeabgabe von 90 W/Person. Die Wärmegewinne sind auf 1 m² Nettowohnfläche bezogen. Bei einem Vergleich der Normwerte für die Innenwärme, verursacht durch Beleuchtung und Haushaltsgeräte, mit den mittleren Messwerten des Haushaltsstromverbrauches ist zu erkennen, dass sie dieselbe Größenordnung aufweisen. Allerdings weichen die kurzzeitig auftretenden Maximalwerte stark von diesem Mittelwert ab. Zählt man zu dem Mittelwert des gemessenen Haushaltsstromverbrauches die durchschnittliche Innenwärme, verursacht durch anwesende Personen, dazu, erhält man einen Wert von 4,85 W/m², der ebenfalls in der Größenordnung des in der VDI 2067 Blatt 2 vorgeschlagenen Wertes von 38 kWh/m²a bzw. 4,34 W/m² liegt.

Tabelle 2-21: Normaussagen zur Annahme von Innenwärmen

Norm	Rechenwert	Bemerkungen
ÖNORM B 8110 Teil 1	3 W/m ² Bruttogeschossfläche	Beleuchtung und Haushaltsgeräte
	5 W/m ² Bruttogeschossfläche	Bürobeleuchtung und Bürogeräte
	90 W/Person	Personenwärme
VDI 2067 Blatt 2	38 kWh/m ² a	Innerer Wärmegewinn durch Personen und Geräte – für Wohnungen
	51 kWh/m ² a	Innerer Wärmegewinn durch Personen und Geräte – für Büros
	40 kWh/m ² a	Innerer Wärmegewinn durch Personen und Geräte – für sonstige Gebäude

Tabelle 2-22: gemessener Haushaltstromverbrauch der Gebäude in Egg und Hörbranz

gemessener Haushaltsstromverbrauch im Zeitraum von 01.11.2001 bis 28.02.2002								
[W/m ²]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	46.69	36.46	30.93	37.69	20.91	28.59	22.63	46.69
Mittelwert	5.11	3.07	3.49	3.71	2.10	2.35	1.92	3.11
Minimum	0.36	0.08	0.35	1.81	0.94	0.28	0.45	0.08

Tabelle 2-23: Innenwärmen durch anwesende Personen der Gebäude in Hörbranz und Egg (90 W je Person)

innerer Wärmegewinn durch anwesende Personen bezogen auf 1m ² Wohnfläche (90W je Person)								
[W/m ²]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	3.77	2.96	3.02	2.49	2.49	-	1.15	3.77
Mittelwert	2.24	2.63	2.42	1.16	1.20	-	0.81	1.74
Minimum	0.00	1.48	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00

Tabelle 2-24: Innenwärmen durch anwesende Personen der Gebäude in Hörbranz und Egg (120 W je Person)

innerer Wärmegewinn durch anwesende Personen bezogen auf 1m ² Wohnfläche (120W je Person)								
[W/m ²]	Hörbranz			Egg				alle Wohnungen
	Nr. 53	Nr. 52	Nr. 51	Nr. 55	Nr. 56	Nr. 57	Nr. 54	
Maximum	5.03	3.95	4.02	3.33	3.33	-	1.53	5.03
Mittelwert	2.98	3.51	3.23	1.54	1.59	-	1.07	2.32
Minimum	0.00	1.97	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00

Wesentlich bei diesem Vergleich ist zu sehen, dass die erhaltenen Mess- und Befragungswerte in Bezug auf ihre Größenordnung eingeordnet werden sollen. Bei genauerer Betrachtung der Nutzungsbedingten Wärmeströme sind zu den Wärmegewinnen auch die Wärmeverluste zu bilanzieren (Warmwasser in den Kanal, Elektrogeräte außerhalb der beheizten Zone etc.). Weiters bleibt zu klären in welcher Form die sensible Wärmeabgabe des Menschen in die Bewertungen mit einfließt. Siehe dazu das Kapitel „Analysen zum Nutzerverhalten“.

2.3.3 Modellierung der Gebäude

Die zu untersuchenden Vergleichsgebäude sind als Aufbereitung für die simulationstechnische Bearbeitung in thermische Zonen zu unterteilen. Es wird dabei von der Annahme ausgegangen, dass in allen Räumen innerhalb einer Zone die gleichen Temperaturen und die gleichen Nutzungsbedingungen herrschen. Die thermischen Zonen werden dann in Bezug auf ihre Geometrie und ihre thermischen Eigenschaften ausgewertet und in das Simulationsprogramm (TRNSYS, 2000) eingegeben. Das vorliegende Kapitel zeigt eine Zusammenfassung der wesentlichen das Gebäude beschreibenden Parameter.

Zonierung des Gebäudes in Hörbranz

In Abbildung 2-13 ist die Aufteilung des Reihenhauses in Hörbranz in thermische Zonen ersichtlich. Die Zonen eins bis drei stellen die Räume im Erdgeschoss der einzelnen Reihenhauswohnungen dar, die Zone vier entspricht dem über alle Geschosse offenen Windfang. Die Zonen fünf bis sieben stimmen mit den jeweiligen Obergeschossen der einzelnen Wohnungen überein und Zone acht entspricht dem Kellergeschoss.

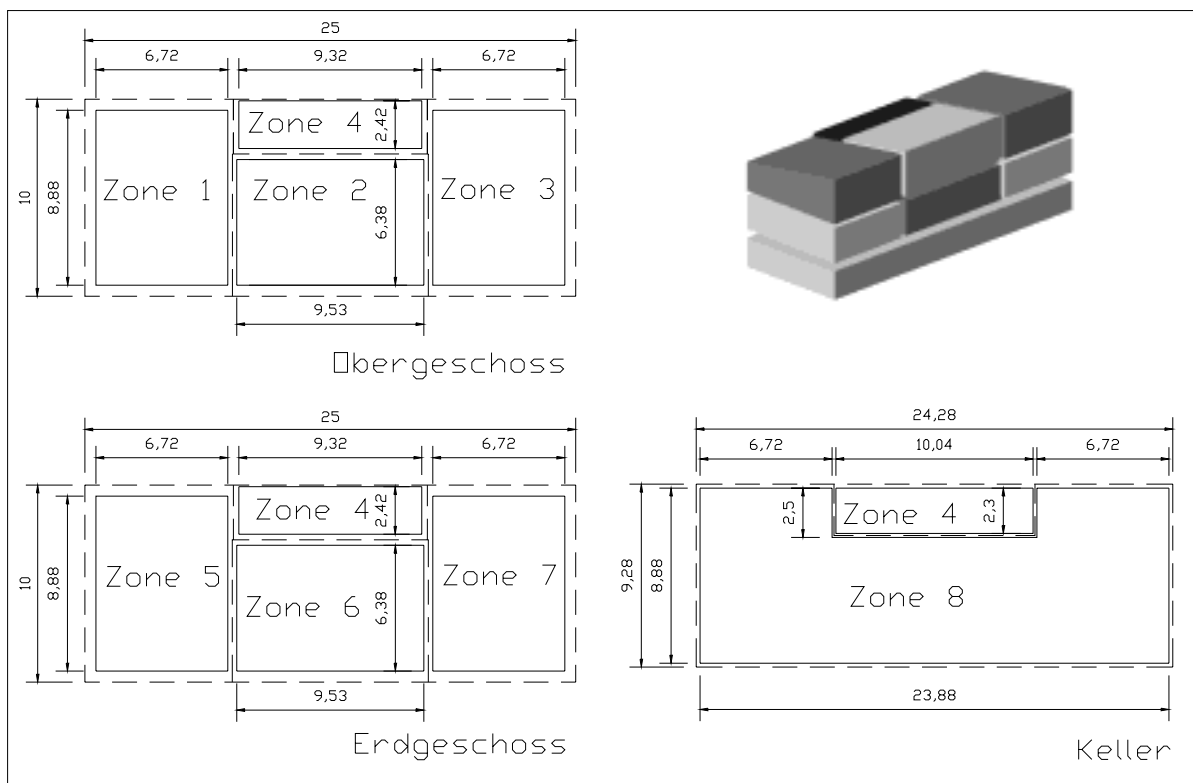


Abbildung 2-13: Darstellung der Brutto- und Nettoflächen des Gebäudes in Hörbranz (Längen in m). Die Umgrenzung der Bruttoflächen ist als strichlierte Linie und die der Nettoflächen als kontinuierliche Linie dargestellt

Zonierung des Gebäudes in Egg

In Abbildung 2-14 ist die Aufteilung des Gebäudes in Zonen dargestellt. Die Zone eins entspricht dem Teil des Dachbodens in dem sich die Abstellräume für die Wohnungen befinden, die Zone drei entspricht dem Dachbodenraum in dem sich die Haustechnik befindet. Die Zone zwei stellt das Stiegenhaus dar und die Zonen vier, fünf und sechs entsprechen den Räumen der Wohnungen, die Zone sieben stellt eine Wohnung im Erdgeschoss ohne das Schlafzimmer dar. Das Schlafzimmer wird als eigene Zone (Zone 8) ausgebildet (erhöhter Detaillierungsgrad für nähere Untersuchungen).

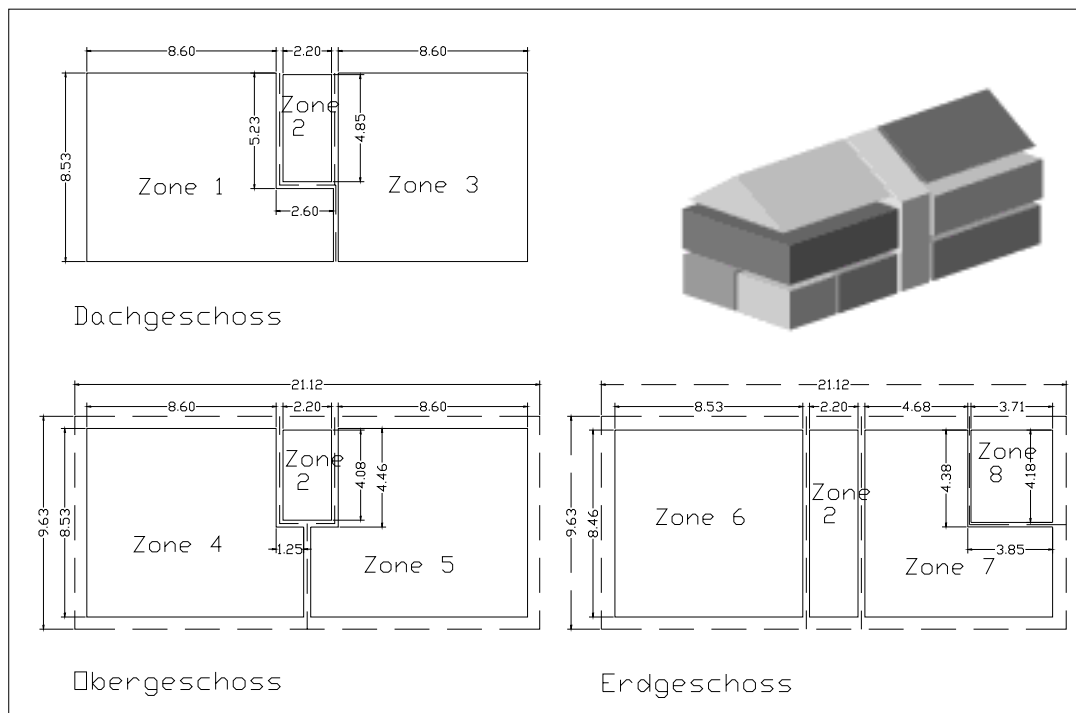


Abbildung 2-14: Darstellung der Brutto- und Nettoflächen des Gebäudes in Egg

Geometrische Auswertung des Simulationsmodelle

Die geometrische Auswertung beinhaltet die Netto- und Bruttoflächen der Zonenbegrenzungen und die Netto- und Bruttovolumen der einzelnen Zonen. Das Nettovolumen ist das Volumen der Innenräume ohne Berücksichtigung des Volumens der die Zonen begrenzenden Wände. Das Bruttovolumen setzt sich aus dem Nettovolumen und dem Volumen der Zonenbegrenzungswände zusammen.

Tabelle 2-25: geometrische Auswertung der Modelle von Hörbranz und Egg

	Volumen [m³]	Zonenbegrenzungsflächen [m²]						Volumen [m³]	Zonenbegrenzungsflächen [m²]						
		Deck	Grund	Nord	Süd	Ost	West		Deck	Grund	Nord	Süd	Ost	West	
Hörbranz netto								Egg netto							
Zone 1	154.26	60.12	59.67	13.71	21.03	22.95	22.95	86.37	97.68	81.94	39.52	51.32	9.55	9.55	
Zone 2	165.25	60.87	60.42	22.30	29.83	17.45	17.45	87.26	10.69	18.44	-	-	-	-	
Zone 3	154.26	60.12	59.67	13.71	21.03	22.95	22.95	79.59	87.57	73.36	39.52	39.52	9.55	9.55	
Zone 4	170.64	23.47	23.09	68.86	71.75	17.75	17.75	184.38	78.45	78.45	20.21	23.15	20.05	20.05	
Zone 5	143.22	59.67	59.67	16.13	16.13	21.31	21.31	184.38	78.45	78.45	20.21	23.15	20.05	20.05	
Zone 6	145.92	60.80	60.80	22.87	22.87	15.31	15.31	168.14	72.16	72.16	19.87	19.87	19.71	19.71	
Zone 7	143.22	59.67	59.67	16.13	16.13	21.31	21.31	128.85	55.30	55.30	10.90	19.87	9.51	19.71	
Zone 8	-	-	-	-	-	-	-	36.13	15.51	15.51	8.64	8.64	9.74	9.74	
Hörbranz brutto								Egg brutto							
Zone 1	235.00	73.35	72.80	19.53	27.47	32.28	32.28	122.63	118.39	99.29	53.51	65.97	14.64	14.64	
Zone 2	242.18	72.27	71.69	29.79	37.67	24.25	24.25	119.60	24.17	24.17	-	-	-	-	
Zone 3	235.00	73.35	72.80	19.53	27.47	32.28	32.28	134.99	105.89	88.81	53.51	53.21	14.64	14.64	
Zone 4	218.86	27.67	25.60	79.85	79.85	22.18	22.18	270.78	95.01	95.01	30.10	30.10	27.27	27.27	
Zone 5	205.77	72.80	72.80	20.58	20.58	28.27	28.27	270.78	95.01	95.01	30.10	30.10	27.27	27.27	
Zone 6	203.77	72.09	72.09	28.22	28.22	20.41	20.41	272.25	87.21	87.26	28.69	28.69	29.61	29.61	
Zone 7	205.77	72.80	72.80	20.58	20.58	28.27	28.27	208.68	66.83	66.89	28.69	28.69	29.61	29.61	
Zone 8	-	-	-	-	-	-	-	63.57	20.38	20.38	13.37	13.37	14.84	14.84	

Strahlungsangebot auf die Gebäudeaußenflächen

Das solare Strahlungsangebot auf die Gebäudeaußenflächen ist von verschiedenen Einflussgrößen abhängig. Diese Einflussgrößen sind die Globalstrahlung und die Diffusstrahlung, die für die Simulation verwendet werden, die Himmelsrichtung (Azimut) und die Neigungswinkel der Flächennormalen, sowie die durch die Gebäudegeometrie verursachte Eigenverschattung (siehe Abbildung 2-15). Eine Fremdverschattung wird in dieser Simulation nicht berücksichtigt, weil sie bei den untersuchten Gebäuden nur im sehr kleinen Rahmen auftritt.

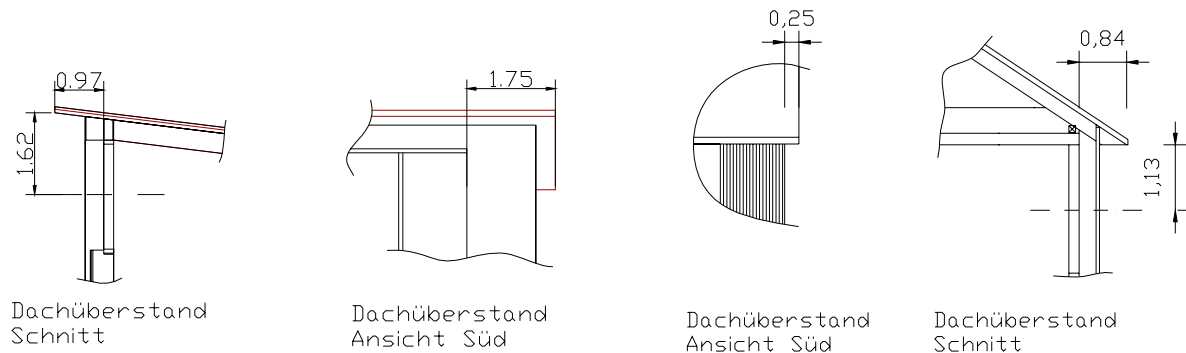
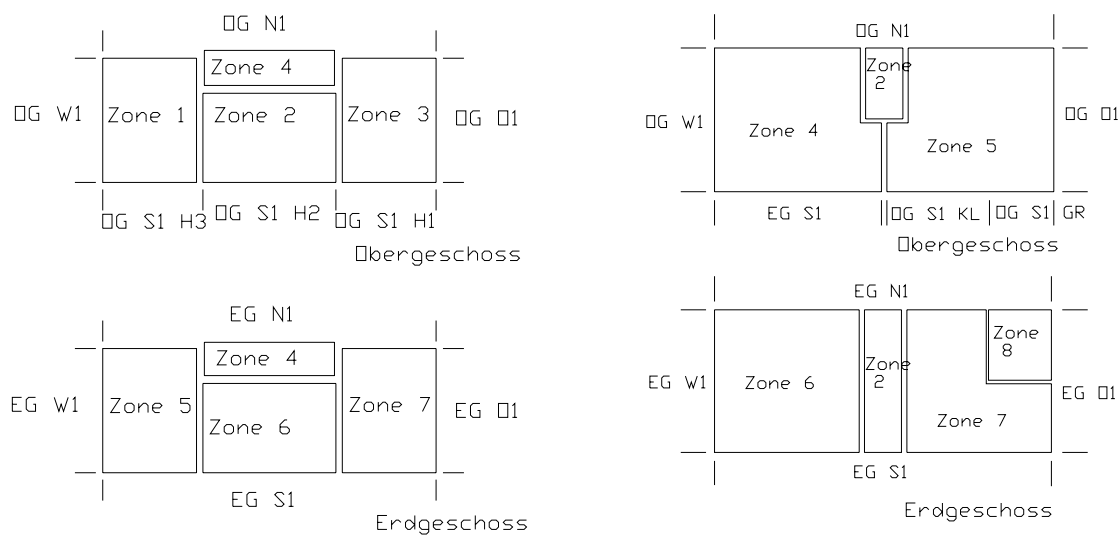


Abbildung 2-15: Geometrie der Dachvorsprünge des Gebäudes in Hörbranz

Es wird jeder Außenfläche der beiden Gebäude ein Strahlungstyp und damit ein bestimmter Strahlungsverlauf zugeordnet. Die Zuordnungen der wesentlichen Strahlungstypen zu den entsprechenden Außenflächen ist in Abbildung 2-16 ersichtlich.



Azimut OG S1 H (1-3): 352
 Azimut OG (EG) W1: 81
 Azimut OG (EG) O1: 261
 Azimut OG (EG) N1: 171

Azimut OG (EG) S1: 39
 Azimut OG (EG) W1: 129
 Azimut OG (EG) O1: 309
 Azimut OG (EG) N1: 219

Abbildung 2-16: Zuordnung der Einstrahlungstypen auf das Erd- und Obergeschoss der Gebäude. Es wurde folgende Azimutdefinition verwendet: 0 = in Richtung Äquator, 90 = West, 270 = Ost, 180 = Nord.

Konstruktionsaufbauten

In diesem Teil werden die Konstruktionsaufbauten der Wände, Decken bzw. Böden und der Dächer der beiden Modelle beschrieben (Tabelle 2-26 bis Tabelle 2-28). Baustoffschichten unter einer Dicke von 0,001 m werden in der wärmetechnischen Betrachtung nicht berücksichtigt. Die Aufbauten von Skelettkonstruktionen können nicht als homogen angesehen werden. Eine in Skelettbauweise errichtete Wand ist in zwei unterschiedliche Querschnitte zu unterteilen. Einen Ausfachungsaufbau (Endung des Kurznamens auf „f“) und einen Konstruktionsaufbau (Endung des Kurznamens auf „k“). Die dargestellten Werte sind mit einem inneren Wärmeübergangskoeffizienten $\alpha_i = 11 \text{ kJ}/(\text{hm}^2\text{K})$ und einem äußeren Wärmeübergangskoeffizient $\alpha_a = 64 \text{ kJ}/(\text{hm}^2\text{K})$ berechnet. Die in der Farbe „rot“ ausgeführten Werte sind gemäß der DIN (Fischer 1997), die in der Farbe „blau“ ausgeführten Werte sind Produktinformationen und Messberichten entnommen und die in der Farbe „grün“ ausgeführten Werte stammen aus der Baustoffsammlung der Fakultät für Architektur der TU München (wdb TU München).

Tabelle 2-26: Konstruktionsaufbauten des Gebäudes in Hörbranz - Teil 1

Konstruktionsaufbauten in Hörbranz						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m ³]	[W/(mK)]	[kJ/(kgK)]	[W/(m ² K)]
Dach <i>DAf</i>	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,092
	Luftschicht	0,030	-	-	-	
	OSB-Platte	0,022	630	0,130	2,10	
	Zellulose	0,402	60	0,045	2,20	
	OSB-Platte	0,022	630	0,130	2,10	
Dach <i>DAk</i>	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,283
	Lattung	0,030	600	0,130	2,10	
	OSB-Platte	0,022	630	0,130	2,10	
	TJI - Träger	0,402	800	0,150	2,10	
	OSB-Platte	0,022	630	0,130	2,10	
Außenwand <i>AW1</i>	Kalkzementmörtel	0,020	1800	0,870	1,00	0,137
	Ziegelmauerwerk	0,180	1107	0,390	1,00	
	Korkplatte	0,350	180	0,052	2,10	
	Kalkzementmörtel	0,010	1800	0,870	1,00	
Außenwand Fassadenkollektoren <i>AWFK</i>	Kalkzementmörtel	0,020	1800	0,870	1,00	0,107
	Ziegelmauerwerk	0,180	1107	0,390	1,00	
	OSB-Platte	0,011	630	0,130	2,10	
	Zellulose	0,302	60	0,045	2,20	
	OSB-Platte	0,016	630	0,130	2,10	
Steinwolle	0,030	40	0,033	1,00		
Kelleraußenw. <i>KAW</i>	Stahlbetonplatte	0,200	2400	2,100	1,00	3,770
Kellerboden <i>KEB</i>	Stahlbetonplatte	0,200	2400	2,100	1,00	3,460
	Magerbeton	0,050	2400	2,100	1,00	
Kellerdecke <i>KED</i>	Parkett	0,016	800	0,200	2,10	0,108
	Kork	0,003	180	0,052	2,10	
	OSB-Platte	0,020	630	0,130	2,10	
	Zellulose	0,350	60	0,045	2,20	
	Stahlbetondecke	0,180	2400	2,100	1,00	
Decke zwischen Erdgeschoss und Obergeschoss <i>DEO</i>	Parkett	0,016	800	0,200	2,10	1,189
	Kork	0,003	180	0,052	2,10	
	Estrich	0,070	2400	2,100	1,00	
	Trittschalldämmung	0,015	115	0,035	1,00	
	Stahlbetondecke	0,180	2400	2,100	1,00	
	Kalkzementmörtel	0,020	1800	0,870	1,00	
Wohnungstrennwand <i>WTW</i>	Kalkzementmörtel	0,020	1800	0,870	1,00	1,766
	Ziegelmauerwerk	0,180	1107	0,390	1,00	
	Luftschicht	0,040	-	-	-	
	Ziegelmauerwerk	0,200	1107	0,390	1,00	
	Kalkzementmörtel	0,020	1800	0,870	1,00	

Tabelle 2-27: Konstruktionsaufbauten des Gebäudes in Hörbranz – Teil 2

Konstruktionsaufbauten in Hörbranz						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m ³]	[W/(mK)]	[kJ/(kgK)]	[W/(m ² K)]
Innenwand <i>IW1</i>	Gipskarton	0,013	900	0,210	1,00	0,451
	Mineralwolle	0,075	18	0,039	1,00	
	Gipskarton	0,013	900	0,210	1,00	
Kellerwand 1 <i>KW1</i>	Stahlbeton	0,200	2400	2,100	1,00	3,770
Kellerwand 2 <i>KW2</i>	Stahlbeton	0,300	2400	2,100	1,00	3,196
Kellerwand 3 <i>KW3</i>	Stahlbeton	0,180	2400	2,100	1,00	3,911

Tabelle 2-28: Konstruktionsaufbauten des Gebäudes in Egg – Teil 1

Konstruktionsaufbauten in Egg						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m ³]	[W/(mK)]	[kJ/(kgK)]	[W/(m ² K)]
Obere Geschossdecke Technikraum <i>OGDT</i>	Kalkzementmörtel	0,010	1800	0,870	1,00	0,144
	Stahlbeton - Decke	0,200	2400	2,100	1,00	
	EPS 20	0,250	20	0,038	1,50	
	Spanplatte	0,010	700	0,130	2,10	
Fußbodenheizung <i>FBHEIZ</i>	Belag	0,010	800	0,200	2,10	0,958
	Spanplatte	0,025	700	0,130	2,10	
	EPS 20 -Formteil	0,024	20	0,038	1,50	
Bodenplatte <i>BPL</i>	Trittschalldämmung	0,025	11	0,044	1,50	0,148
	EPS 20	0,030	20	0,038	1,50	
	Spittschüttung	0,016	1800	0,700	1,00	
	Stahlbeton - Decke	0,250	2400	2,100	1,00	
	XPS geklebt	0,160	30	0,038	1,50	
Decke zwischen Erd- und Obergeschoss <i>EGD</i>	Trittschalldämmung	0,025	11	0,044	1,50	0,405
	EPS 20	0,060	20	0,038	1,50	
	Spittschüttung	0,016	1800	0,700	1,00	
	Stahlbeton - Decke	0,220	2400	2,100	1,00	
	Kalkzementmörtel	0,010	1800	0,870	1,00	
Wohnungs- trennwand <i>IW1</i>	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	2,879
	Stahlbeton	0,300	2400	2,100	1,00	
	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	
Wand aus Beton <i>IW2</i>	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	3,234
	Stahlbeton	0,220	2400	2,100	1,00	
	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	
Zimmertrennwand <i>IW3</i>	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	1,952
	Hochlochziegel	0,120	1107	0,390	1,00	
	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	
Zimmertrennwand <i>IW4</i>	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	1,501
	Hochlochziegel	0,180	1107	0,390	1,00	
	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	
Wand zwischen Wohnung und Treppe <i>IW5</i>	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	0,611
	Stahlbeton	0,220	2400	2,100	1,00	
	Mineralwolle	0,050	18	0,039	1,00	
	Gipskartonplatte	0,013	900	0,210	1,00	
Wand zw. Dach- boden u. Treppe <i>IWDB</i>	Holz wand	0,016	800	0,200	2,10	0,194
	Mineralwolle	0,188	18	0,039	1,00	
	Holz wand	0,016	800	0,200	2,10	

Tabelle 2-29: Konstruktionsaufbauten des Gebäudes in Egg – Teil 2

Konstruktionsaufbauten in Egg						
	Bauteilschicht	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/(mK)]	Wärmekapazität [kJ/(kgK)]	U - Wert [W/(m ² K)]
Dach Techn. Stiegenhaus <i>DTf</i>	OSB - Platte	0,015	630	0,130	2,10	0,151
	Mineralwolle	0,240	18	0,039	1,00	
	MDF-Platte	0,018	530	0,090	2,10	
Dach Techn. Stiegenhaus <i>DTk</i>	OSB - Platte	0,015	630	0,130	2,10	0,593
	Sparren	0,240	800	0,200	2,10	
	MDF-Platte	0,018	530	0,090	2,10	
Dach Abstell. <i>DAR</i>	MDF-Platte	0,018	530	0,090	2,10	2,703
Außenwand 1 <i>AW1</i>	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	0,121
	Hochlochziegel	0,180	1107	0,390	1,00	
	EPS geklebt	0,300	18	0,040	1,50	
	Holzschirm	0,024	800	0,200	2,10	
Außenwand 2 (gegen Erdreich) <i>AW2</i>	Kalkzementmörtel	0,015	1800	0,870	1,00	0,151
	Stahlbeton	0,250	2400	2,100	1,00	
	XPS geklebt	0,240	30	0,038	1,50	
Obere Geschossdecke (gegen unbeheizt) <i>OGD</i>	Kalkzementmörtel	0,010	1800	0,870	1,00	0,092
	Stahlbeton - Decke	0,200	2400	2,100	1,00	
	EPS 20	0,400	20	0,038	1,50	
	Spanplatte	0,010	700	0,130	2,10	

Verglasungs- und Rahmenflächen

Für die Verglasungen des Gebäudes in Hörbranz werden die in Tabelle 2-30 angeführten Rahmen und Verglasungen und für das Gebäude in Egg werden die in Tabelle 2-31 angeführten Verglasungen und Rahmen verwendet. Die Rechenwerte für die Verglasungen und Rahmen des Gebäudes in Hörbranz stammen aus der CEPHEUS – Projektinformation Nr. 24 (CEPHEUS 1, 2002) und für das Gebäude in Egg aus der CEPHEUS – Projektinformation Nr. 23 (CEPHEUS 2, 2002).

Tabelle 2-30: Angenommene Rechenwerte Verglasungen und Fensterrahmen für die Gebäude in Hörbranz

Fensterverglasung	U = 0,6 W/(m ² K), g = 0,47
Fensterrahmen	U = 1,12 W/(m ² K)
Verglasung des Windfanges	U = 5,0 W/(m ² K)
Rahmen der Windfangverglasung	U = 1,4 W/(m ² K)

Tabelle 2-31: Angenommene Rechenwerte Verglasungen und Fensterrahmen für das Gebäude in Egg

Fensterverglasung	U = 0,7 W/(m ² K), g = 0,53
Fensterrahmen	U = 1,25 W/(m ² K)

Das vorhandene Planmaterial wurde in Bezug auf die Größe der Fenster- und Rahmenflächen ausgewertet, durch Vorortbesichtigungen an den tatsächlichen Ausführungsbestand angeglichen, und in die Simulation übernommen.

2.3.4 Klimatische Randbedingungen

Die klimatischen Bedingungen stellen erfahrungsgemäß eine wichtige Größe bei der thermischen Simulation dar. Dabei spielt die Globalstrahlung besonders bei Gebäuden mit großen Fensterflächen eine bedeutende Rolle. Die Klimadaten der Gebäude stammen aus Messungen am Gebäudestandort. Es werden zuerst die Messdaten der Außentemperatur und der Globalstrahlung der Gebäude in Hörbranz und Egg anhand eines Vergleichs mit entsprechenden Messdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) auf ihre Plausibilität überprüft. Die Messstation der ZAMG befindet sich in Bregenz und somit ca. fünf Kilometer von Hörbranz und ca. 20 Kilometer von Egg entfernt.

Beim Gebäude in Egg fehlen in den Zeiträumen vom 22.12.2001 bis 25.12.2001 und vom 22.01.2002 bis 25.01.2002 wegen Messausfällen die Messdaten. Deshalb sind in diesen Zeiträumen (Tage der Simulation: 48 bis 51 und 79 bis 82) die Verläufe der Außentemperatur für das Gebäude in Egg unterbrochen. Wie die fehlenden Daten für die thermische Simulation ersetzt werden ist in Kapitel 2.4.3 beschrieben.

Außenlufttemperatur

In Abbildung 2-17 ist als Beispiel der Verlauf der Außenlufttemperaturen, gemessen in Hörbranz, Egg und in Bregenz (Werte der ZAMG), der Simulationswochen 4,5,12 und 16 zu sehen. Die Nummerierungen der Simulationswochen beziehen sich auf den Vergleichszeitraum (d.h. 16 Wochen innerhalb der Heizsaison) vom 11. November 2001 bis 24. Jänner 2002.

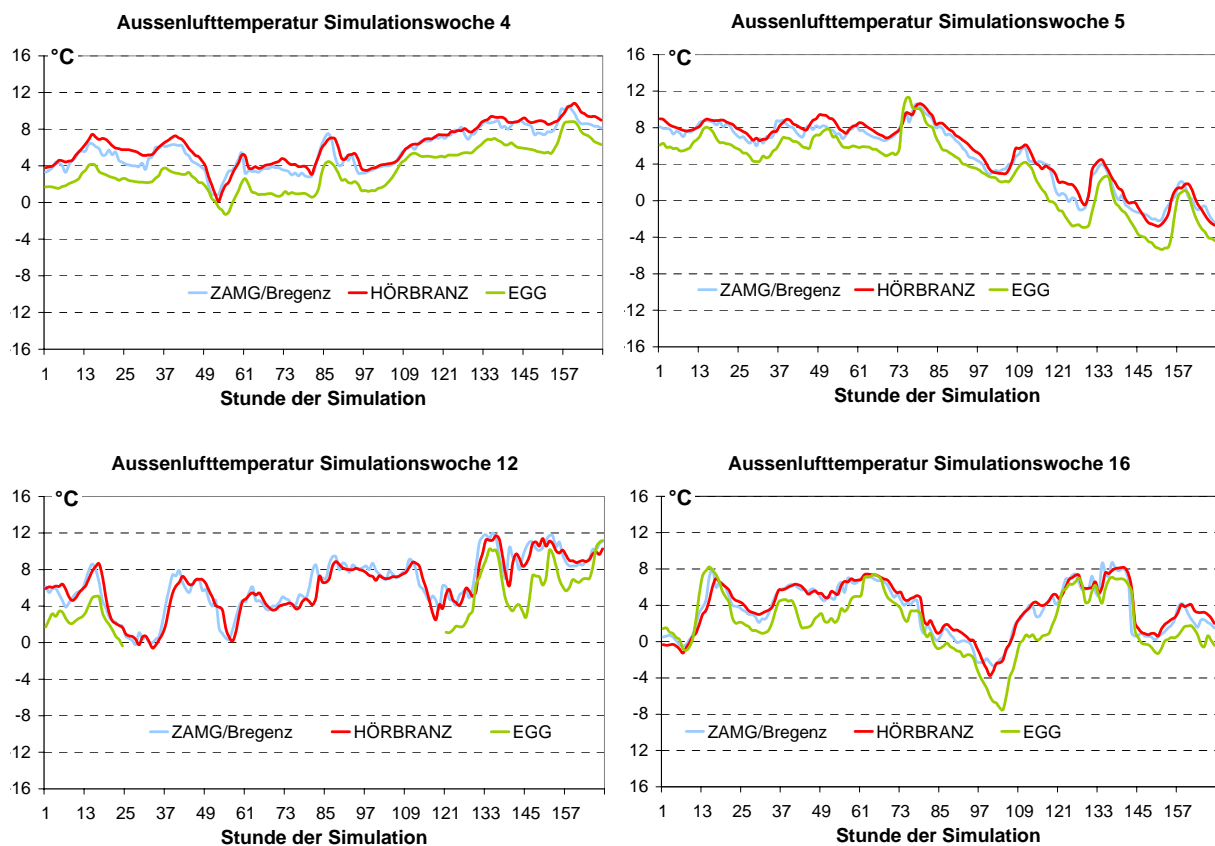


Abbildung 2-17: Vergleich der Außenlufttemperaturen der Simulationswochen 4,5,12 und 16.

In Abbildung 2-18 sind die Tagesmittelwerte der Außentemperaturen des gesamten Simulationszeitraumes miteinander verglichen, dabei ist zu erkennen, dass die Messwerte von Hörbranz und Bregenz (ZAMG) gut übereinstimmen und die Messwerte von Egg und Bregenz etwas mehr voneinander abweichen. Die gleiche Tendenz zeigt sich bei Auswertung der Wochenmittelwerte (Abbildung 2-19).

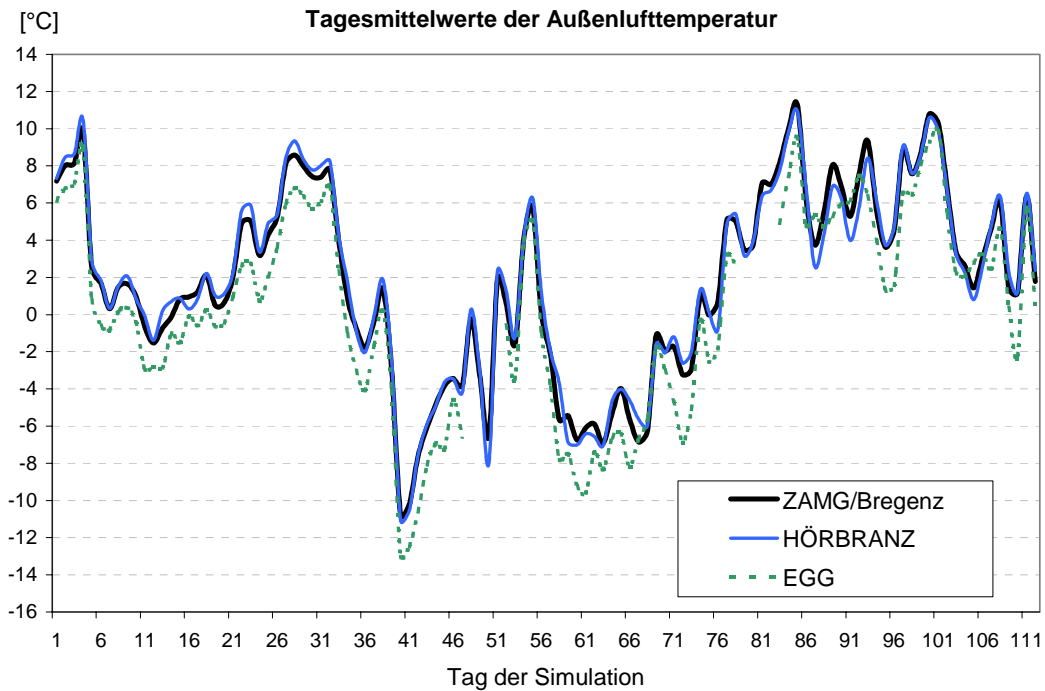


Abbildung 2-18: Vergleich der Tagesmittelwerte der Außenlufttemperatur über den Simulationszeitraum

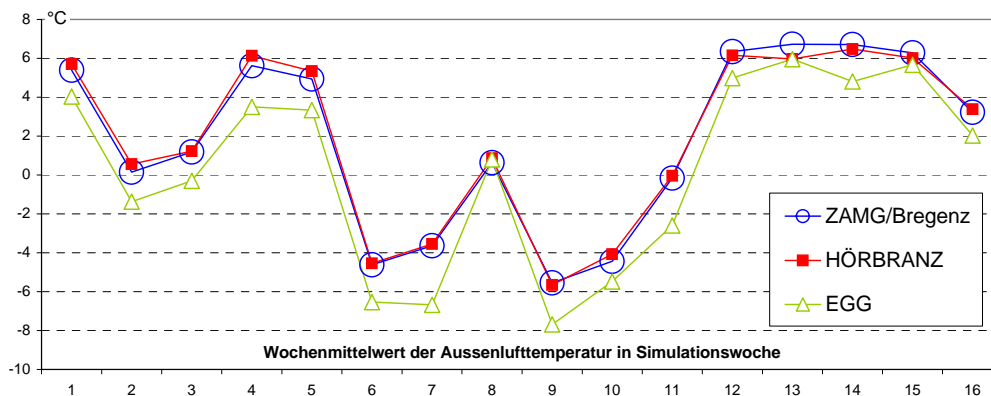


Abbildung 2-19: Vergleich der Wochenmittelwerte der Außenlufttemperatur über den Simulationszeitraum (Anfang November 2001 bis Ende Jänner 2002)

In Abbildung 2-20 und Tabelle 2-32 sind die Abweichungen der gemessenen Temperaturen in Hörbranz und Egg von den Messwerten der Messstation der ZAMG in Bregenz dargestellt. Die Abweichung ist hier die Differenz zwischen dem Messwert der ZAMG (Bregenz) und dem Messwert vor Ort (Hörbranz oder Egg). Der Absolutwert der mittleren (maximalen) Abweichung entspricht dem Mittelwert (Maximalwert) der Absolutwerte dieser Abweichungen. Aus diesen Abbildungen wird ersichtlich, dass die mittlere Abweichung der Wochenmittelwerte von Hörbranz und Bregenz $0,3^{\circ}\text{C}$ beträgt, beziehungsweise die mittlere Abweichung der Tagesmittelwerte von Hörbranz und Bregenz $0,5^{\circ}\text{C}$ beträgt. Es zeigt sich, dass die Übereinstimmung der Messwerte von Hörbranz mit den ZAMG

Werten höher ist als die Übereinstimmung der Messwerte von Egg mit den ZAMG Werten. Die Messwerte von Egg weichen von den von der ZAMG in Bregenz gemessenen Werten zwar etwas mehr ab, aber dies kann durch die Tatsache, dass Egg ca. 20 km von Bregenz entfernt um ca. 120 m höher als Bregenz liegt erklärt werden.

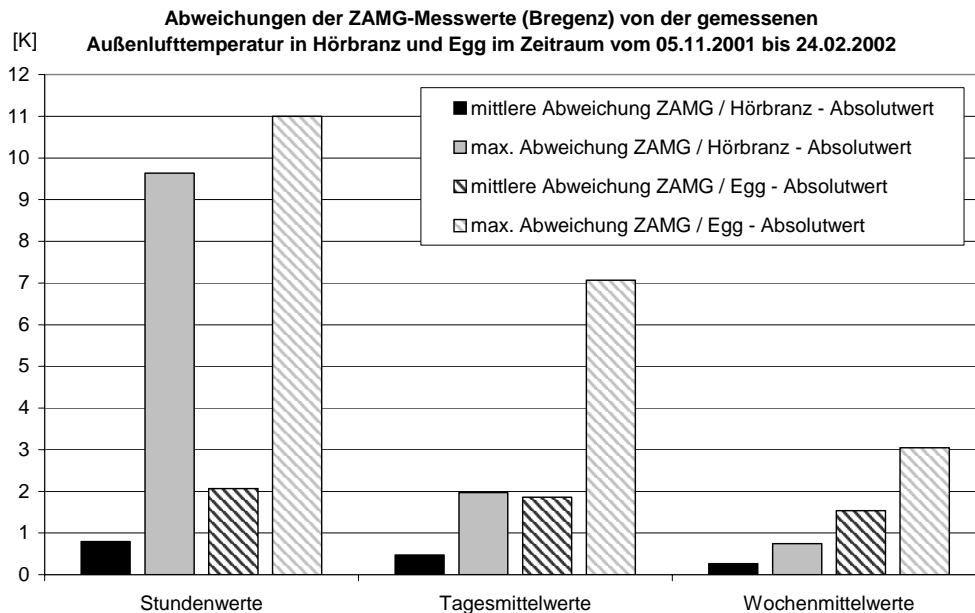


Abbildung 2-20: Abweichungen der gemessenen Temperaturen in Hörbranz und Egg von den ZAMG - Messwerten der Außenlufttemperatur (Bregenz)

Tabelle 2-32: Auswertung der Abweichungen der Messwerte der Temperaturen

5. November 2001 bis 24. Februar 2002						
Abweichung der Messwerte der Außenlufttemperatur der ZAMG (Bregenz) von den Messwerten vor Ort bei den Gebäuden in Egg und Hörbranz - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]						
	Absolutwert der mittleren Abweichung			Absolutwert der maximalen Abweichung		
	Stundenwerte	Tagesmittelwerte	Wochenmittelwerte	Stundenwerte	Tagesmittelwerte	Wochenmittelwerte
ZAMG / Hörbranz	0,80	0,48	0,27	9,64	1,97	0,75
ZAMG / Egg	2,06	1,87	1,55	11,00	7,07	3,05

Globalstrahlung

Bei der Gegenüberstellung der im Simulationszeitraum gemessenen Globalstrahlungswerte ergaben sich insbesondere bei höheren Einstrahlungswerten große Abweichungen zwischen den Vorort- und den ZAMG Messwerten. Um der Ursache dieser Abweichungen nachzugehen wurden weitere im Rahmen des CEPHEUS Projektes gemessene Globalstrahlungsdaten zum Vergleich herangezogen. In Abbildung 2-21 ist der Vergleich der Messwerte der Globalstrahlung in Hörbranz, Egg, Dornbirn, Wolfurt und Bregenz (ZAMG) beispielhaft an der Simulationswoche 11 dargestellt. Die Messdaten der Orte Dornbirn und Wolfurt stammen aus Messungen im Rahmen des CEPHEUS Projektes. Die Werte der Globalstrahlung dieser Orte können miteinander verglichen werden, da Hörbranz und Wolfurt je ca. 5 km von Bregenz entfernt liegen und sich Dornbirn in ca. 10 km und Egg in ca. 20 km Entfernung von Bregenz befindet. Bei diesem Vergleich ist prinzipiell zu erkennen, dass die Tendenzen der Messwertkurven gut zusammenpassen, allerdings die Absolutwerte voneinander abweichen. Die Differenzen zwischen den Messwerten aus Egg, Hörbranz, Wolfurt und Dornbirn zu den Werten der ZAMG (Bregenz) sind deutlich ausgeprägter als die Abweichungen der Messwerte

von Hörbranz, Wolfurt, Egg und Dornbirn untereinander (Abbildung 2-22, Abbildung 2-23 und Tabelle 2-33). Aus dieser Gegebenheit heraus wird die Entscheidung getroffen die jeweils am Gebäudestandort ermittelten Messwerte der Globalstrahlung (Hörbranz und Egg) für die thermische Simulation zu verwenden.

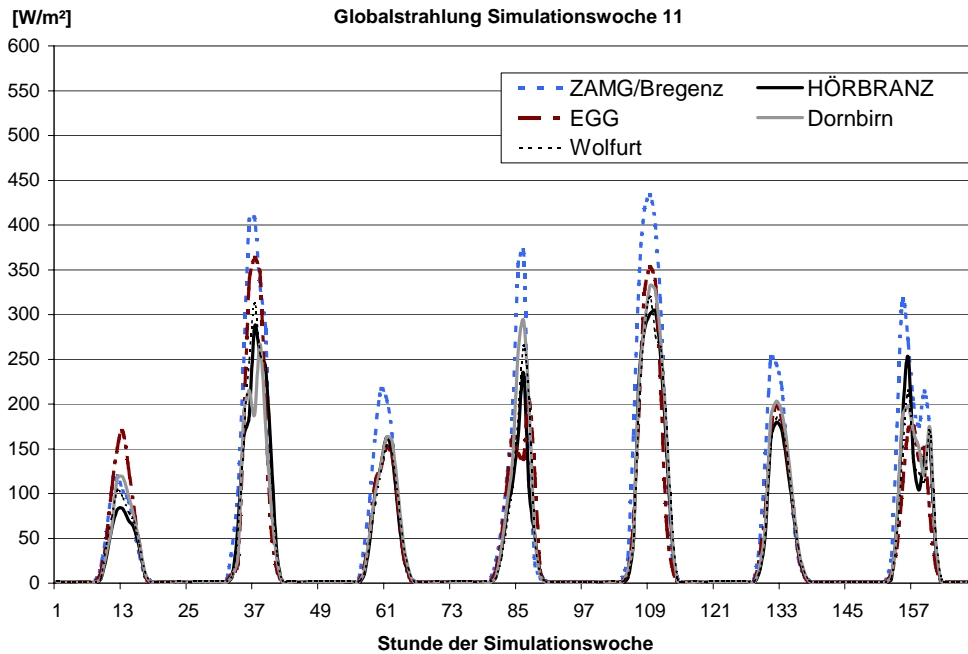


Abbildung 2-21: Vergleich der Messwerte der Globalstrahlung der Simulationswoche 11 (14.01.2002 bis 20.01.2002) als Beispiel für die relativ gute Übereinstimmung der Messwerte aus dem CEPHEUS Projekt untereinander und die schlechte Übereinstimmung mit den ZAMG Werten der Globalstrahlung

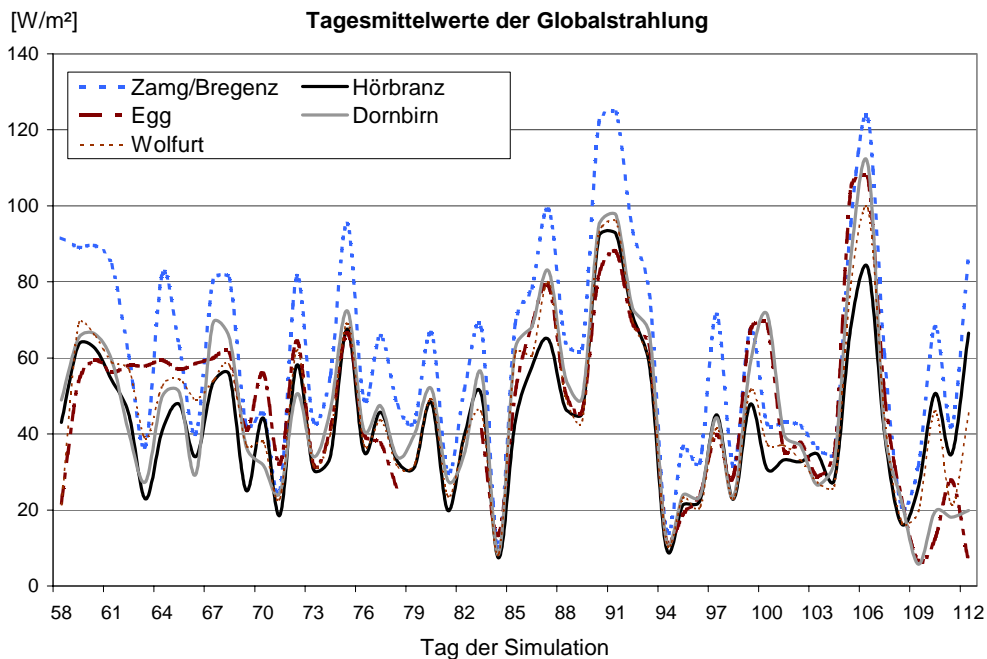


Abbildung 2-22: Vergleich der Tagesmittelwerte der Globalstrahlung über den Zeitraum vom 01.01.2002 bis 24.02.2002. Es zeigt sich auch in den Tagesmittelwerten der Globalstrahlung die oben beschriebene Tendenz

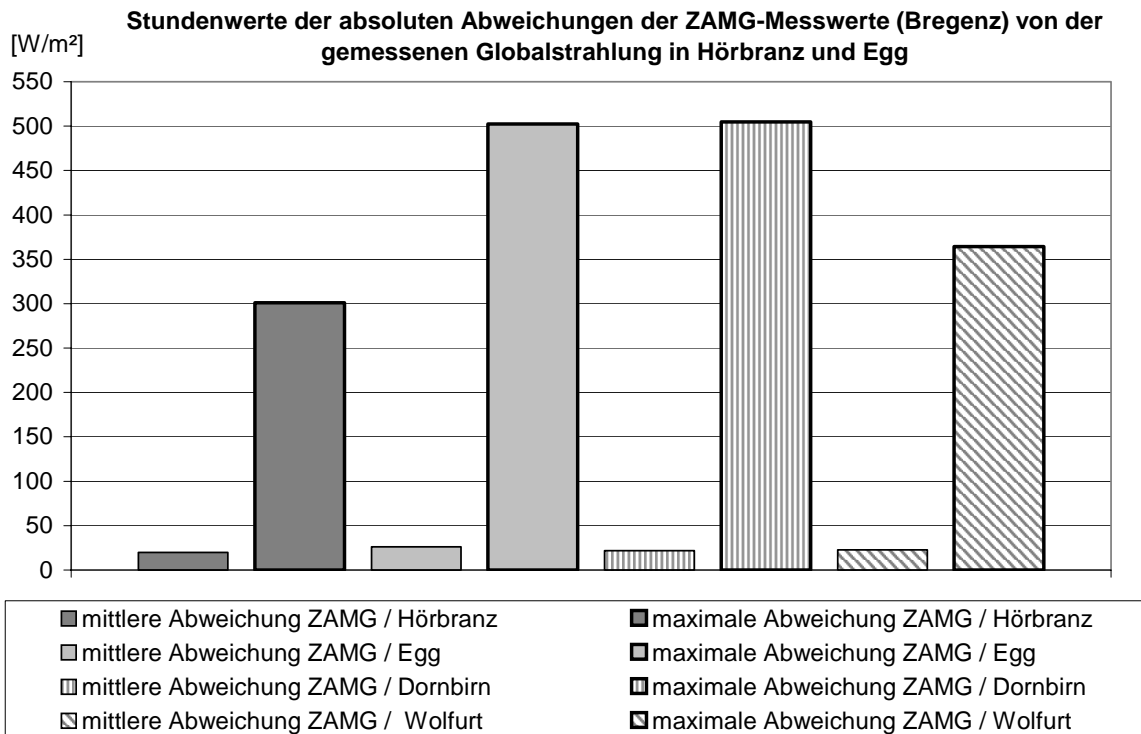


Abbildung 2-23: Abweichungen der ZAMG - Messwerten (Bregenz) von der gemessenen Globalstrahlung in Hörbranz, Egg, Dornbirn und Wolfurt im Zeitraum vom 01.01.2002 bis 24.02.2002

Tabelle 2-33: Auswertung der Abweichungen der Messwerte der Globalstrahlung

Absolutwerte der Abweichungen der gemessenen Globalstrahlung [W/m²] in Hörbranz, Egg, Dornbirn und Wolfurt von den ZAMG-Messwerten (Bregenz)												
	Hörbranz			Egg			Dornbirn			Wolfurt		
	Stundenwerte	Tagesmittelw.	Wochenmittelw.	Stundenwerte	Tagesmittelw.	Wochenmittelw.	Stundenwerte	Tagesmittelw.	Wochenmittelw.	Stundenwerte	Tagesmittelw.	Wochenmittelw.
Mittelwert	20,0	18,3	18,3	26,0	19,0	19,3	21,9	16,1	17,6	22,5	16,6	17,9
Maximum	301,2	48,5	29,5	502,3	80,5	47,4	504,8	67,0	45,4	364,4	70,1	31,0

Modellierung der Erdreichtemperaturen

Die Wärmeströme zwischen den Gebäuden und dem seitlich beziehungsweise darunter liegenden Erdreich werden in der Rechnung durch die Modellierung von 0,6 m dicken Erdreich-Blöcken, die direkt an die Kellerwände beziehungsweise an den Kellerboden grenzen, berücksichtigt. Die Temperaturschwankungen des Erdreichs werden in Form von Sinusschwingungen angenommen. Die angesetzten Temperaturen bestimmen sich durch die Stunde des Jahres und die Tiefe der betrachteten Schicht. Für das Erdreich unter dem Gebäude in Hörbranz wird die Bodenart „Erde feucht“ (Dichte: 1800 kg/m³, Wärmeleitfähigkeit: 2,5 W/mK, Wärmekapazität: 1,26 kJ/kgK) und für das Erdreich unter dem Gebäude in Egg die Bodenart „Schotter trocken“ (Dichte: 2128 kg/m³, Wärmeleitfähigkeit: 0,4 W/mK, Wärmekapazität: 0,71 kJ/kgK) festgelegt.

2.4 Umsetzung der gesammelten Daten in Simulationsmodelle

2.4.1 Kurzvorstellung des Simulationsprogrammes

Für die Simulation der Vergleichsgebäude wird das Simulationspaket TRNSYS 15.0 (TRNSYS, 2000) verwendet. TRNSYS (Transient System Simulation Program) ist ein Programmpaket zur Berechnung des thermischen Verhaltens eines Gebäudes einschließlich der aktiven und passiven Komponenten zur Energieversorgung (z.B. Heizkessel, Wärmeverteilsystem, TWD, Kollektorsysteme) und zur Bilanzierung der auftretenden zeitabhängigen Energieströme. TRNSYS wurde ursprünglich für die detaillierte Analyse von Gebäuden mit aktiver Solartechnik entwickelt. Heute sind sowohl passive Solarkomponenten als auch herkömmliche Heiz- und Kühleinrichtungen als Modelle erhältlich. Der Vorteil von TRNSYS besteht in seiner Flexibilität und der Möglichkeit, ein System sehr detailliert nachzubilden. TRNSYS ist modular aufgebaut. Es enthält eine große Anzahl von Standardkomponenten, den TYPES, die je nach Anforderung zur Nachbildung des realen Systems zusammengebunden werden können. Die offene Struktur des Programms erlaubt es dem Anwender, selbst erstellte TYPES einzubinden und vorhandene Standardkomponenten zu verändern. Jeder TYPE beschreibt die Funktionsweise einer bestimmten Systemkomponente. Das reale Betriebsverhalten der Komponenten wird in den TYPES mit mathematischen Algorithmen nachgebildet. Zur Lösung des Gleichungssystems, das sich aus den Einzelkomponenten und deren logischen Verknüpfungen im Gesamtsystem ergibt, stehen in TRNSYS verschiedene Lösungsalgorithmen zur Verfügung. Die Zeitschrittweite und die Genauigkeit, mit der simuliert wird, sind durch den Anwender wählbar. Prinzipiell können alle Eingangs- und Ausgangsgrößen jeder Komponente ausgegeben werden. Die Ausgabegrößen können zudem über definierte Zeitintervalle (Tage, Monate, Jahre) integriert werden.

Gebäudesimulation mit TRNSYS

Für die dynamische Gebäudesimulation wird das Gebäude in thermische Zonen aufgeteilt. In der Regel werden einzelne Räume oder auch Raumgruppen, die gleiche Randbedingungen wie Nutzung, Belegung oder Verglasung aufweisen zu einer Zone zusammengefasst. Das Luftvolumen jeder Zone wird durch einen Luftknoten repräsentiert, der die Kapazität des Inhalts des Zonenvolumens hat. Die Energiebilanz der Zone wird an diesem Luftknoten durchgeführt. Grundlage der Bilanz ist der Energieerhaltungssatz. Der Strahlungsaustausch zwischen den Oberflächen wird separat gerechnet. Die solaren Gewinne an die Zone finden nur indirekt Eingang in die Bilanzierung. Die Strahlung wirkt über den Umweg der Absorption an den Hüllflächen der Zone und die nachfolgende konvektive Wärmeabgabe an den Raum auf den Luftknoten. Dies gilt auch für den Strahlungsanteil interner Wärmequellen. Das thermische Modell der Wände basiert auf der Response-Faktoren-Methode von Mitlas und Arsenault. Vor dem eigentlichen Simulationslauf wird das thermische Verhalten der Wand als Transferfunktion berechnet, auf die in der Simulation zugegriffen wird. Die Stoffwerte werden vor der Simulation als Konstanten festgelegt, die Abhängigkeit von physikalischen Zustandsgrößen findet keine Berücksichtigung.

Simulationsmethodik

Die dynamische Gebäudesimulation wird in TRNSYS mit einem Unterprogramm - dem TYPE 56 - durchgeführt. Die Vielzahl der benötigten Gebäude- und Wetterdaten, die Einfluss auf das Gebäudeverhalten haben, wird zunächst extern zusammengestellt und dem eigentlichen TRNSYS - Simulationslauf durch entsprechende Eingabedateien übergeben. Aus der Nutzung des Gebäudes und der Gebäudegeometrie ergibt sich die Einteilung in thermische Zonen. Mit den aus den Gebäudeplänen ermittelten Abmessungen, den Materialdaten und weiteren Gebäudedaten (Luftwechselraten, Solltemperaturen etc.) wird über einen Editor („PREBID“) das „Building Input Description-File“ (.bid) erstellt. Aus der Building Description erzeugt das BID-Programm die

Übergabedateien (.bld und .trn) für die TRNSYS-Simulation. Das bld-File enthält die Geometriedaten des Gebäudes, die Transferfunktionen der Wände sind im .trn- File niedergelegt. Die Eingabedatei für die TRNSYS-Simulation des Gebäudes ist das so genannte Deck-File. Hier werden die Übergabedateien für das Gebäude und die Wetterdaten aufgerufen, eingelesen und mit den in der Simulation benötigten TYPES verknüpft. Zudem kann die Gebäudesimulation durch andere Komponenten, wie z.B. einem Wärmetauscher für die mechanische Lüftung, ergänzt werden. Die Ergebnisse der Simulation werden gezielt durch das Aufrufen der gewünschten OUTPUTS in einen Ausgabe-TYPE erzeugt.

2.4.2 Simulationsaufbau für das Gebäude in Hörbranz

In Abbildung 2-24 wird eine Prinzipskizze (Eingabeoberfläche IISIBAT) des Simulationsmodells für das Gebäude in Hörbranz dargestellt. Jedes Icon steht für ein dahinter liegendes Programmmodul (TYPE) das eine bestimmte Bearbeitungsroutine durchführt. Die jeweiligen Ein- bzw. Ausgabedaten müssen durch logische Verknüpfungen zu einem Gesamtsystem zusammengesetzt werden.

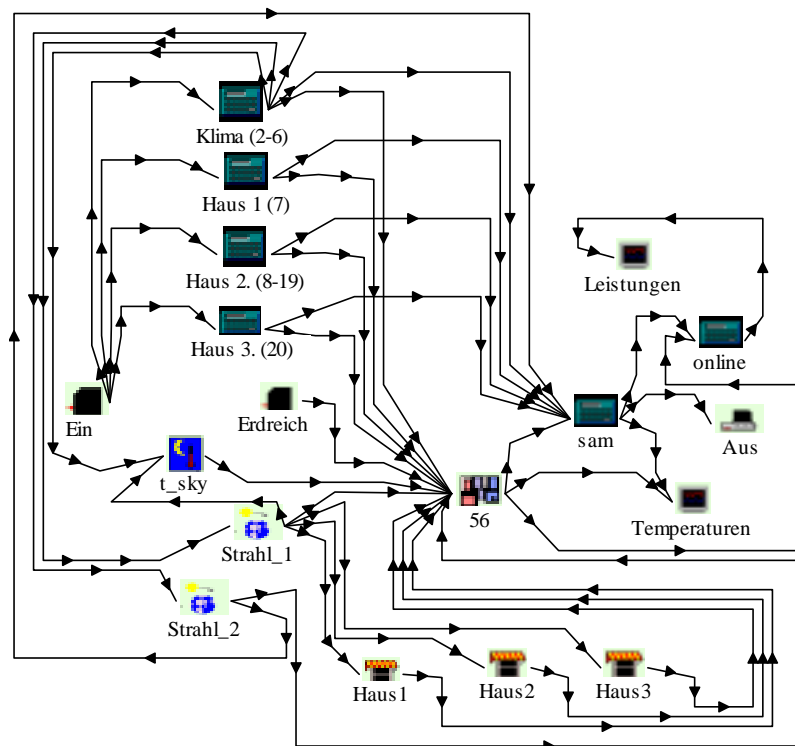


Abbildung 2-24: Grafische Eingabeoberfläche IISIBAT für die thermische Simulation des Gebäudes in Hörbranz

In dieser Eingabeoberfläche entspricht das Icon mit der Nummer "56" der in einen ASCII Datensatz umgeschriebenen Gebäudebeschreibung aus dem Programm PREBID. Das Symbol "Ein" bezeichnet das Programmmodul das den Eingabedatenblock aus externen Dateien in die Simulation einließt. Ein weiterer Eingabedatensatz steht hinter dem Symbol "Erdreich" mit dem der Temperaturverlauf im angrenzenden Erdreich in Form von Stundenwerten in die thermische Simulation eingebracht wird. Die Diffusstrahlung wird aus der Außenlufttemperatur und der Globalstrahlung durch ein Programm berechnet das hinter den Symbolen "Strahl_1" und "Strahl_2" steht. Die Verschattung der Fensterflächen durch die Dachüberstände wird in den Modulen mit den Symbolen "Haus 1", "Haus 2" und "Haus 3" berücksichtigt. Die Ausgabedaten werden in dem Modul "sam" zusammengefasst und in die Module die hinter den Symbolen "online", "Aus", "Leistungen" und "Temperaturen" stehen

weitergeleitet. Mittels des Moduls „Aus“ werden die Ausgabedaten, die das Simulationsergebnis beinhalten, in eine Textdatei geschrieben und können in weiterer Folge durch externe Auswertungsprogramme analysiert werden.

Das mittlere Haus des Reihenhauses in Hörbranz wird als zu betrachtendes System gewählt. Für dieses Haus (Zone 2 bzw. Zone 6) sollen die Verläufe der messtechnisch erfassten und der mittels TRNSYS simulierten Raumlufttemperaturverläufe miteinander verglichen werden. Um das betrachtete System möglichst realistisch nachzubilden zu können werden die messtechnisch erfassten Verläufe der Raumlufttemperaturen der beiden angrenzenden Häuser als Randbedingung vorgegeben (Vorgabe der messtechnisch vorgegebenen Verläufe). Im betrachteten System (Haus 2) werden die auftretenden Innenwärmen und die über die Systemgrenzen auftretenden Lüftungsverluste ebenso wie die Wärmegewinne durch die eintretende Solarstrahlung und die Luftheizung für die Simulation berücksichtigt.

Der vorgegebene Temperaturverlauf aus dem Erdreich liefert eine Randbedingung für den Keller (Zone 8) und die in der Simulation berechnete Temperatur im Keller ist wiederum eine Randbedingung für das betrachtete System. (siehe Abbildung 2-25)

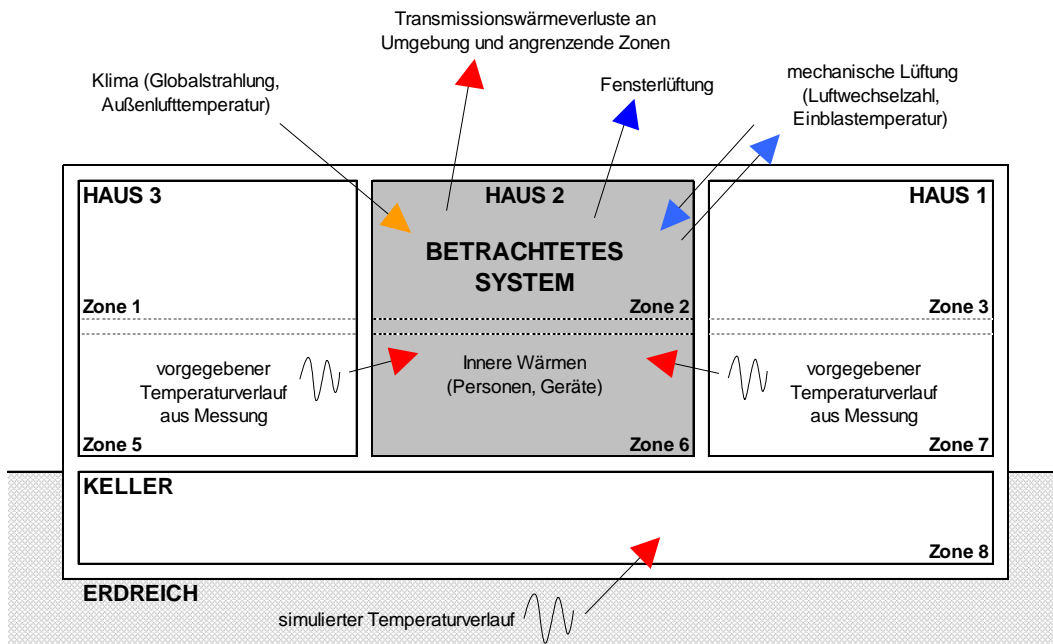


Abbildung 2-25: Randbedingungen für die thermische Simulation des Gebäudes in Hörbranz

Der gewählte Simulationszeitraum (siehe Tabelle 2-34) erstreckt sich vom 5. November 2001 bis zum 24. Februar 2002 (d.h. er liegt innerhalb der Heizsaison). Dieser Simulationszeitraum unterteilt sich in einen Zeitraum, der zum Einschwingen des Systems genutzt wird und in den Vergleichszeitraum selbst. Die Übereinstimmung der gemessenen mit den simulierten Raumtemperaturkurven werden dann im Vergleichszeitraum gegenübergestellt und ausgewertet. Abbildung 2-26 verdeutlicht dieses Schema.

Tabelle 2-34: Aufteilung des Simulationszeitraumes in Einschwing- und Vergleichszeitraum

		von:				bis:				
		Tag der Simulation	Stunde der Simulation	Stunde des Jahres	Datum und Uhrzeit	Tag der Simulation	Stunde der Simulation	Stunde des Jahres	Datum und Uhrzeit	
Simulationszeitraum	Einschwingzeitraum	1	1	7393	05.11.2001 00:00	7	168	7560	11.11.2001 00:00	
		2	8	169	7561	12.11.2001 00:00	14	336	7728	18.11.2001 00:00
		3	15	337	7729	19.11.2001 00:00	21	504	7896	25.11.2001 00:00
		4	22	505	7897	26.11.2001 00:00	28	672	8064	02.12.2001 00:00
		5	29	673	8065	03.12.2001 00:00	35	840	8232	09.12.2001 00:00
		6	36	841	8233	10.12.2001 00:00	42	1008	8400	16.12.2001 00:00
		7	43	1009	8401	17.12.2001 00:00	49	1176	8568	23.12.2001 00:00
		8	50	1177	8569	24.12.2001 00:00	56	1344	8736	30.12.2001 00:00
		9	57	1345	8737	31.12.2001 00:00	63	1512	144	06.01.2002 00:00
	Vergleichszeitraum	10	64	1513	145	07.01.2002 00:00	70	1680	312	13.01.2002 00:00
		11	71	1681	313	14.01.2002 00:00	77	1848	480	20.01.2002 00:00
		12	78	1849	481	21.01.2002 00:00	84	2016	648	27.01.2002 00:00
		13	85	2017	649	28.01.2002 00:00	91	2184	816	03.02.2002 00:00
		14	92	2185	817	04.02.2002 00:00	98	2352	984	10.02.2002 00:00
		15	99	2353	985	11.02.2002 00:00	105	2520	1152	17.02.2002 00:00
		16	106	2521	1153	18.02.2002 00:00	112	2688	1320	24.02.2002 00:00

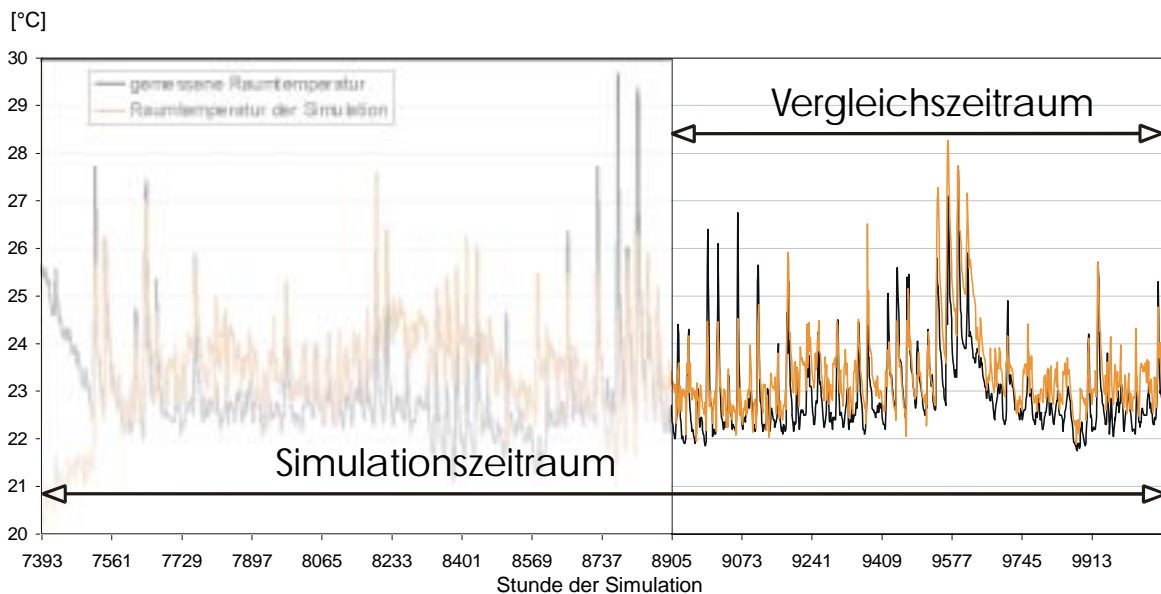


Abbildung 2-26: Darstellung des Simulations- und des Vergleichszeitraumes

Die erste Variante der Simulation enthält als Klimadaten die Messdaten der Vorortmessung in Hörbranz. Die Werte für die Raumtemperaturen der Häuser 1, 2 und 3 sowie die Daten für die mechanische Lüftung (Luftwechselzahl, Einblastemperatur) und der Verlauf der inneren Wärmen durch Geräte stammen ebenfalls von den Messdaten des Gebäudes in Hörbranz.

Die nutzerspezifischen Werte, Fensterlüftung und die Anzahl der anwesenden Personen stammen aus der Befragung der BewohnerInnen. Als geometrische Daten werden die Netto-Abmessungen verwendet. Es wird eine Verschmutzung der Verglasung angenommen die zu einer Verringerung der Solareinstrahlung durch die Fenster führt. Nach (Klengel, 1974) verringert sich die durch ein senkrechtes Fenster einfallende direkte Strahlung in ländlicher Umgebung um etwa 10 %. Eine mehrmalige lokale Besichtigung ergab einen als niedrig zu bezeichnenden Verschmutzungsgrad der Verglasungsflächen; darauf hin wurde eine Abminderungsfaktor von 8 % angenommen (Abbildung 2-27).

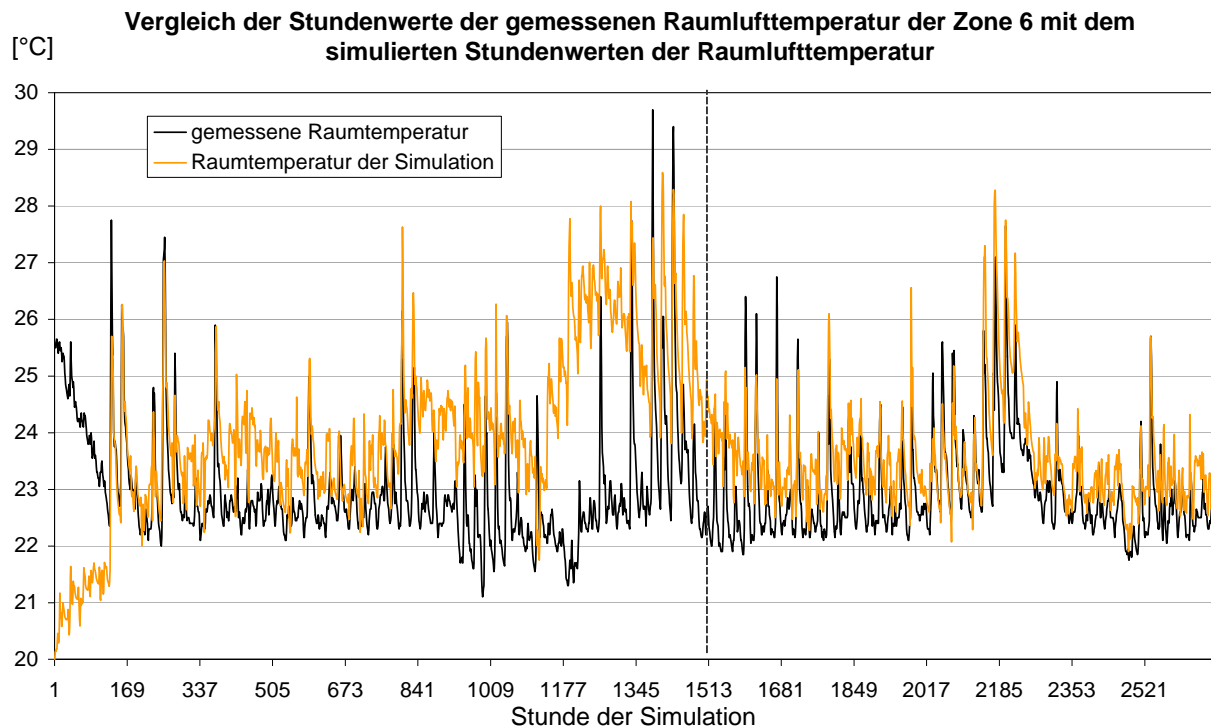


Abbildung 2-27: Simulationstechnisch ermittelte Raumlufttemperatur im Vergleich zur gemessenen Raumlufttemperatur in der Zone 6

Im Vergleich der Raumlufttemperaturen (siehe Abbildung 2-27) ist eine deutliche Abweichung der in der Zone 6 gemessenen Temperatur und der aus der Simulation stammenden Temperatur zum Beginn der Simulation und im Zeitraum der Stunde 1100 bis 1400 zu erkennen. Die Abweichung zu Beginn der Simulation (in etwa Stunde 0 bis 160) wird durch das Einschwingen der Simulation, ausgehend von den im Simulationsprogramm vorgegebenen Anfangswerten, verursacht und tritt bei jeder thermischen Simulation auf. Die zeitlich deutlich spätere Abweichung zwischen den Stunden 1100 bis 1400 hat eine andere Ursache und muss daher untersucht werden.

Es zeigte sich, dass in diesem Zeitraum Stunde (1100 bis 1400) die eingebrachten inneren Wärmen deutlich höher als im übrigen Simulationszeitraum waren. Die inneren Wärmen werden aus den Messwerten des Haushaltsstromverbrauches und der Anzahl der anwesenden Personen berechnet und sind damit ausschließlich vom Nutzerverhalten abhängig. Die Bewohner gaben an, dass es in ihrem Keller in diesem Zeitraum ein Wasserschaden aufgetreten ist, der durch den Einsatz von drei Entfeuchtern behoben wurde. Da die dabei entstehende Wärme nicht in das betrachtete System fließt muss der dafür aufgewendete Haushaltsstrom vom Haushaltsstromverbrauch, der als Grundlage für die Berechnung der inneren Wärmen verwendet wird, abgezogen werden.

Die so entstandene Variante (Abbildung 2-28) wird als **Basisvariante Hörbranz (H_1c)** bezeichnet. Sie weist aufgrund der korrigierten inneren Wärmen im Vergleich von Simulation und Messung eine bedeutend bessere Übereinstimmung auf. Die Basisvariante Hörbranz wird als Ausgangsvariante zu weiteren Analysen der Raumlufttemperaturverläufe herangezogen.

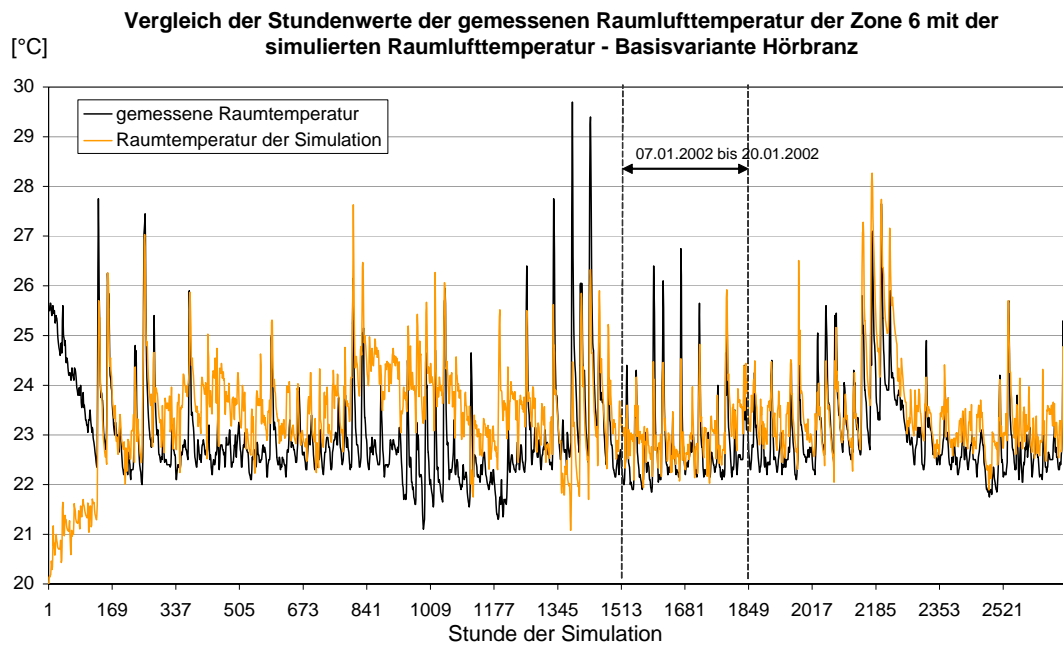


Abbildung 2-28: Simulationstechnisch ermittelte Raumlufttemperatur der Basisvariante Hörbranz im Vergleich zur gemessenen Raumlufttemperatur in der Zone 6

Abbildung 2-29 zeigt eine Gegenüberstellung der gemessenen bzw. der simulierten Raumtemperatur der Zone 6 zu der eingebrachten wirksamen Solarleistung, sowie zu der über die Wärmepumpe gelieferte Wärmemenge und zu den in der Zone erzeugten Innenwärmern. Es ist der Zusammenhang der Spitzenwerte der Solarleistung mit einem entsprechenden Anstieg der Raumtemperatur deutlich erkennbar. Der zeitliche Verlauf der Raumtemperatur folgt leicht zeitversetzt den Spitzenschwankungen der eingebrachten wirksamen Solarleistung. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass die Schwankung der Außenlufttemperatur nur einen geringen Einfluss auf den Verlauf der Raumtemperatur hat.

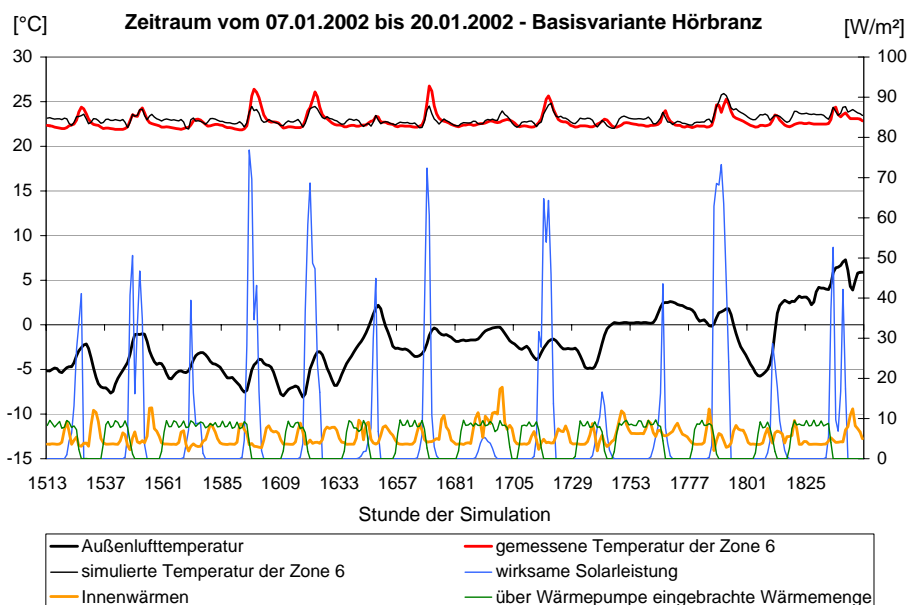


Abbildung 2-29: Raumlufttemperaturen der Innenwärmern und der über die Wärmepumpe eingebrachten Wärmemenge sowie die wirksame Solarleistung von Zone 6 im Zeitraum von 07.01.2002 bis 20.01.2002

Der Haushaltsstromverbrauch liegen in Form von Messdaten vor. Die Innenwärmen hervorgerufen durch anwesende Personen werden aus den Daten von der Befragung der BewohnerInnen und einer angenommenen Wärmeabgabe von 100 W/Person gebildet. Die starken Schwankungen im Verlauf der gesamten Innenwärmen (Abbildung 2-30) werden hauptsächlich durch Spitzenverbräuche an Haushaltsstrom verursacht. Diese Verbrauchsspitzen treten vor allem während der Mittags- und Abendstunden auf

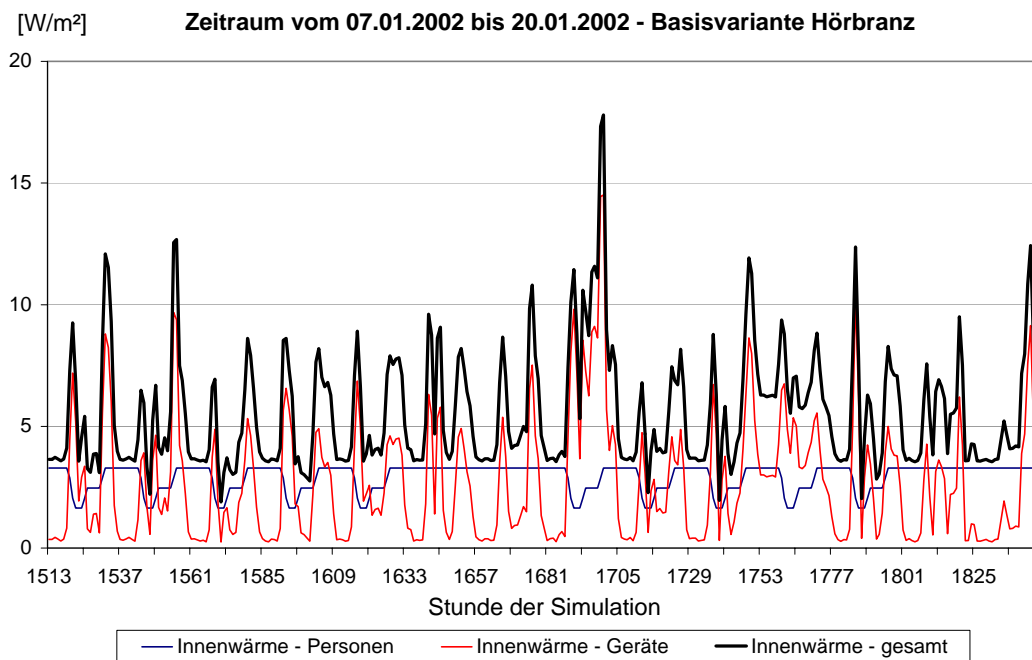


Abbildung 2-30: Haushaltsstromverbrauch und Innenwärmen durch anwesende Personen im Zeitraum von 07.01.2002 bis 20.01.2002

2.4.3 Simulationsaufbau für das Gebäude in Egg

Für das Gebäude in Egg wurde, entsprechend dem Simulationsmodell für das Gebäude in Hörbranz, ein Simulationsmodell erstellt. Die Wohnung 4 (entspricht der Zone 5) wird als betrachtetes System gewählt (siehe Abbildung 2-31). Die in den übrigen Wohnungen gemessenen Raumlufttemperaturen (Wohnung 1 bis 3) werden den entsprechenden Wohnungen aufgeprägt und somit als Randbedingungen für das Vergleichssystem vorgegeben. Im betrachteten System (Zone 5) werden die auftretenden Innenwärmen und die über die Systemgrenzen auftretenden Lüftungsverluste ebenso wie die Wärmegewinne durch die eintretende Solarstrahlung und die Fußbodenheizung für die Simulation berücksichtigt. Der vorgegebene Temperaturverlauf aus dem Erdreich liefert eine Randbedingung für den erdberührenden Bereich der Wohnungen 1 und 2 sowie des Vorraumes (Zone 2, 6, 7 und 8).

Die Ausgangsvariante der Simulation enthält als Klimadaten die Messdaten der Vorortmessung in Egg. Die Werte für die Raumtemperaturen der Wohnungen 1, 2, 3 und 4 sowie die Daten für die mechanische Lüftung (Luftwechselzahl, Temperatur nach dem Erdreichwärmetauscher), die inneren Wärmen (Geräte) und die Heizwärme der Fußbodenheizung der Wohnung 4 stammen ebenfalls von den Messdaten der Vorortmessung in Egg. Die nutzerspezifischen Werte wie die Fensterlüftung und die Anzahl der anwesenden Personen stammen aus der Befragung der BewohnerInnen. Als geometrische Daten werden die Netto-Werte der geometrischen Auswertung verwendet. Des weiteren wird bei der Grundvariante 1c eine Verschmutzung der Fenster angenommen die zu einer Verringerung der Solareinstrahlung durch die Fenster um 8 % führt.

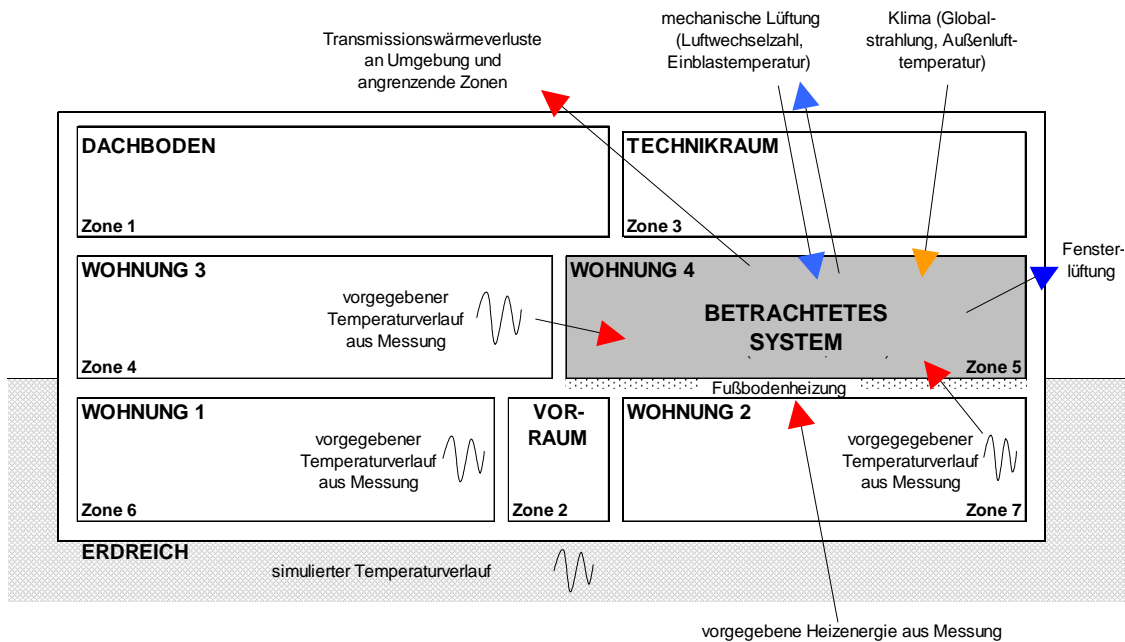


Abbildung 2-31: Randbedingungen für die thermische Simulation des Gebäudes in Egg

Bei der Betrachtung der Raumlufitemperaturverläufe der Ausgangsvariante ist eine deutliche Abweichung der in der Zone 5 gemessenen Temperatur und der aus der Simulation stammenden Temperatur zu erkennen. Die Abweichung zu Beginn der Simulation (in etwa Stunde 0 bis 170) wird durch das Einschwingen der Simulation, ausgehend von den im Simulationsprogramm vorgegebenen Anfangswerten, verursacht und tritt bei jeder thermischen Simulation auf. Die zeitlich darauf folgende Abweichung hat andere Ursachen und muss daher näher untersucht werden.

Für die weitere Analyse der Simulationsergebnisse werden die Ergebnisse nicht mehr über den gesamten Simulationszeitraum sondern nur mehr über eine Woche (07.01.2002 bis 13.01.2002) dargestellt. Die Kurvenverläufe können somit detaillierter dargestellt werden.

Die Analyse der simulierten Raumlufitemperaturkurven zeigte, dass zu Zeiten der Fensterlüftung die Raumlufitemperatur stark absank, die gemessene Raumlufitemperatur zeigte diesen Zusammenhang aber nicht. Dieser Umstand kann dadurch erklärt werden, dass sich der Temperaturmessfühler im Wohnraum befindet und nur die Fenster des Schlafzimmers zum Lüften geöffnet werden. Dadurch verändert sich die Temperatur in der übrigen Wohnung nicht wesentlich, wenn davon ausgegangen wird, dass die Schlafzimmertür während des Lüftens geschlossen bleibt. Vor allem die Absenkung der Temperatur in den Nachtstunden beziehungsweise die ausgeprägten Spitzen am frühen Nachmittag des Verlaufes der gemessenen Temperatur sind beim Verlauf der simulierten Temperatur deutlich schwächer ausgebildet. Ein Grund für diese unterschiedlichen Verläufe liegt darin, dass der Messfühler im Wohnraum befindet. In diesem Raum ist das Verhältnis der Glasfläche zur Wohnfläche mit 33,82 % gegenüber der restlichen Wohnung mit einem Verhältnis von 14,94 % mehr als doppelt so groß. Aus diesem Grund ist im Wohnraum einerseits die wirksame Solarleistung um einiges höher und andererseits in der Nacht die Transmissionswärmeverlust durch die großen Glasflächen größer. Da die gesamte Wohnung als eine Zone angesehen wird, könnten diese Unterschiede der einzelnen Räume in der Ausgangsvariante nicht berücksichtigt werden.

Zur Einbeziehung der unterschiedlichen Voraussetzungen für die Simulation des Wohnraumes, in dem sich der Messfühler befindet, und den Räumen der restlichen Wohnung wird diese Wohnung in zwei Zonen geteilt. Die ursprüngliche Zone 5 wird um die Fläche des Wohnraumes verringert und der

Wohnraum wird als Zone 9 bezeichnet. In Abbildung 2-32 ist die neue Aufteilung der Wohnung 4 in die Zone 5 und Zone 9 zu sehen.

Die Aufteilung der Wärmemenge über die Fußbodenheizung wird durch eine Aufteilung nach dem Verhältnis der Nutzflächen der beiden Zonen bewerkstelligt. Dabei entfallen von der gesamten Wohnfläche der Wohnung 58,9 % auf die Zone 5 und 41,1 % auf die Zone 9. Die Innenwärmen durch Haushaltsgeräte werden ebenfalls nach diesem Flächenverhältnis aufgeteilt. Für die Innenwärme durch anwesende Personen wird angenommen, dass die anwesenden Personen in den Nachtstunden (von 23 Uhr bis 6 Uhr) im Schlafraum (Zone 5) und den restlichen Tag im Wohnraum (Zone 9) beziehungsweise in der übrigen Wohnung (Zone 5) aufhalten. Bei der Aufteilung der über das Lüftungssystem zugeführten Luftmenge werden in den Wohnraum nach den Angaben der Projektinformation [Projektinformation 23,48 % der gesamten Zuluftmenge eingeblasen. Da aus den Daten der Befragung hervorgeht, dass nur im Schlafzimmer die Fenster zum Lüften geöffnet werden, wird die Fensterlüftung der Zone 5 zugeordnet.

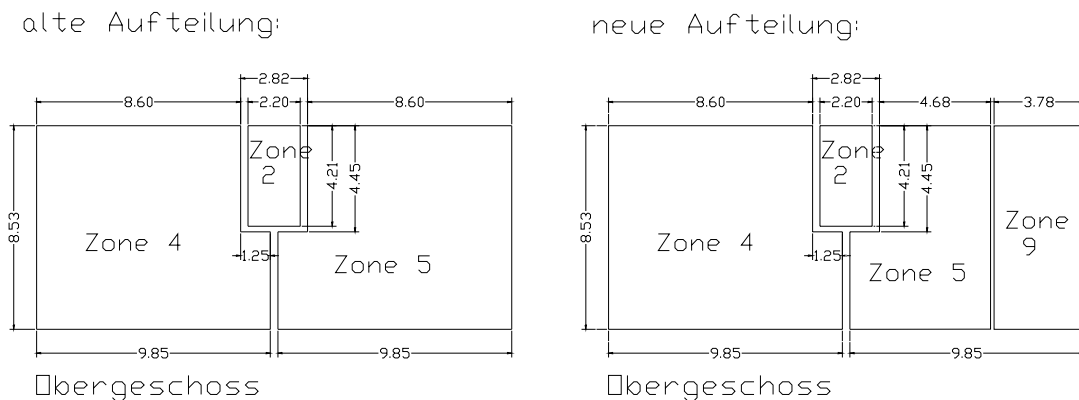


Abbildung 2-32: Unterteilung des Gebäudes in Egg in 9 Zonen

Eine nachträgliche thermographische Analyse der Gebäudehülle [Projektinformation 23] ermittelte für die eingebauten Fenster einen mittleren U-Wert von $0,858 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Das verwendete Fenstermodell wurde diesem Messergebnis angepasst. Durch die Verwendung des höheren U-Wertes ist das simulierte Temperaturniveau gegenüber der Ausgangsvariante um ca. $0,5^\circ\text{C}$ gesunken.

Aus den beschriebenen Änderungen des Aufbaus der thermischen Zonierung und den Anpassungen der thermischen Werte der Fenster ergeben sich die Eingabeparameter für die Variante Egg. Abbildung 2-33 zeigt die dazu gehörigen wesentlichen Wärmeströme exemplarisch für den Zeitraum vom 07.01.2002 bis 11.02.2002. In Abbildung 2-34 ist die numerische Auswertung des Vergleiches zwischen berechneter und gemessener Raumlufttemperatur im Vergleichszeitraum dargestellt.

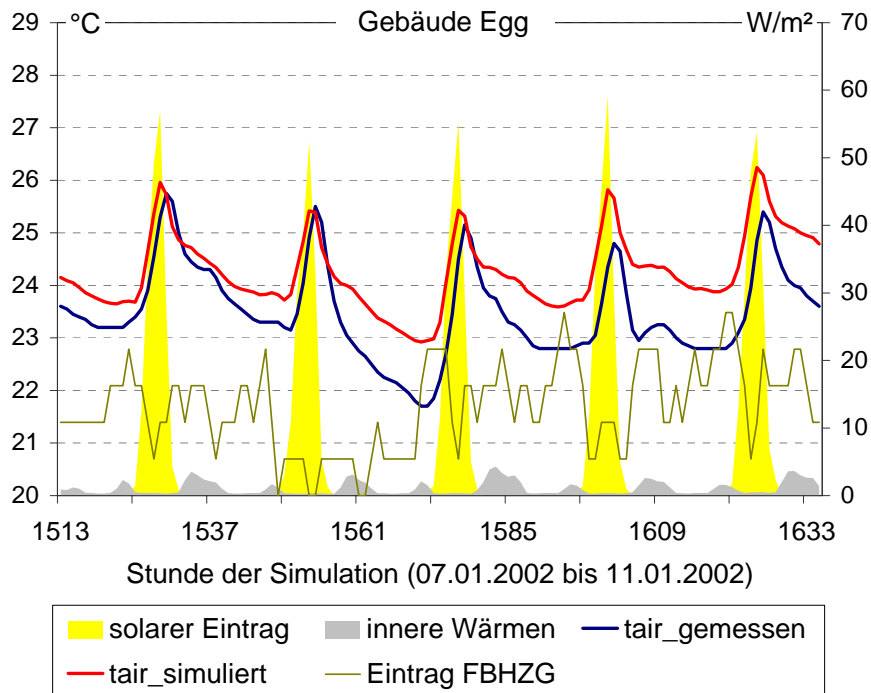


Abbildung 2-33: Gemessene und simulierte Raumlufttemperatur, inneren Wärmen, eingebrachte Wärmemenge der Fußbodenheizung und wirksamer Solaretrag

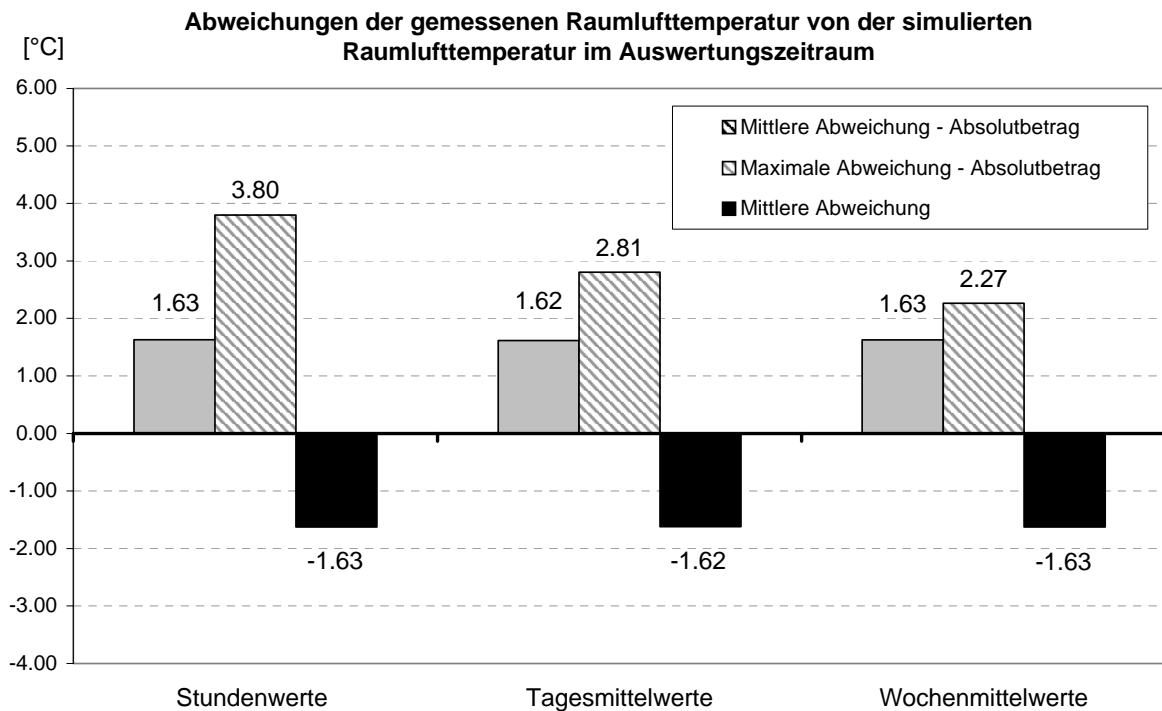


Abbildung 2-34: Abweichungen der gemessenen Raumlufttemperatur von der mittels Simulation ermittelten Raumlufttemperatur im Auswertungszeitraum

2.5 Sensitivitätenanalyse verschiedener Eingabeparameter

Für die Bewertung eines Gebäudes oder eines Heizungssystems ist das Verständnis über die inneren thermischen Vorgänge von zentraler Bedeutung. Betrachtet man das thermische Modell eines Gebäudes im zeitlichen Verlauf, so ist eine ständige Wechselwirkung zahlreicher thermischer Einflussgrößen zu sehen. Es stellt sich nun die Frage der Sensitivitäten der einzelnen Parameter bezüglich einer untersuchten Größe, d.h. sozusagen die Wichtigkeit eines Parameters für das gewünschte Ergebnis. In diesem Kapitel wird die Sensitivität verschiedener Parameter der Simulation untersucht. Die Umsetzung geschieht jeweils in zwei Schritten. Zuerst wird ein Eingabeparameter (bzw. dessen Verlauf im Simulationszeitraum) geändert, danach wird die Auswirkung dieser Veränderung auf den Verlauf des untersuchten Parameters (hier ist das der Raumlufttemperaturverlauf) bewertet.

2.5.1 Erklärung der Bewertungsparameter und Szenarienübersicht

Die angenommenen Szenarien werden so gewählt, dass sie in der Realität mögliche Ausgangssituationen bezüglich der vorhandenen Eingabeparameter einer thermischen Simulation darstellen. Für das Gebäude in Hörbranz werden von der in Kapitel „Simulationsaufbau für das Gebäude in Hörbranz“ beschriebenen Basisvariante Hörbranz ausgehend verschiedene Änderungen in den Eingabeparameter vorgenommen um die dadurch hervorgerufenen Abweichungen im Raumlufttemperaturverlauf zu untersuchen.

Als Maßstab für die Abweichung wird die Differenz zwischen der gemessenen Raumlufttemperatur der untersuchten Zone von der simulierten Raumlufttemperatur dieser Zone (Stundenwerte) gewählt.

$$\div T_{\text{mess,ber,n}} = \text{Messwert} - \text{simulierter Wert}$$

Bei der Analyse der Ergebnisse wird zwischen folgenden Begriffen unterschieden:

mittlere absolute Abweichung ($\div T_{\text{abs}}$):

$$\div T_{\text{abs}} \left| \frac{\sum_{n=1}^N \div T_{\text{mess,ber,n}}}{N} \right|$$

maximale absolute Abweichung ($\div T_{\text{max}}$):

$$\div T_{\text{max}} \left| \max \left| \div T_{\text{mess,ber,n}} \right| \right|$$

mittlere Abweichung ($\div T$):

$$\div T \left| \frac{\sum_{n=1}^N \div T_{\text{mess,ber,n}}}{N} \right|$$

Unter „mittlere absolute Abweichung“ wird hier der Mittelwert der Absolutbeträge der Differenzen zwischen den Messwerten der Raumtemperatur der Vergleichszone und den entsprechenden Rechenwerten der Simulation verstanden. Analog dazu ist die „maximale absolute Abweichung“ der Maximalwert der Absolutbeträge dieser Differenzen. Die „mittlere Abweichung“ ist der Mittelwert der

tatsächlichen Differenzen. Eine Übersicht der gewählten Varianten ist in Tabelle 2-35 zu sehen. Eine genauere Beschreibung und Analyse dieser Varianten ist in den folgenden Kapiteln dargestellt.

Tabelle 2-35: Übersicht der gewählten Varianten für das Gebäude in Hörbranz

Typ	Kapitel	Bezeichnung der Variante	Beschreibung
Klima	siehe Kapitel 2.5.2	H_1c	Außenlufttemperatur und Globalstrahlung -Messwerte der Messung vor Ort Entspricht der Basisvariante Hörbranz
		H_K1	Außenlufttemperatur und Globalstrahlung -Messwerte der ZAMG
		H_K2	Außenlufttemperatur - Messwerte der ZAMG
		H_K3	Globalstrahlung -Messwerte der ZAMG
Innenwärmen	Siehe Kapitel 2.5.3	H_1c	Innenwärmen lt. Nutzerprofil aus Befragung und gemessenen Haushaltsstromverbrauch Entspricht der Hörbranz
		H_IW1	Innenwärmen lt. ÖNORM B 8110 (3 W/m ² Bruttogeschossfläche, 90 W/Person)
		H_IW2	Innenwärmen lt. Nutzerprofil für eine Durchschnittswoche, Anzahl der anwesenden Personen lt. Nutzerprofil für einen Durchschnittstag
		H_IW3	Innenwärmen lt. VDI 2067 (38 kWh/(m ² a) bezogen auf die Nutzfläche entsprechen 4,34 W/m ² innere Lasten durch Personen und Geräte)
Fenster-Lüftung	Siehe Kapitel 2.5.4	H_1c	Angenommene Luftgeschwindigkeit im Spalt v=1,5 m/s Entspricht der Basisvariante Hörbranz
		H_F1	Angenommene Luftgeschwindigkeit im Spalt v=3 m/s
		H_F2	Angenommene Luftgeschwindigkeit im Spalt v=6 m/s
Temperatur der angrenzenden Zonen	Siehe Kapitel 2.5.5	H_1c	Messdaten der Raumtemperatur der angrenzenden Zonen Entspricht der Basisvariante Hörbranz
		H_Z1	Raumtemperatur der angrenzenden Zonen lt. ÖNORM B 8110-1 (20°C)
		H_Z2	Raumtemperatur der angrenzenden Zonen lt. ISO 7730 (22°C)
		H_Z3	durchschnittliche Raumtemperatur aus Messwerten mehrerer Wohnanlagen (23°C)
Kombinationen		H_X1	Außenlufttemperatur und Globalstrahlung -Messwerte der ZAMG (H_K1) Innenwärmen lt. Nutzerprofil für eine Durchschnittswoche, Anzahl der anwesenden Personen lt. Nutzerprofil für einen Durchschnittstag (H_IW2)
		H_X2	Außenlufttemperatur und Globalstrahlung -Messwerte der ZAMG (H_K1) Innenwärmen lt. VDI 2067 (38 kWh/(m ² a) bezogen auf die Nutzfläche entsprechen 4,34 W/m ² innere Lasten durch Personen und Geräte) (H_IW3)
		H_X3	Außenlufttemperatur und Globalstrahlung -Messwerte der ZAMG (H_K1) Innenwärmen lt. VDI 2067 (38 kWh/(m ² a) bezogen auf die Nutzfläche entsprechen 4,34 W/m ² innere Lasten durch Personen und Geräte) (H_IW3) Raumtemperatur der angrenzenden Zonen lt. ÖNORM B 8110-1 (H_Z1)

Die einzelnen Kapitel sind nach dem folgenden, sich wiederholenden Schema aufgebaut:

Zuerst werden die verschiedenen Varianten definiert, anschließend werden die Simulationsergebnisse in Form von Abbildungen dargestellt. Diese entsprechen den Temperaturverläufen der gemessenen und simulierten Raumtemperatur der Vergleichszonen (Hörbranz Zone 6 und Egg Zone 9) der einzelnen Varianten in Stundenwerten über den gesamten Simulationszeitraum wie auch über den Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002. Darauf folgt ein Vergleich der Abweichungen der gemessenen Raumtemperatur von der gerechneten Temperatur der Simulation. Diese Abweichungen werden nach den oben beschriebenen Formeln bewertet.

2.5.2 Klimaszenarien – Gebäude Hörbranz

Zu den Eingabeparametern des Klimas zählen die Außenlufttemperatur, die Luftfeuchtigkeit der Umgebungsluft, die Global- und die Diffusstrahlung und die Temperatur des angrenzenden Erdreiches. Als Messdaten vor Ort stehen die Außenlufttemperatur und die Globalstrahlung in Form von Stundenwerten über den Simulationszeitraum zur Verfügung. Die Globalstrahlung und die Außenlufttemperatur von Bregenz liegen ebenso als Messdaten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) vor. Für den Taupunkt und die Diffusstrahlung sind keine Messdaten vorhanden, diese Parameter werden vom Simulationsprogramm berechnet. Für die Temperatur des Erdreiches liegen keine Messdaten vor, diese Daten werden wie in Kapitel „Klimatische Randbedingungen“ beschrieben angenommen. Da in der Realität nicht immer in diesem Ausmaß Messdaten beziehungsweise anderes Datenmaterial verfügbar ist, werden in dieser Analyse verschiedene Annahmen bezüglich der Art und des Umfangs der vorhandenen Daten getroffen. Mit diesen Annahmen werden die so entstandenen verschiedenen Varianten thermisch simuliert und die Ergebnisse ausgewertet.

Ein Vergleich der Messdaten der ZAMG in Bregenz mit den Daten aus der Messung vor Ort in Hörbranz am Beispiel zweier Wochen im Simulationszeitraum ist in Abbildung 2-35 und Abbildung 2-36 ersichtlich. Hier ist zu erkennen, dass die Messdaten der Außenlufttemperatur kaum voneinander abweichen, bei der Globalstrahlung liegen die Werte der ZAMG allerdings deutlich über den Messwerten vor Ort.

Die Basisvariante Hörbranz (H_1c) enthält als Eingabeparameter die an Ort und Stelle durchgeführten Messungen der Außenlufttemperatur und der Globalstrahlung. Dies entspricht auch dem Eingabedatensatz der Basisvariante Hörbranz. Für die Variante H_K1 werden als Eingabeparameter (Außenlufttemperatur und Globalstrahlung) die Messwerte der ZAMG in Bregenz herangezogen. Dieses Szenario tritt häufig auf, da nur in seltenen Fällen die tatsächlichen Messdaten am Gebäude vorliegen. Die Simulationsergebnisse dieser Variante sind in Abbildung 2-37 und Abbildung 2-40 dargestellt.

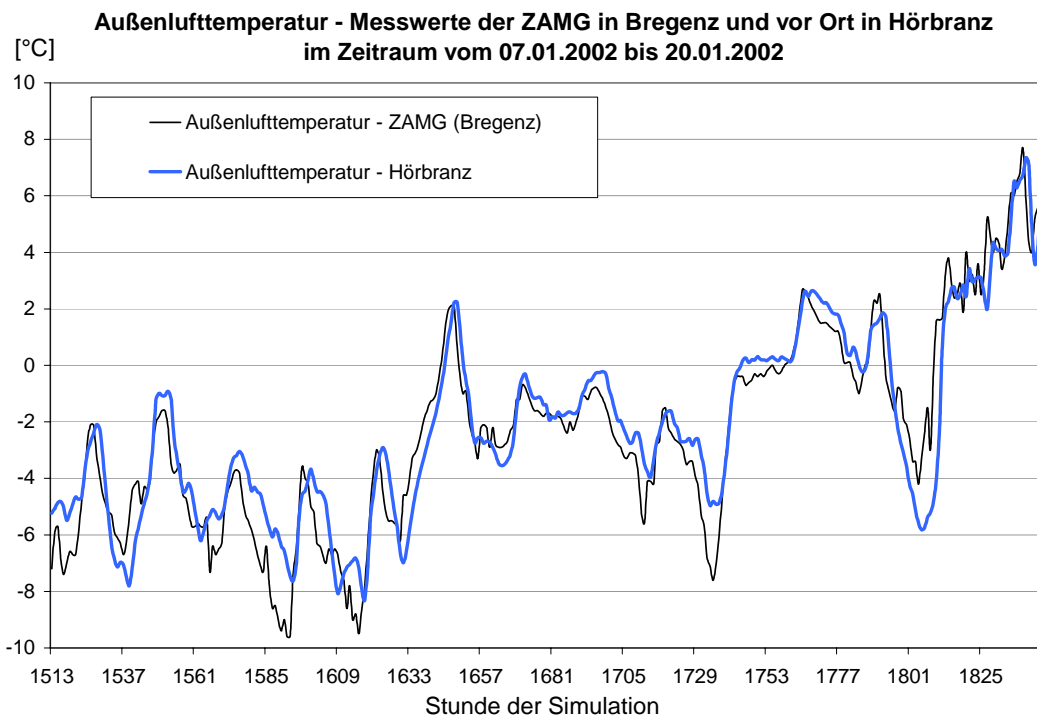


Abbildung 2-35: Messwerte der Außenlufttemperatur der ZAMG (Bregenz) und der Messung vor Ort (Hörbranz)

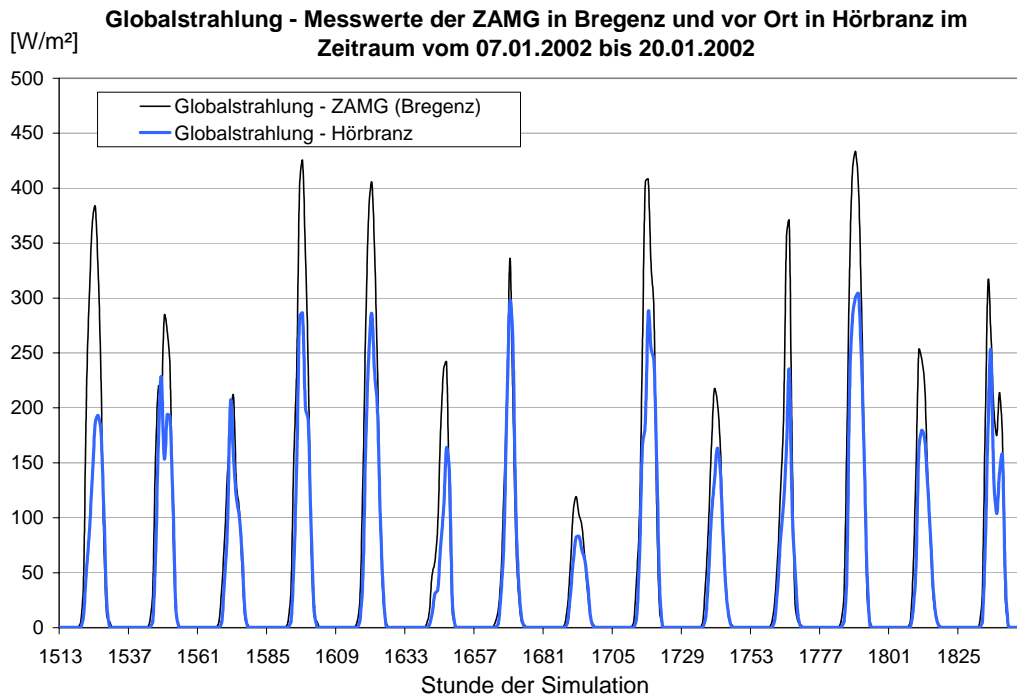


Abbildung 2-36: Messwerte der Globalstrahlung der ZAMG (Bregenz) und der Messung vor Ort (Hörbranz)

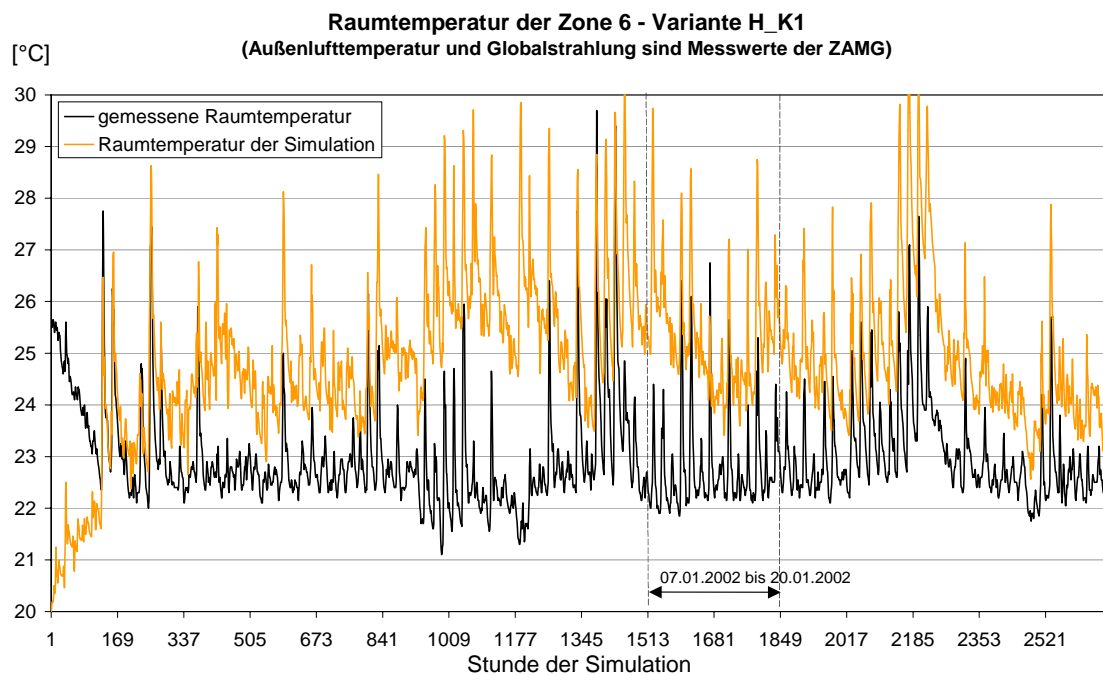


Abbildung 2-37: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Variante H_K1 der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Stundenwerte

Als Eingabeparameter für die Variante H_K2 werden einerseits für die Außenlufttemperatur die Messwerte der ZAMG und andererseits für die Globalstrahlung die Messdaten der Vorortmessung verwendet. Die Simulationsergebnisse dieser Variante findet man in Abbildung 2-38 und Abbildung 2-41. Die Variante H_K3 wiederum verwendet die lokalen Messwerte der Außenlufttemperatur und die Messwerte der Globalstrahlung stammen von der ZAMG. Die Simulationsergebnisse der

Variante H_K3 sind in Abbildung 2-39 und Abbildung 2-42 ersichtlich. Die Abweichungen zwischen Messwert und den Rechenwerten der einzelnen Varianten sind einander in Form von Stundenwerten in Abbildung 2-43 gegenübergestellt. Eine Übersicht über die Abweichungen liefert die Tabelle 2-37.

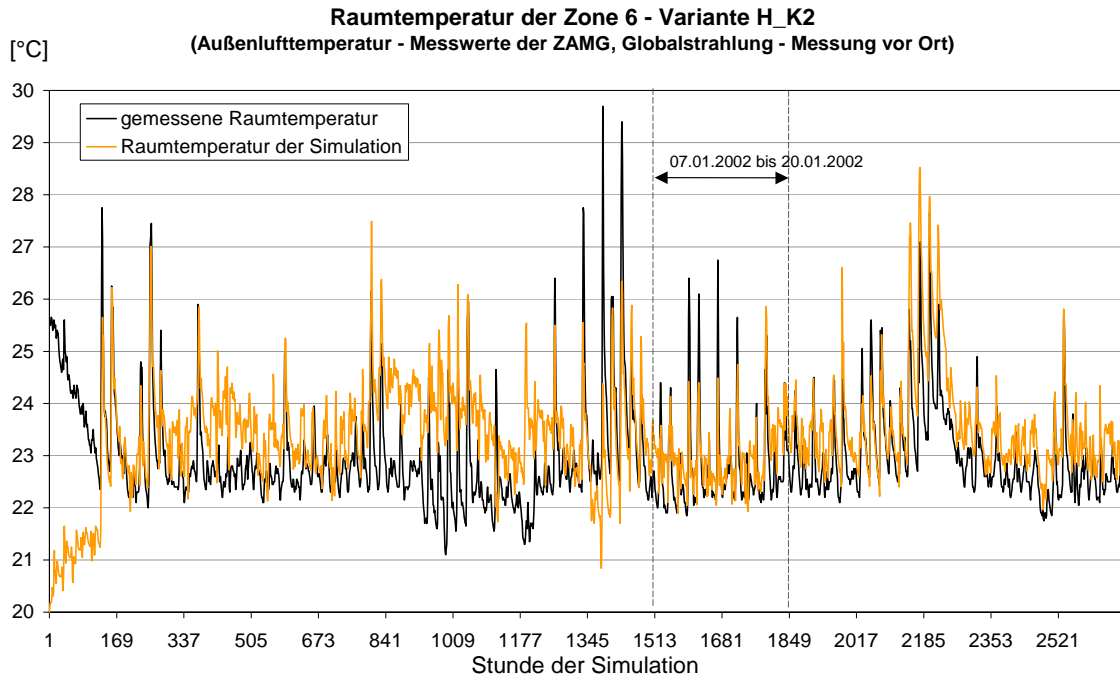


Abbildung 2-38: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Variante H_K2 der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Stundenwerte

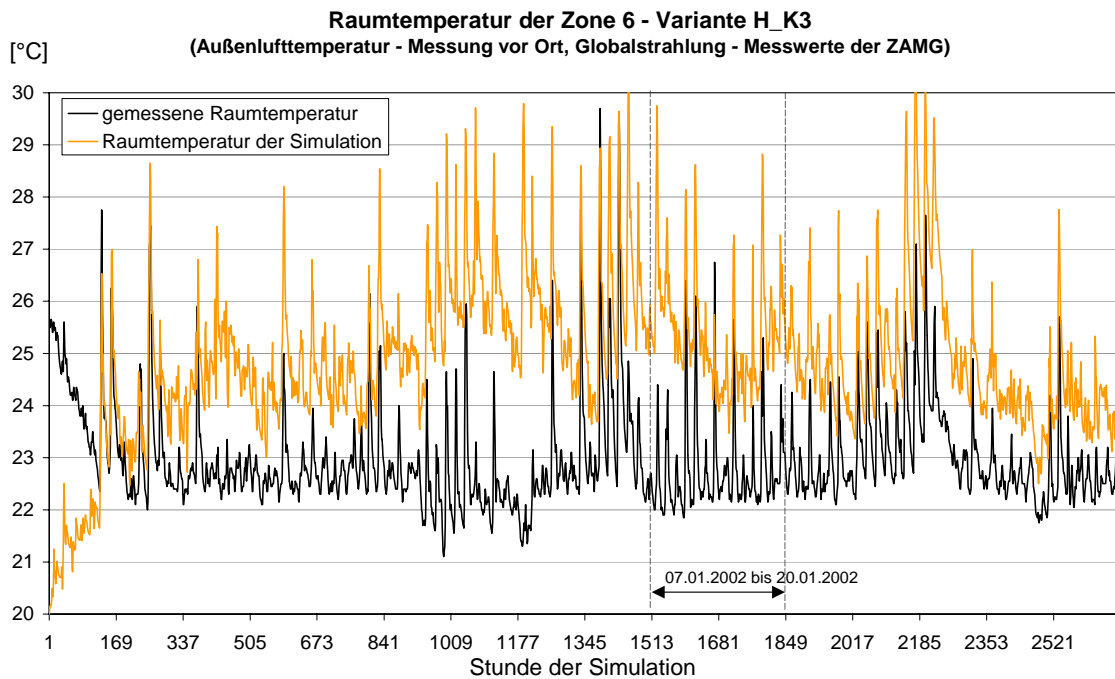


Abbildung 2-39: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Variante H_K3 der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Stundenwerte

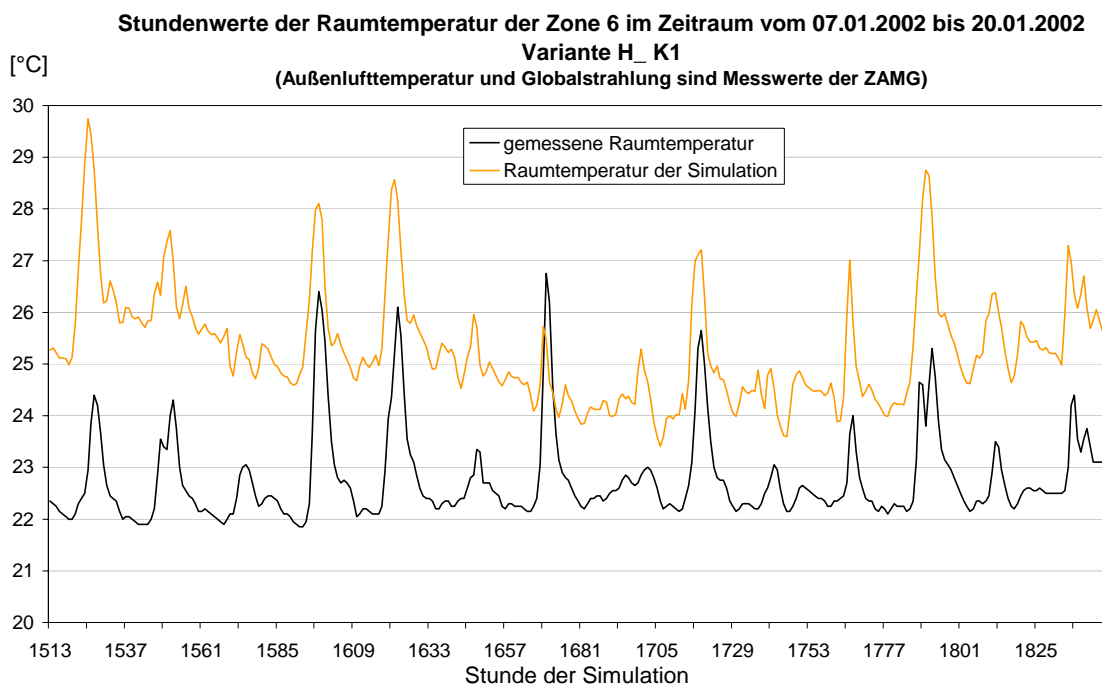


Abbildung 2-40: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_K1 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 - Stundenwerte

Bei der Betrachtung der Abbildung 2-40, Abbildung 2-41 und Abbildung 2-42 fällt auf, dass sich der Verlauf der simulierten Temperatur nicht nur vom Niveau her deutlich verändert, sondern auch die Spitzen am frühen Nachmittag der Varianten H_K1 und H_K3 merklich ausgeprägter sind als die der Variante H_K2 beziehungsweise der Basisvariante Hörbranz (H_1c). Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass die Messdaten der Globalstrahlung der ZAMG bei den Spitzenwerten um einiges höher liegen als die der Messung vor Ort in Hörbranz (siehe Abbildung 2-36).

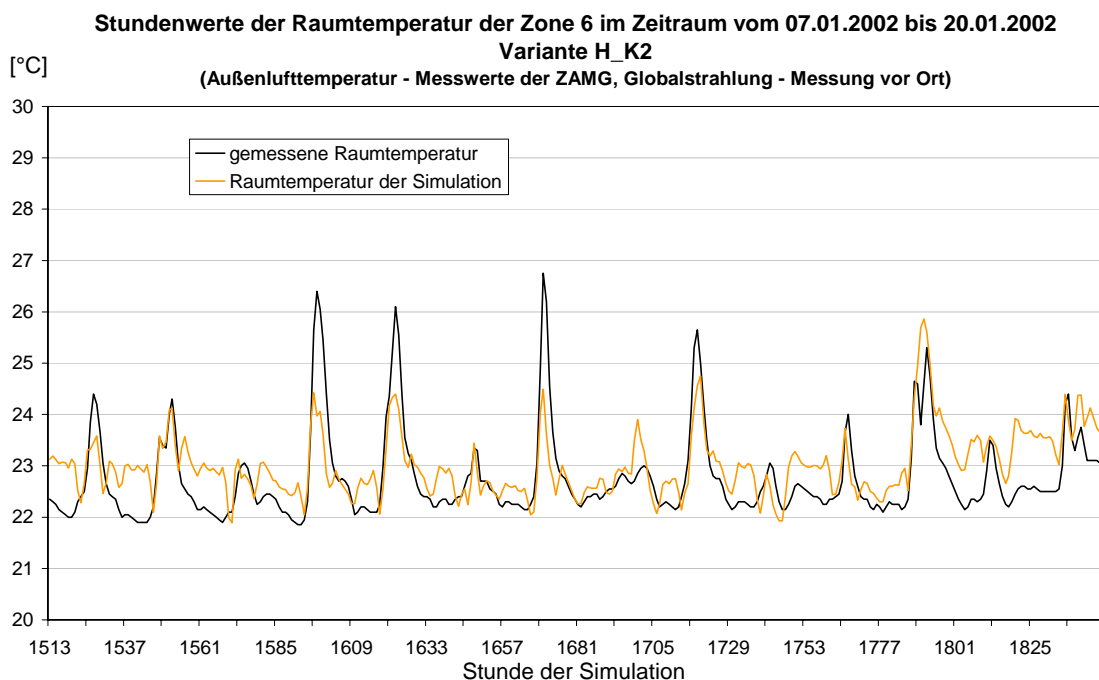


Abbildung 2-41: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_K2 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 – Stundenwerte

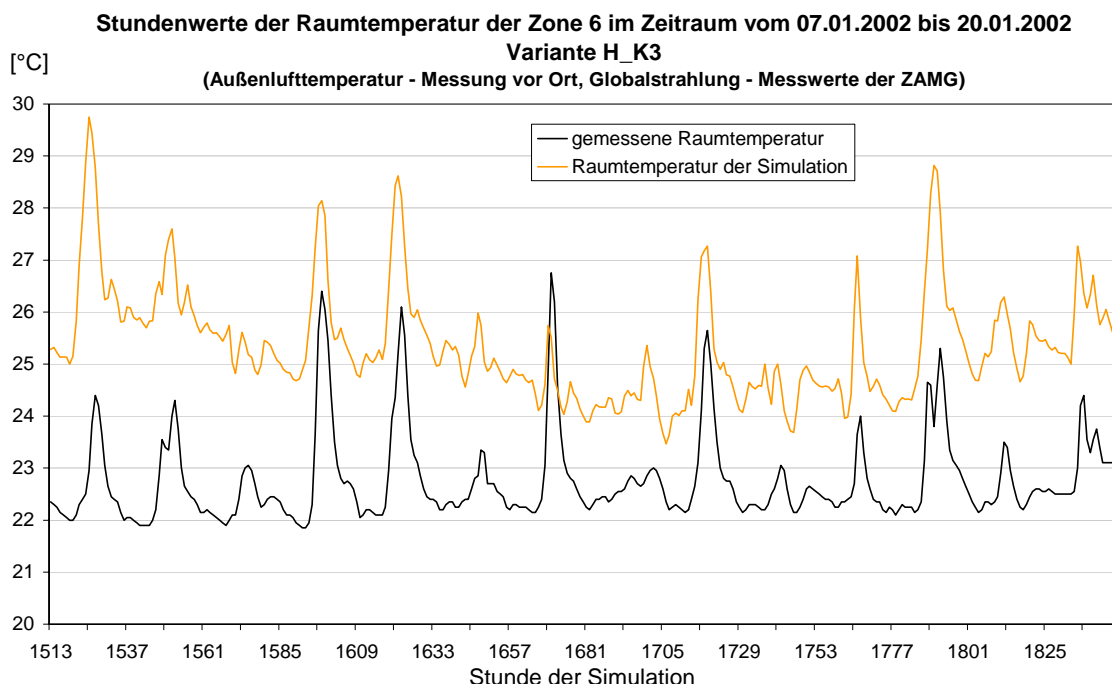


Abbildung 2-42: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_K3 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 – Stundenwerte

Die Tabelle 2-36 stellt einen Vergleich der Abweichungen der simulierten Raumtemperaturen der Variante H_1c von denen der Varianten H_K1 bis H_K3 dar. Daraus wird ersichtlich, dass die Änderung der Eingabeparameter der Variante H_K2 nur einen geringen Einfluss auf das Simulationsergebnis hat, wogegen bei den Varianten H_K1 und H_K3 eine deutliche Abweichung der Ergebnisse von denen der Grundvariante zu sehen ist.

Tabelle 2-36: Vergleich der Simulationsergebnisse der Variante H_1c mit denen der Varianten H_K1, H_K2 und H_K3 der Zone 6 im Vergleichszeitraum

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)			
Abweichung der Stundenwerte der simulierten Raumtemperatur der Variante H_1c von der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]			
Variante	mittlere absolute Abweichung $\div \Pi_{abs}$	maximale absolute Abweichung $\div \Pi_{max}$	mittlere Abweichung $\div \Pi$
H_K1	1,63	6,42	-1,63
H_K2	0,08	0,34	-0,04
H_K3	1,59	6,43	-1,59

Die Tabelle 2-37 zeigt einen Vergleich der Abweichungen der Messwerte der Raumtemperatur mit dem Simulationsergebnis der Varianten H_1c, H_K1, H_K2 und H_K3. Aus den Daten dieser Tabelle wird ersichtlich, dass die simulierte Raumtemperatur aller angeführten Varianten tendenziell über der gemessenen liegt. Dies wird durch die Tatsache begründet, dass die mittlere Abweichung (Differenz der tatsächlichen gemessenen zur simulierten Raumtemperatur) stets einen negativen Wert ergibt.

Tabelle 2-37: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_1c, H_K1, H_K2 und H_K3 der Zone 6 im Vergleichszeitraum

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\div \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\div \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\div \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1c	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_K1	2,08	2,07	2,08	6,79	3,90	2,39	-2,08	-2,07	-2,08
H_K2	0,61	0,53	0,49	3,77	1,57	0,83	-0,49	-0,49	-0,49
H_K3	2,04	2,03	2,04	6,80	3,92	2,23	-2,04	-2,03	-2,04

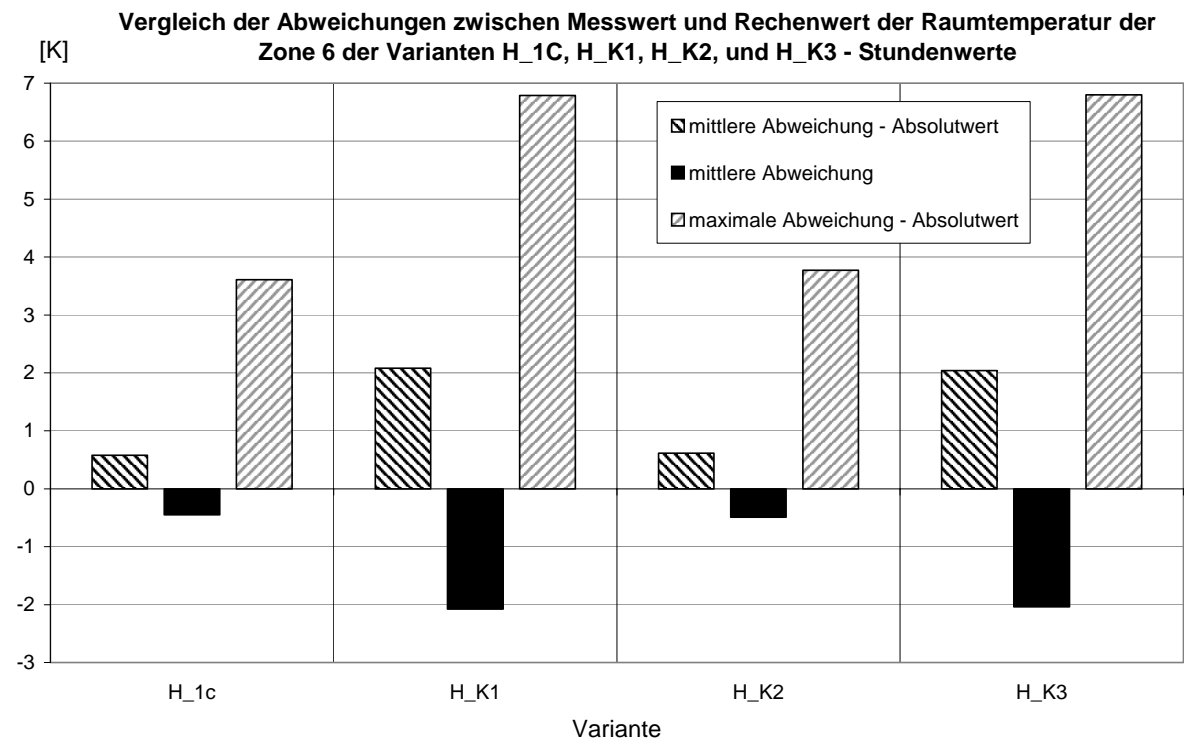


Abbildung 2-43: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_1c, H_K1, H_K2 und H_K3 der Zone 6 im Vergleichszeitraum - Stundenwerte

Die Problematik der Unsicherheit der Messdaten wird besonders beim Vergleich der Ergebnisse der thermischen Simulation der Varianten H_K1 und H_K3 mit den Ergebnissen der Basisvariante Hörbranz deutlich. Hier sieht man eine starke Abweichung der Rechenwerte von den Messwerten. Der Grund dafür liegt vor allem in den erörterten Unterschieden zwischen den Messwerten der Globalstrahlung der ZAMG und den Messungen vor Ort und dem großen Einfluss der Globalstrahlung auf das Simulationsergebnis. In Abbildung 2-36 sind diese Unterschiede anhand zweier Wochen des Simulationszeitraumes nochmals verdeutlicht.

Bei den Simulationsergebnissen der Variante H_K2 fallen die Abweichungen nicht so signifikant aus, da die Temperaturmessungen vor Ort nur geringfügig von denen der ZAMG abweichen. Die geringen Unterschiede der Temperaturmesswerte der ZAMG in Bregenz und vor Ort in Hörbranz ist in Abbildung 2-35 demonstriert.

2.5.3 Szenarien verschiedener Innenwärmern – Gebäude Hörbranz

Die Innenwärmern setzen sich aus den inneren Lasten hervorgerufen durch Geräte und anwesende Personen zusammen. Bei dem betrachteten Gebäude liegt die Grundlage für die durch Geräte erzeugte Abwärme in Form von Messdaten des Haushaltsstromverbrauches vor. Für die Berechnung der Abwärme, die durch die anwesenden Personen verursacht wird, liegen Anwesenheitsprofile aus einer Befragung der BewohnerInnen des Gebäudes vor. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, gibt es für die Höhe der Wärmeabgabe des Menschen je nach Bekleidungsart und Aktivitätsgrad unterschiedliche Zahlenwerte. In den verschiedenen Normen werden auch unterschiedliche Rechenwerte für innere Wärmequellen angegeben. Da in der Realität nur selten Daten über das Nutzerverhalten der BewohnerInnen aus Befragungen beziehungsweise aus Messungen vorliegen, werden in diesem Kapitel einige Szenarien über mögliche Annahmen der Innenwärmern und den daraus resultierenden Simulationsergebnissen untersucht.

Die erste Variante (H_1c) entspricht der „Basisvariante Hörbranz“. Diese enthält als Eingabeparameter für die Innenwärmern 2 Komponenten. Einerseits den Wärmeeintrag durch Geräte (errechnet aus den Vorortmessungen des Stromverbrauches in Hörbranz) und andererseits den Wärmeeintrag durch Personen (errechnet aus den Belegungsprofilen der Befragung in Hörbranz). Die Wärmeabgabe durch Personen wird mit 100 W/P angesetzt. Dabei ist zu beachten, dass davon nur 60 W als sensibler Wärmeanteil angesetzt werden und somit Raumlufttemperatur erhöhend wirken (40 W latente Wärmeabgabe). Die Simulationsergebnisse dieser Variante sind in 2.4.2 ersichtlich.

Die Variante H_IW1 basiert auf den Rechenwerten der ÖNORM B 8110-1 für innere Wärmequellen (siehe Kapitel 2.3.2). Hier werden für Beleuchtung und Haushaltsgeräte 3 W/m² Bruttogeschossfläche und für Personen 90 W/Person als Wärmeabgabe herangezogen. Für die Anzahl der anwesenden Personen werden die Daten aus der Befragung der BewohnerInnen verwendet. Die Ergebnisse der Simulation dieser Variante sind in Abbildung 2-44 und Abbildung 2-45 zu sehen.

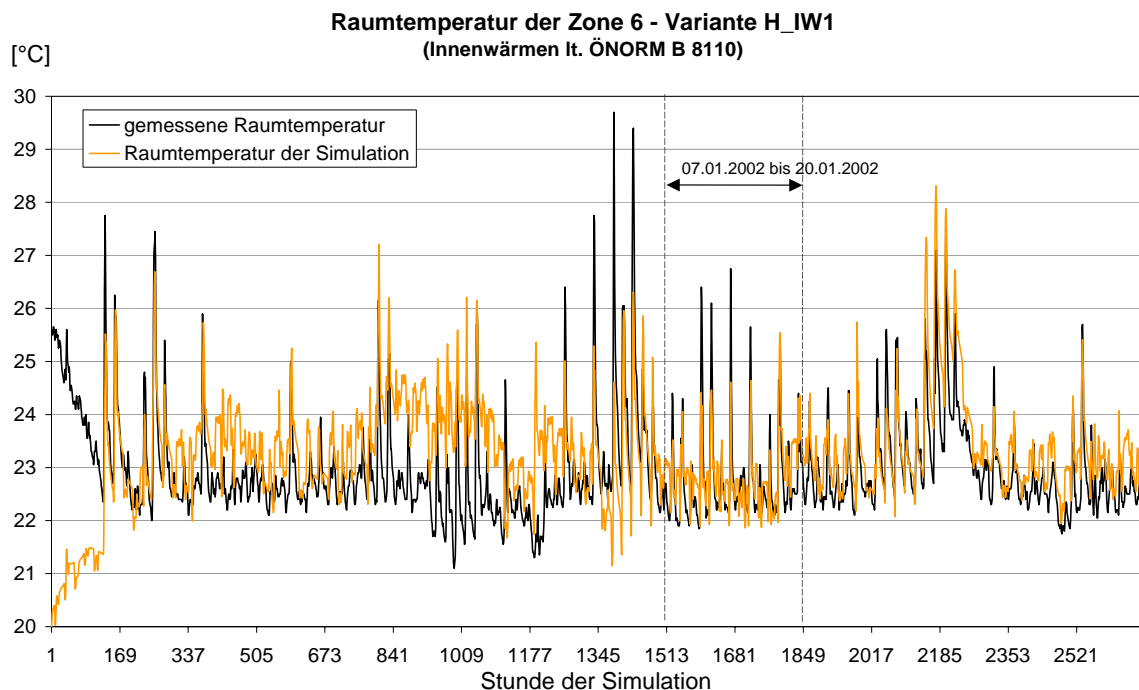


Abbildung 2-44: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_IW1 der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Stundenwerte

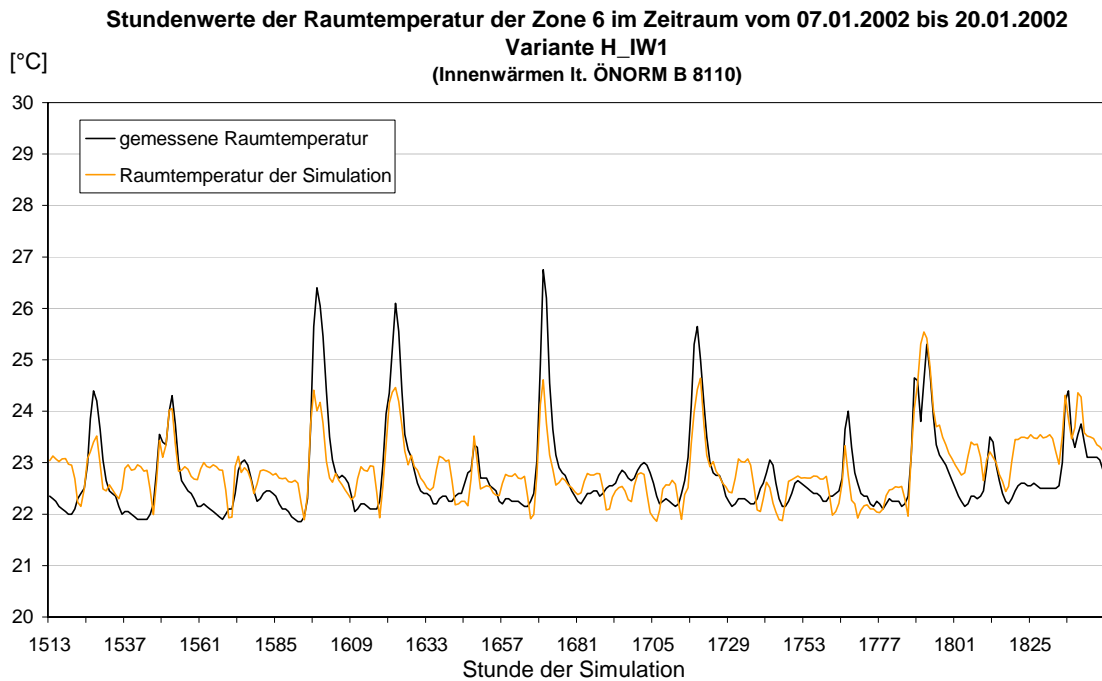


Abbildung 2-45: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_IW1 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 - Stundenwerte

Als Eingabeparameter für die Variante H_IW2 werden die Innenwärmern entsprechend eines durchschnittlichen Nutzerprofils vorgegeben. Dieses wurde aus Messdaten und den Daten einer Befragung von BewohnerInnen mehrerer Wohnanlagen (Niedrigenergiebauten bzw. Passivhäuser) erstellt (siehe Kapitel 3). Die Simulationsergebnisse dieser Variante zeigt Abbildung 2-46 und Abbildung 2-47.

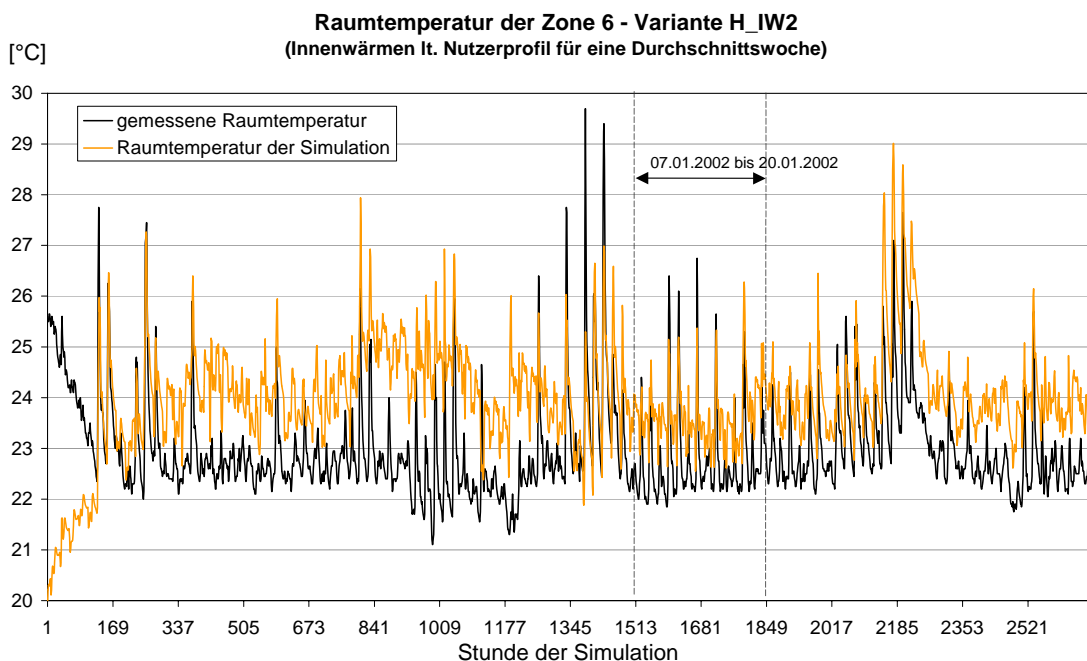


Abbildung 2-46: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_IW2 der Zone 6 im Vergleichszeitraum - Stundenwerte

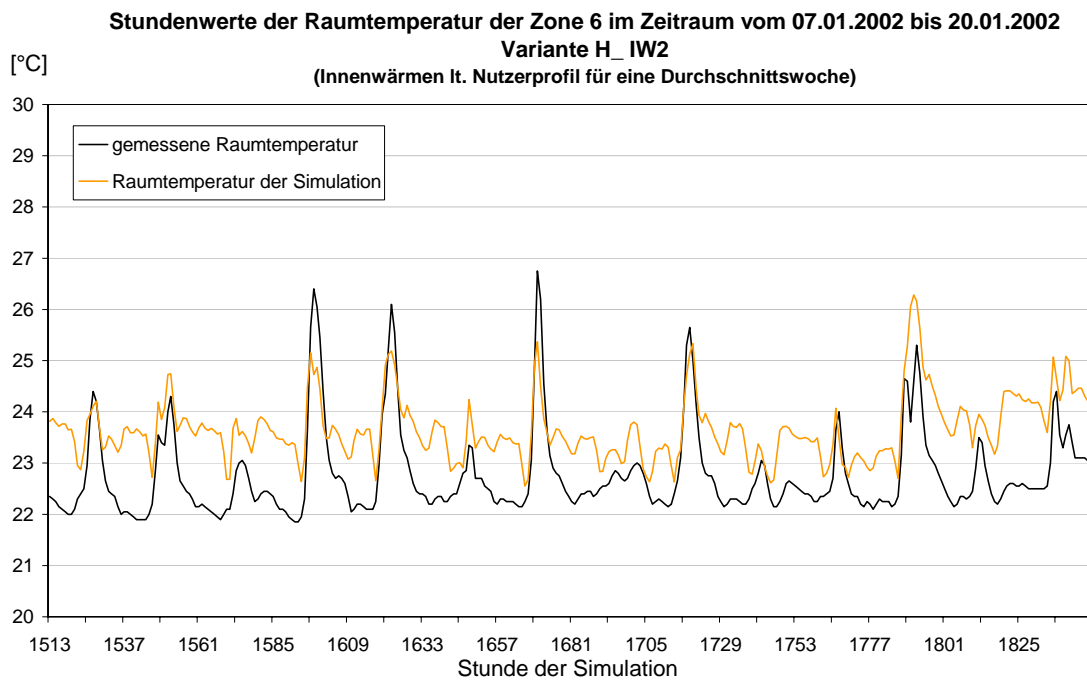


Abbildung 2-47: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_IW2 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 – Stundenwerte

Für die Variante H_IW3 werden die Rechenwerte, die in der VDI 2067 als Anhaltswerte für den inneren Wärmegewinn angegeben sind verwendet (siehe Kapitel 2.3.2). Diese Norm gibt als Rechenwerte für den Fremdwärmeanfall durch innere Lasten für Wohnungen einen Wert von 38 kWh/(m²a) (bezogen auf die beheizte Nutzfläche) an. Dieser Wärmegewinn setzt sich aus den Wärmeabgaben von Personen, Geräten und Beleuchtung zusammen. Dieser Anhaltswert entspricht einer Innenwärme von 4,34 W/m² (hervorgerufen durch Personen und Geräte). Die Simulationsergebnisse dieser Variante sind in Abbildung 2-48 und Abbildung 2-49 ersichtlich.

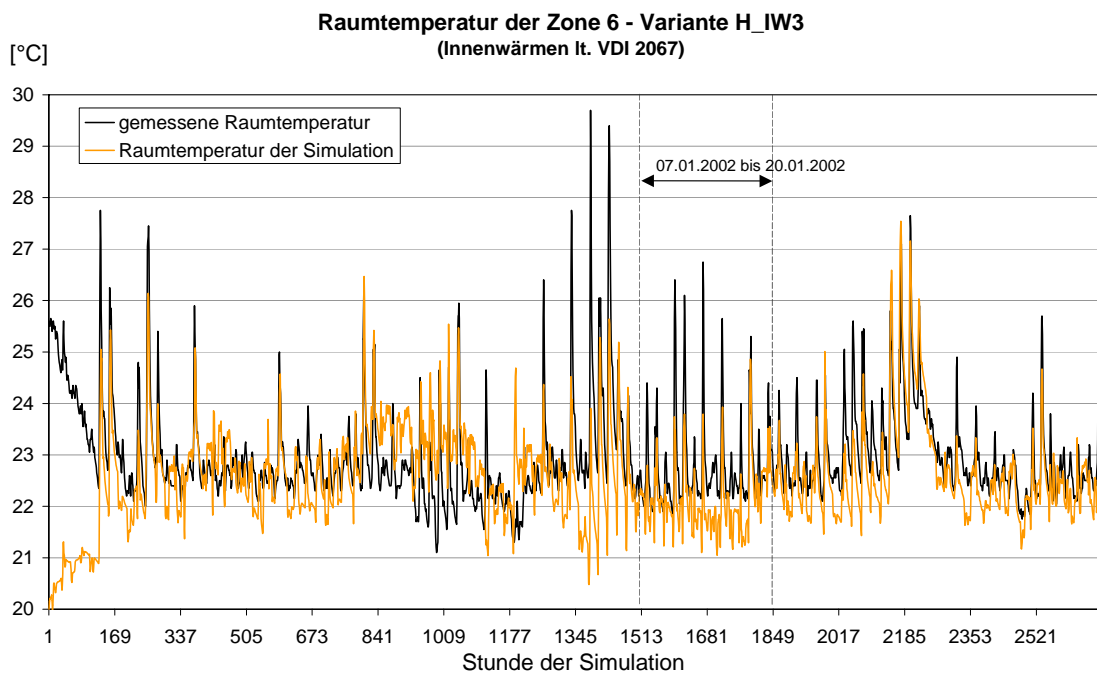


Abbildung 2-48: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_IW3 der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Stundenwerte

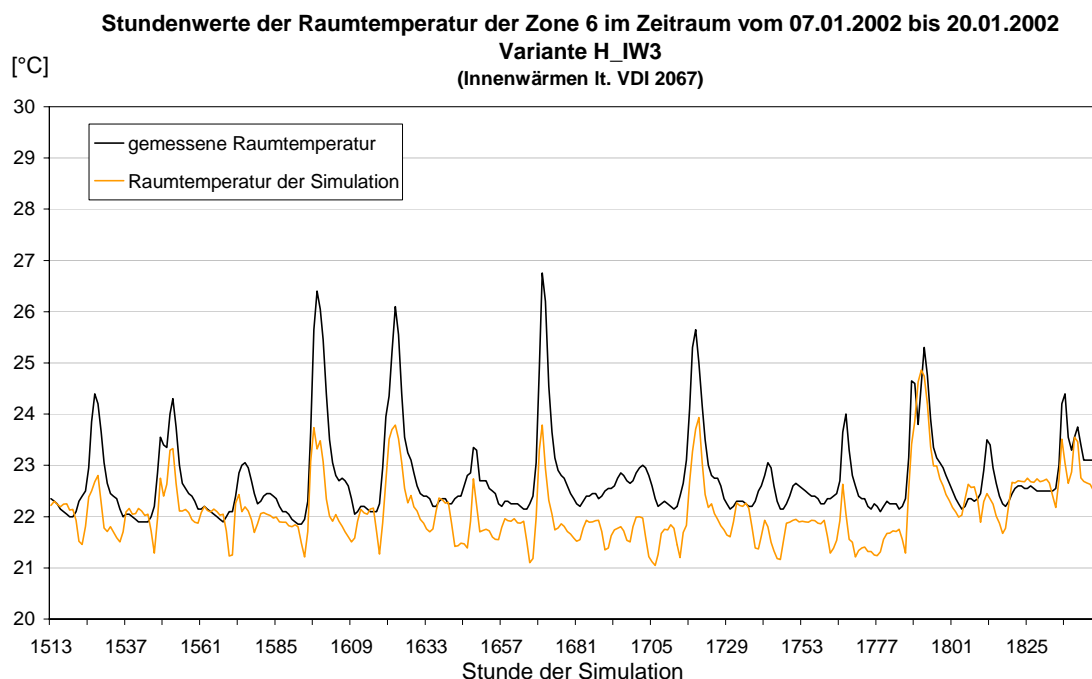


Abbildung 2-49: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_IW3 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 - Stundenwerte

Ein Vergleich der eingebrachten Innenwärmen der verschiedenen Varianten ist in Abbildung 2-50 zu sehen. Bei diesem Vergleich wird ersichtlich, dass die aus der Befragung beziehungsweise Messung stammenden Daten deutlich größere Schwankungen und höhere Spitzenwerte haben als die Anhaltswerte der Normen.

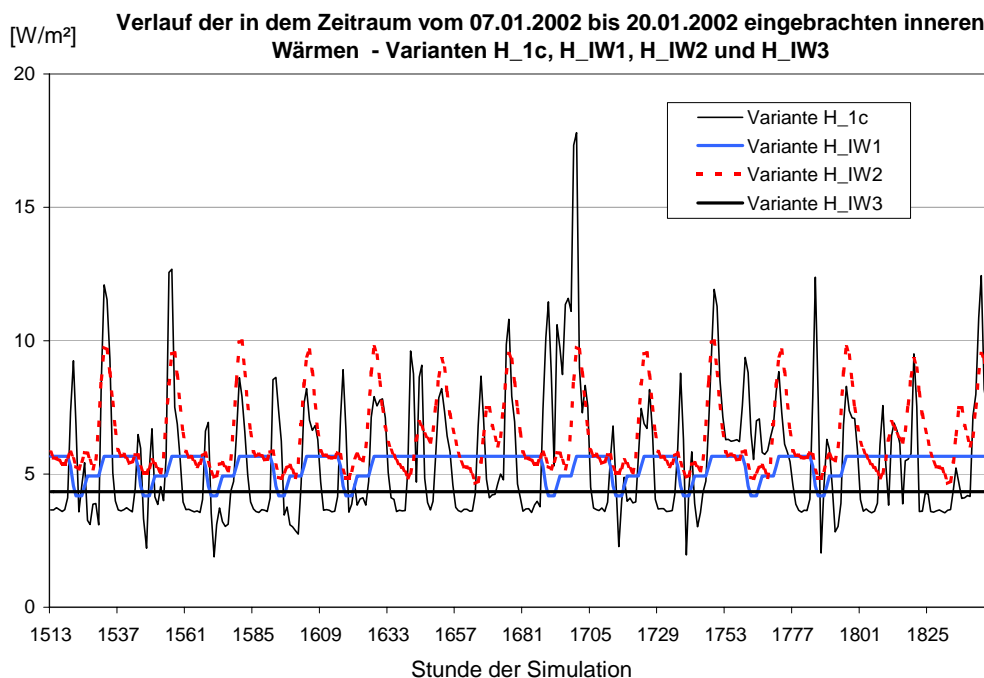


Abbildung 2-50: Vergleich der eingebrachten Innenwärmen der verschiedenen Varianten im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002

In Abbildung 2-51 sieht man eine Gegenüberstellung der Abweichungen der gemessenen von der simulierten Raumtemperatur der untersuchten Varianten. Die Abweichungen werden hier aus den Stundenwerten gebildet. Die dazugehörigen Daten sind in Tabelle 2-38 dargestellt. Die größte mittlere Abweichung findet man bei den Ergebnissen der Variante H_IW2. Diese Variante basiert auf dem Verlauf der Innenwärmern einer Durchschnittswoche (siehe Abbildung 2-50).

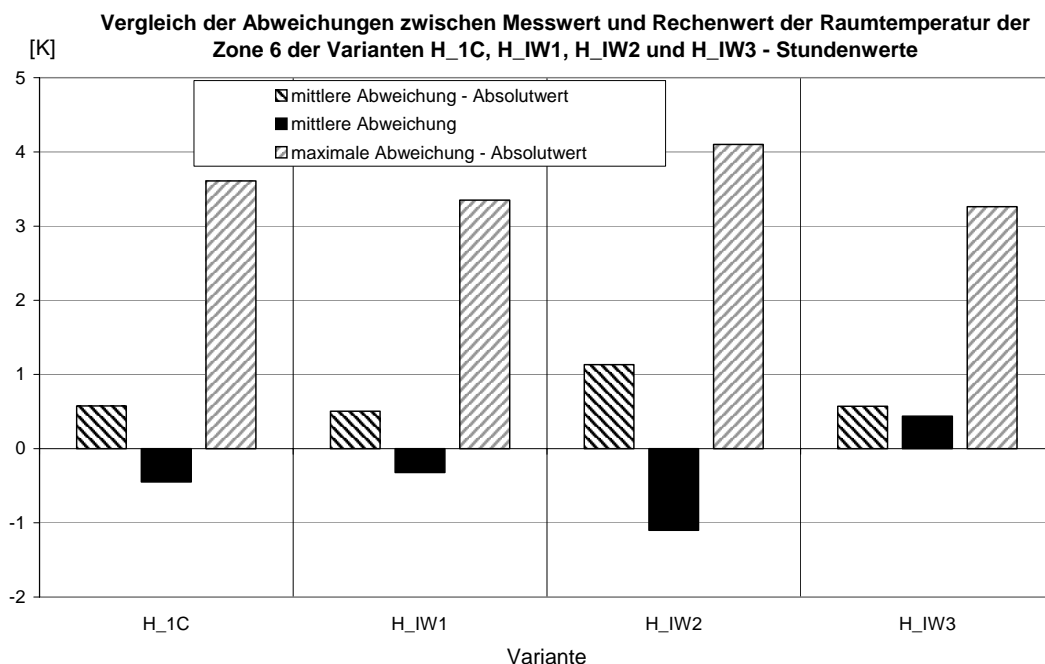


Abbildung 2-51: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_1c, H_IW1, H_IW2 und H_IW3 der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Stundenwerte

Tabelle 2-38: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_1c, H_IW1, H_IW2 und H_IW3 der Zone 6 im Vergleichszeitraum

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\div \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\div \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\div \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_IW1	0,51	0,40	0,32	3,35	1,30	0,61	-0,32	-0,32	-0,32
H_IW2	1,13	1,10	1,10	4,10	2,09	1,39	-1,10	-1,10	-1,10
H_IW3	0,57	0,50	0,44	3,26	1,17	0,56	0,44	0,44	0,44

2.5.4 Szenarien bezüglich Fensterlüftung – Gebäude Hörbranz

Der zeitliche Verlauf des Luftwechsels durch Fensterlüftung und die daraus resultierenden Wärmeverluste eines Gebäudes hängen von einer ganzen Reihe verschiedener Parameter ab. Einzelne Parameter wie z.B. die geöffnete Querschnittsfläche sowie das eingeschlossene Luftvolumen sind relativ leicht zu ermitteln (geometrische Parameter). Andere wesentliche Parameter wie z.B. die Dauer der Fensteröffnung können als rein nutzerbestimmt bezeichnet werden. Die beiden Antriebsmechanismen des Luftaustausches (Temperaturdifferenz und Druckunterschiede) hingegen unterliegen ständig wechselnden Bedingungen.

Die diesbezüglichen geometrischen Parameter zur Berechnung des Luftwechsels im Vergleichsgebäude konnten aus den Bauplänen, ergänzt durch Vorortmessungen ermittelt werden. Die Nutzungsparameter (wann welches Fenster wie weit geöffnet ist) konnte durch die Befragung der BewohnerInnen im Vergleichsgebäude ermittelt werden. Die Luftgeschwindigkeiten in den Fensteröffnungen wurden so angenommen, dass die sich ergebenden Luftwechselzahlen den in der Literatur veröffentlichten Zahlen entsprechen (siehe Tabelle 2-10). Da vor allem die Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung stark von den Umgebungseinflüssen (Temperaturdifferenz zwischen Innen und Außen, sowie Luftdruck und Wind) abhängig ist, unterliegen die auf diese Art berechneten Luftwechselzahlen größeren Ungenauigkeiten.

In weiterer Folge wurden an Hand verschiedener Szenarien die Auswirkungen einer Variation der Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung untersucht. Als Vergleichsvariante wird wiederum die Basisvariante Hörbranz (H_1c) mit einer Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung von 1,5 m/s herangezogen. Auf die Simulationsergebnisse dieser Variante wurde bereits im Kapitel 2.4.2 (Simulationsaufbau für das Gebäude in Hörbranz) näher eingegangen. Für die Variante H_F1 wurde eine Luftgeschwindigkeit von 3,0 m/s angenommen. Die Simulationsergebnisse dieser Variante sind in Abbildung 2-53 und Abbildung 2-54 dargestellt. Die Variante H_F2 verwendet eine Luftgeschwindigkeit von 6 m/s zur Berechnung der Luftwechselzahl. Abbildung 2-55 und Abbildung 2-56 zeigen die Simulationsergebnisse. Die Abbildung 2-52 verdeutlicht die aus den verschiedenen angenommenen Geschwindigkeiten resultierenden Luftwechselzahlen.

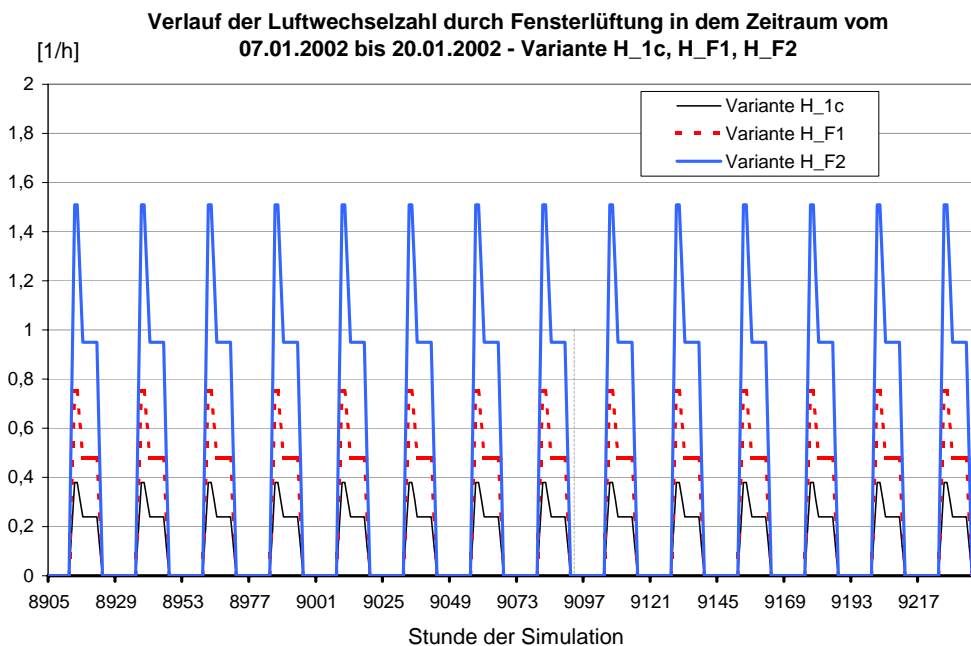


Abbildung 2-52: Vergleich der Luftwechselzahlen der verschiedenen Varianten

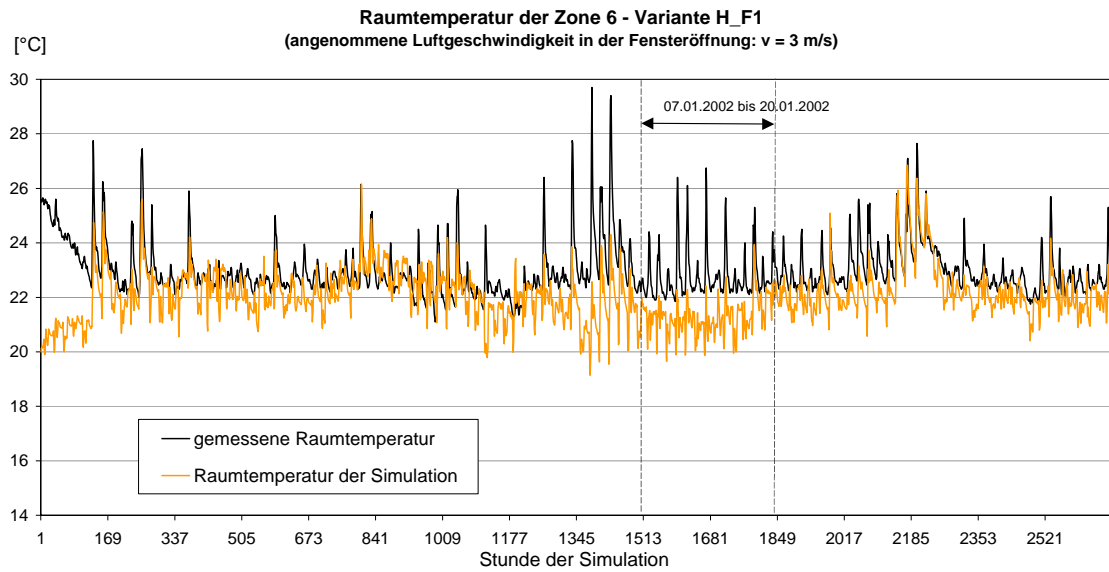


Abbildung 2-53: Vergleich der Stundenwerte der simulierten mit der gemessenen Raumtemperatur der Zone 6 im Simulationszeitraum – Variante H_F1

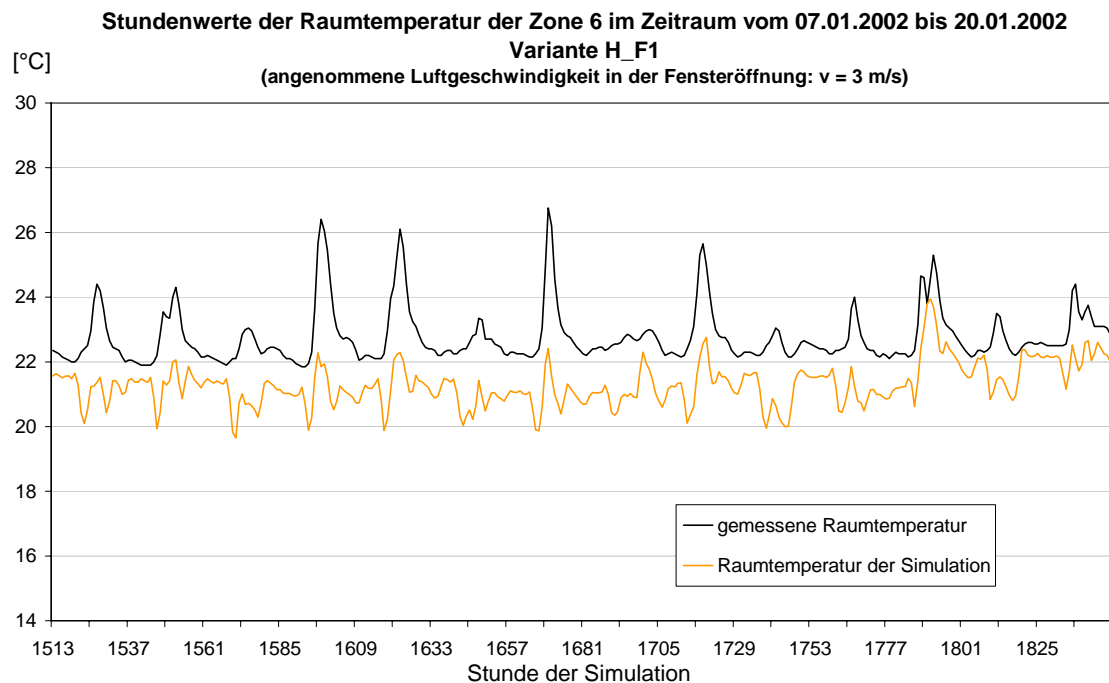


Abbildung 2-54: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_F1 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 - Stundenwerte

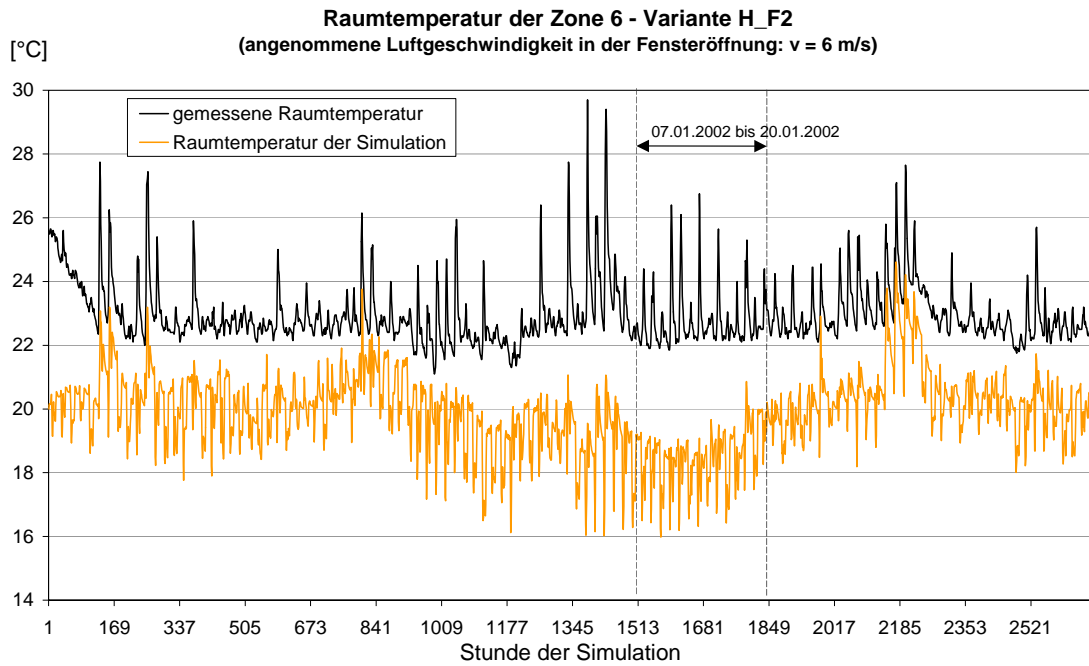


Abbildung 2-55: Vergleich der Stundenwerte der simulierten mit der gemessenen Raumtemperatur der Zone 6 im Simulationszeitraum – Variante H_F2

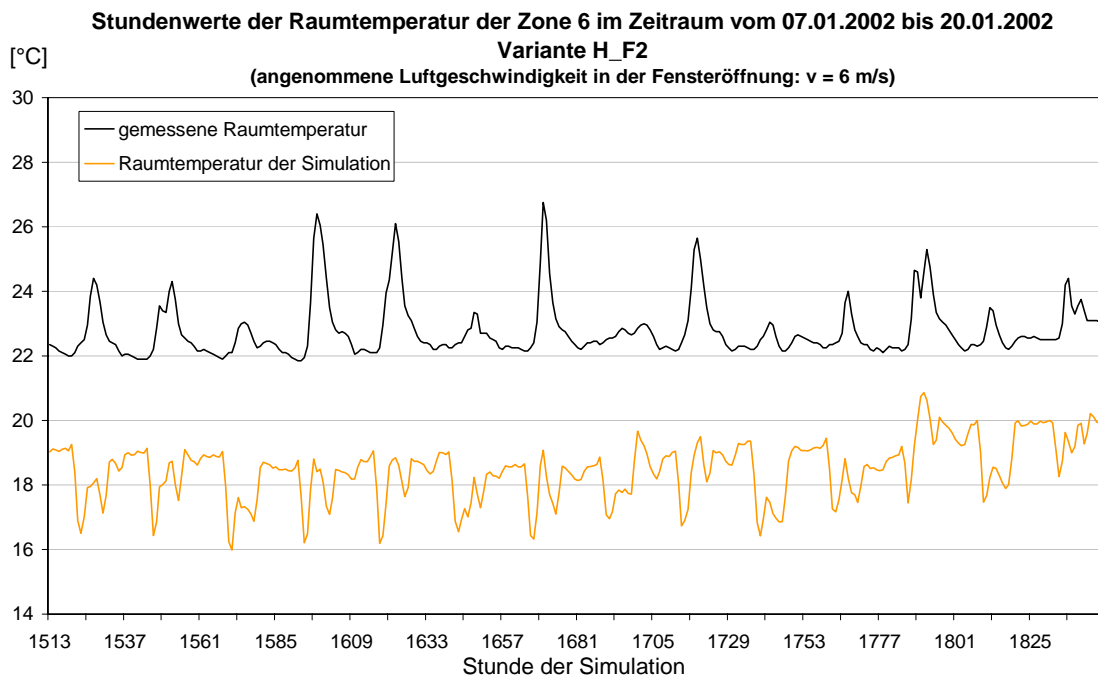


Abbildung 2-56: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_F2 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 – Stundenwerte

Die Kurvenverläufe der simulierten Raumlufttemperaturen der Varianten H_F1 und H_F2 in Abbildung 2-54 und Abbildung 2-56 sind im Vergleich zu dem der Basisvariante Hörbranz (H_1c) vom Niveau her deutlich zu tiefern Temperaturen hin verschoben. Die Kurvenform ändert sich auf Grund der punktuellen Lüftungswärmeverluste stark.

In Tabelle 2-39 und Abbildung 2-57 ist zu erkennen, dass die Abweichung der Basisvariante Hörbranz (H_1c) negative Werte liefert und damit die simulierte über der gemessenen Raumtemperatur liegt. Die Ergebnisse der Varianten H_F1 und H_F2 zeigen ein umgekehrtes Verhalten und daraus resultiert, dass die simulierte Temperatur tendenziell kleiner als die gemessene ist. Dieser Effekt kann durch den Umstand erklärt werden, dass eine höhere Luftwechselzahl einen höheren Lüftungswärmeverlust bewirkt, wenn die Außenlufttemperatur niedriger als die Innenraumtemperatur ist. Aus diesem Grund ist die Abweichung der Variante H_F2 noch deutlich ausgeprägter als bei der Variante H_F1. Die hohen Abweichungen dieser beiden Varianten von der Grundvariante verdeutlichen den großen Einfluss der Fensterlüftung auf das Simulationsergebnis und das obwohl im Haus 2 in Hörbranz wegen der Lüftungsanlage nur wenig über die Fenster gelüftet wird.

Tabelle 2-39: Vergleich der Abweichungen der gemessenen von der simulierten Raumtemperatur der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Varianten H_1c, H_F1 und H_F2

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\pm \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\pm \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\pm \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_F1	0,98	0,95	0,93	4,64	2,06	0,90	0,93	0,93	0,93
H_F2	3,10	3,10	3,10	7,99	5,00	2,91	3,10	3,10	3,10

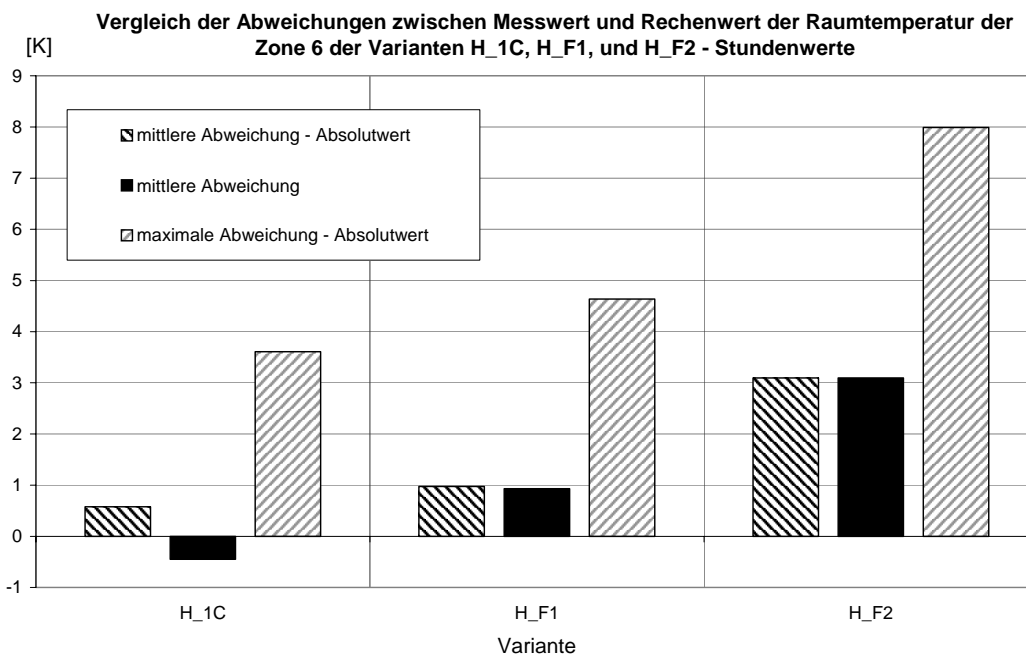


Abbildung 2-57: Vergleich der Abweichungen der Stundenwerte der gemessenen von der simulierten Raumtemperatur der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Varianten H_1c, H_F1 und H_F2

2.5.5 Szenarien bzgl. der Temperaturen der Nachbarzonen – Gebäude Hörbranz

Der Verlauf der Raumlufttemperaturen der an die Vergleichszone angrenzenden Zonen liegen für den vorliegenden Vergleich im untersuchten Zeitraum in Form von Messdaten vor. Diese ausgezeichnete Datenlage ist als Ausnahmefall zu bezeichnen. In den meisten Fällen thermischer Simulationen stehen keine diesbezüglichen Messdaten zur Verfügung und daher ist der Ersteller einer Simulationsrechnung darauf angewiesen mit Annahmen verschiedener Normen oder Benutzeraussagen zurückzugreifen.

Das vorliegende Kapitel vergleicht nun die Auswirkungen solcher Annahmen auf den Raumlufttemperaturverlauf in der Vergleichszone. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, liefern die verschiedenen Normen unterschiedliche Vorgabewerte für die Raumlufttemperatur angrenzender Räume (bzw. Wohnungen). Einen Vergleich der gewählten Raumlufttemperaturen der angrenzenden Zonen der nachfolgend simulierten Varianten ist in Abbildung 2-58 dargestellt.

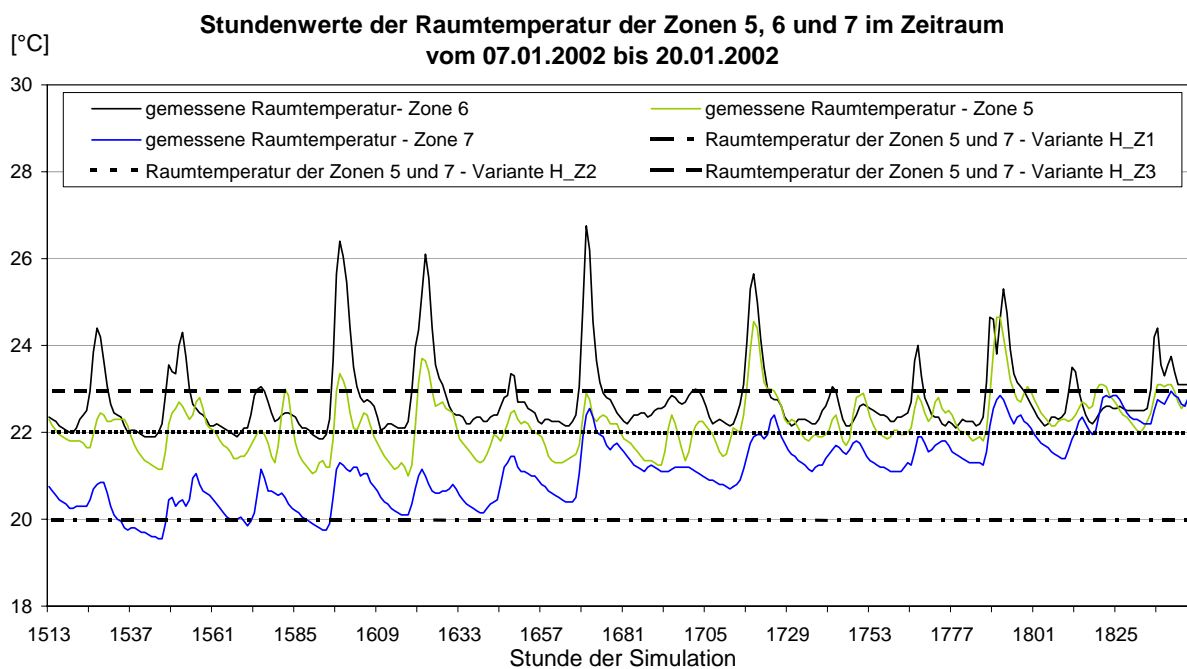


Abbildung 2-58: Vergleich der Raumtemperaturen der Zonen 5, 6 und 7

Die erste Variante entspricht der Basisvariante Hörbranz (H_1c). Diese Variante enthält als Eingabeparameter für die Raumlufttemperaturen der angrenzenden Zonen die entsprechenden Messwerte. Die Simulationsergebnisse dieser Variante sind in Kapitel 2.4.2 (Simulationsaufbau für das Gebäude in Hörbranz) ersichtlich.

Die Variante H_Z1 basiert auf den Rechenwerten der ÖNORM B 8110-1 für die Raumtemperatur in Aufenthaltsräumen (siehe Kapitel 2.3.2) und beträgt 20°C. Die Ergebnisse der Simulation dieser Variante sind in Abbildung 2-59 und Abbildung 2-60 zu sehen.

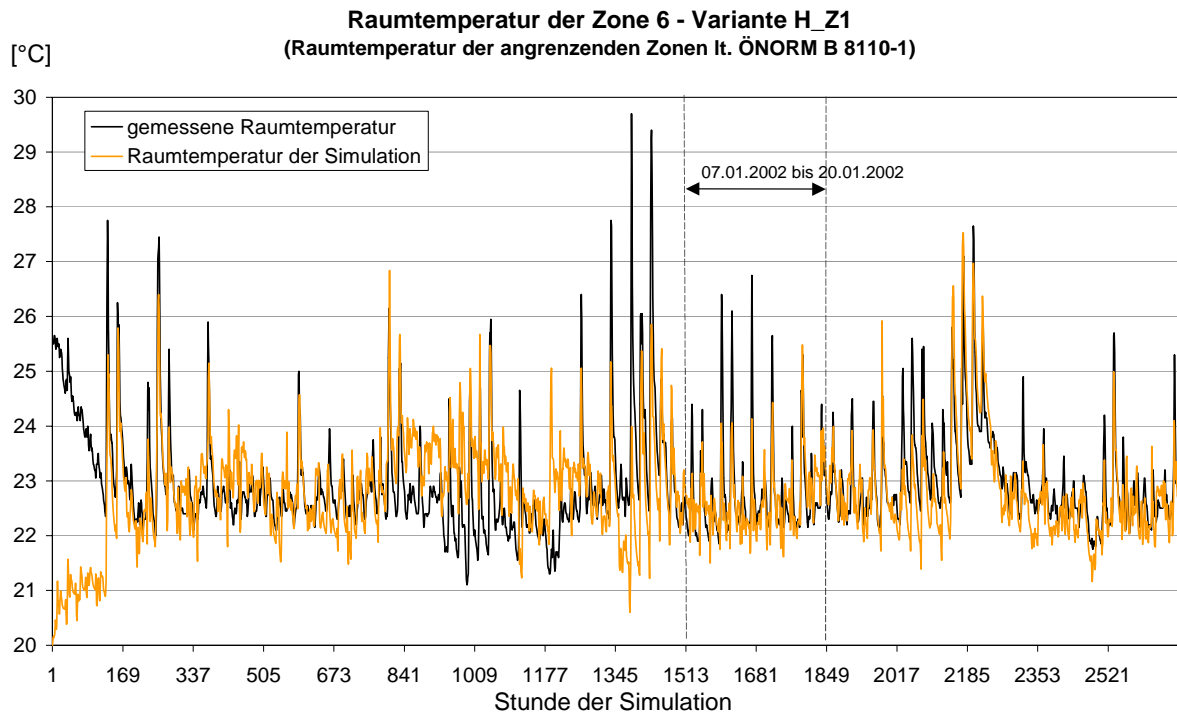


Abbildung 2-59: Vergleich der Stundenwerte der simulierten mit der gemessenen Raumtemperatur der Zone 6 im Simulationszeitraum – Variante H_Z1

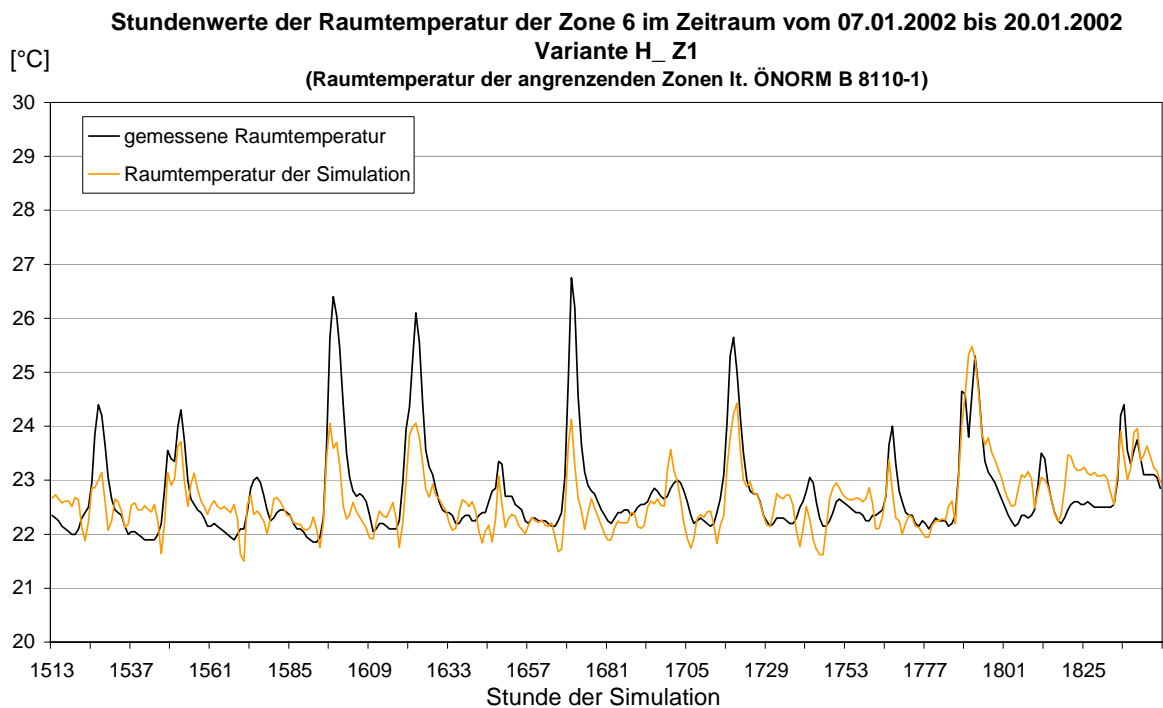


Abbildung 2-60: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_Z1 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 - Stundenwerte

Die Variante H_Z2 basiert auf den Vorgaben der ISO 7730 für die Temperatur in Wohnräumen (siehe Kapitel 2.3.2) und beträgt $22 \pm 2^\circ\text{C}$. Für diese Variante wurde eine Temperatur von 22°C gewählt. Die Ergebnisse der Simulation dieser Variante sind in Abbildung 2-61 und Abbildung 2-62 zu sehen.

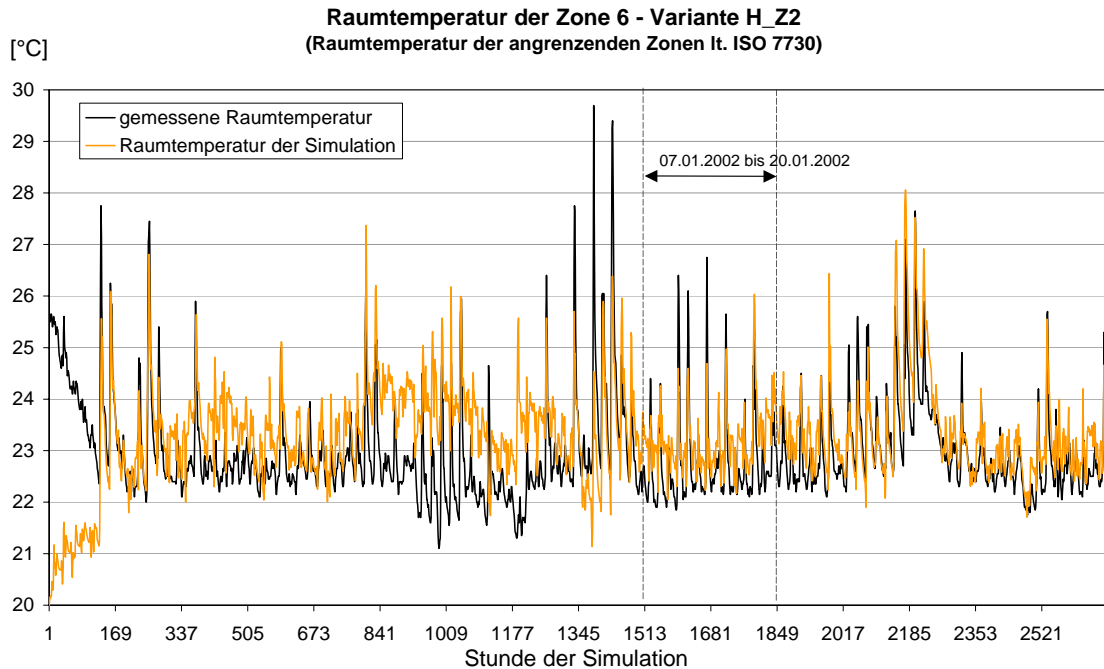


Abbildung 2-61: Vergleich der Stundenwerte der simulierten mit der gemessenen Raumtemperatur der Zone 6 im Simulationszeitraum – Variante H_Z2

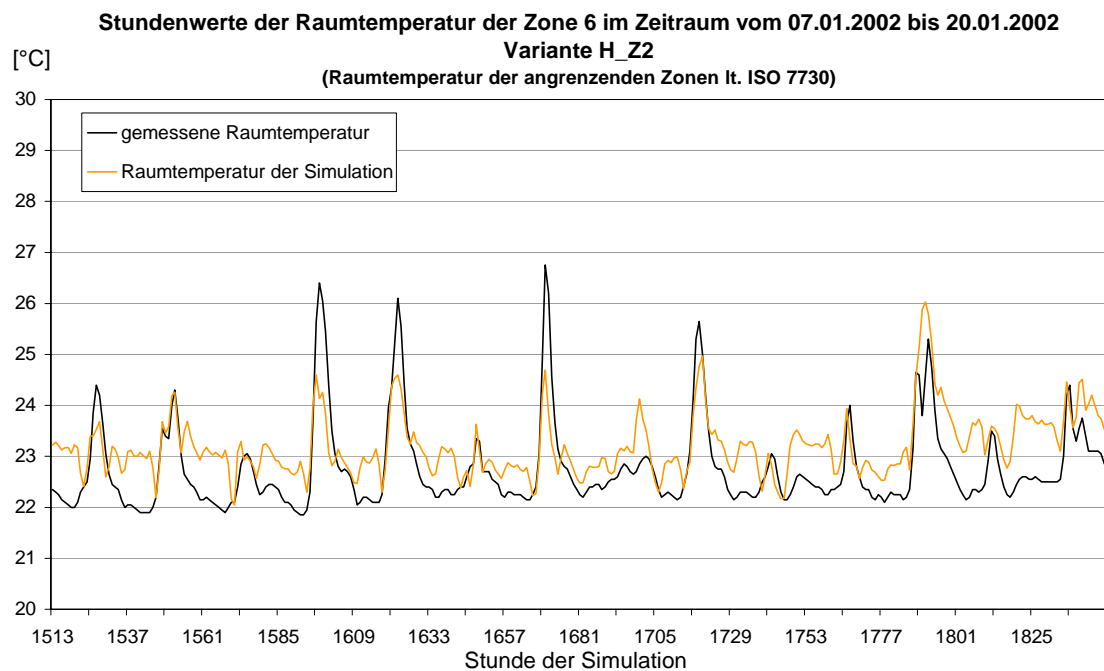


Abbildung 2-62: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_Z2 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 – Stundenwerte

Als Eingabeparameter für die Variante H_Z3 werden die Raumlufttemperaturen der angrenzenden Zonen entsprechend eines in diesem Projekt ermittelten Mittelwertes für Raumlufttemperaturen in Wohngebäuden zur Heizsaison (23 °C) angenommen. Dieser wurde aus Messdaten und den Daten einer Befragung von BewohnerInnen mehrerer Wohnanlagen (Niedrigenergiebauten bzw. Passivhäuser) erstellt (siehe Kapitel 3). Die Simulationsergebnisse dieser Variante sind in Abbildung 2-63 und Abbildung 2-64 dargestellt.

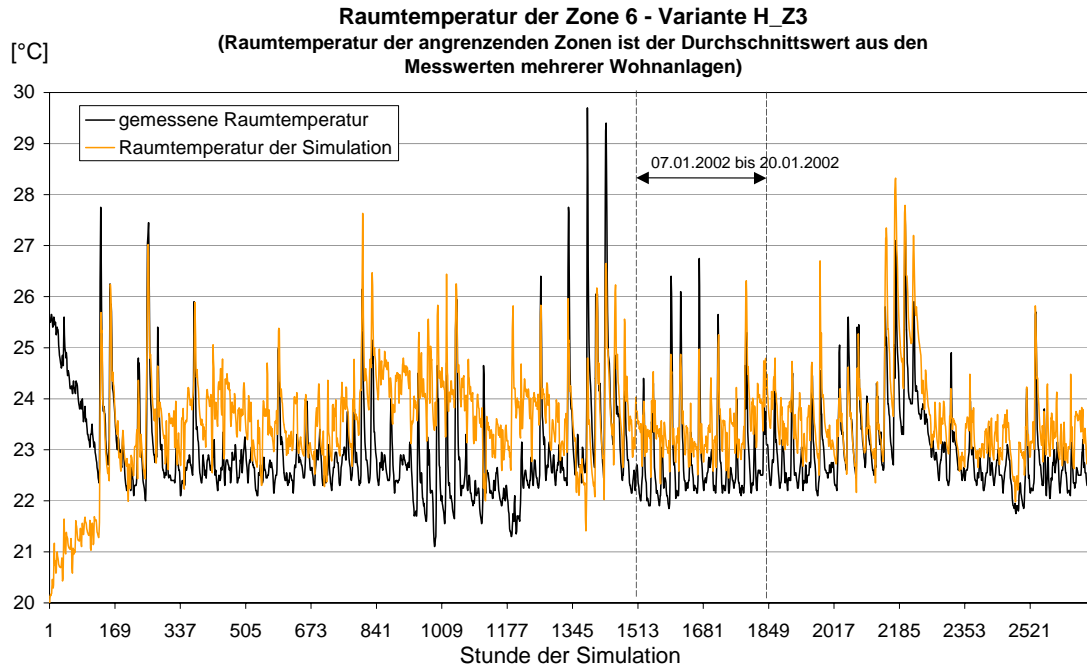


Abbildung 2-63: Vergleich der Stundenwerte der simulierten mit der gemessenen Raumtemperatur der Zone 6 im Simulationszeitraum – Variante H_Z3

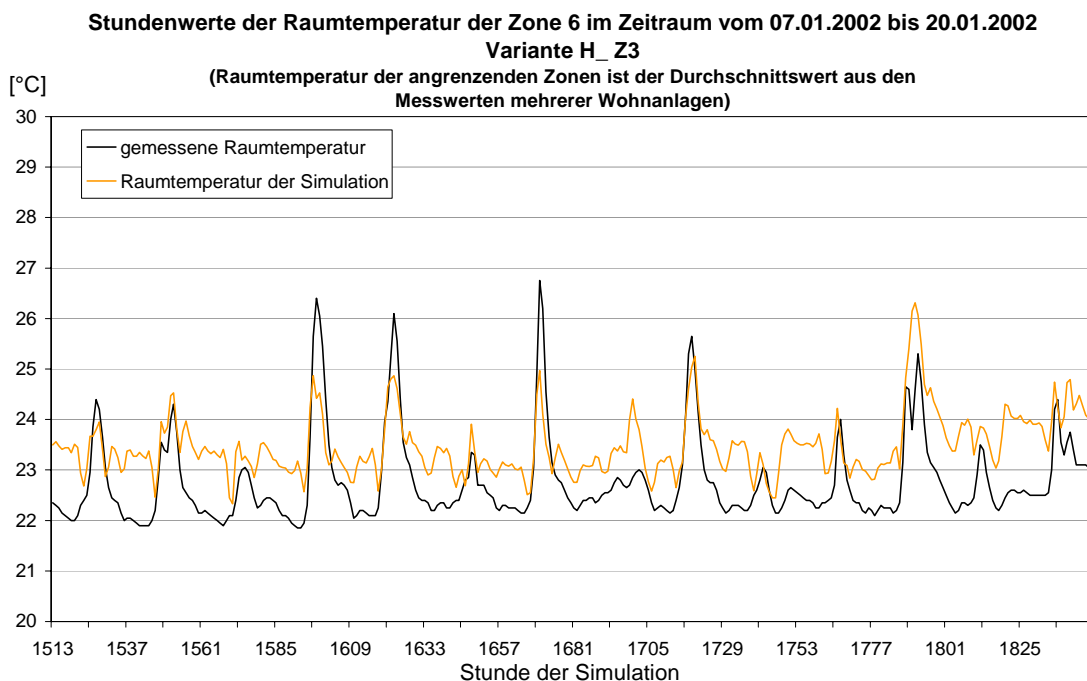


Abbildung 2-64: Vergleich der Messwerte der Raumtemperatur mit den Simulationsergebnissen der Varianten H_Z3 der Zone 6 im Zeitraum vom 07.01.2002 bis 20.01.2002 – Stundenwerte

Wie aus der Auswertung der Simulationsergebnisse der verschiedenen Varianten deutlich wird, ergeben sich durch die Annahme konstanter Raumtemperaturen in den angrenzenden Zonen nur geringfügige Abweichungen (siehe Tabelle 2-40). Der Mittelwert der gemessenen Raumtemperaturen beträgt 21,9°C für das Haus 1 und 22,9°C für das Haus 3. Daraus ist zu erkennen, dass die Annahmen der Variante H_Z2 mit 22°C und der Variante H_Z3 mit 23°C recht nah an den tatsächlichen Raumtemperaturen liegen und somit erklären sich die geringen Abweichungen dieser Varianten zur Basisvariante Hörbranz (H_1c).

Tabelle 2-40: Vergleich der Abweichungen der gemessenen von der simulierten Raumtemperatur der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Varianten H_1c, H_Z1, H_Z2 und H_Z3

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\div \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\div \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\div \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1c	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_Z1	0,44	0,29	0,19	2,93	1,02	0,46	0,17	0,18	0,17
H_Z2	0,53	0,43	0,38	3,41	1,10	0,56	-0,38	-0,38	-0,38
H_Z3	0,73	0,66	0,65	3,67	1,38	0,83	-0,65	-0,65	-0,65

Die mittlere Abweichung der Variante H_Z1 ist im Gegensatz zu der Varianten H_Z2 und H_Z3 positiv (siehe Abbildung 2-65), daher liegt die Raumtemperatur der Simulation dieser Variante tendenziell unter den gemessenen Temperaturwerten. Dies wird durch die im Vergleich zu den tatsächlichen Werten der Raumtemperatur deutlich niedrigere gewählte Temperatur von 20°C verursacht. Der Temperaturverlauf der Variante H_1c liegt tendenziell über dem Verlauf der gemessenen Raumtemperatur und der der Variante H_Z1 tendenziell darunter.

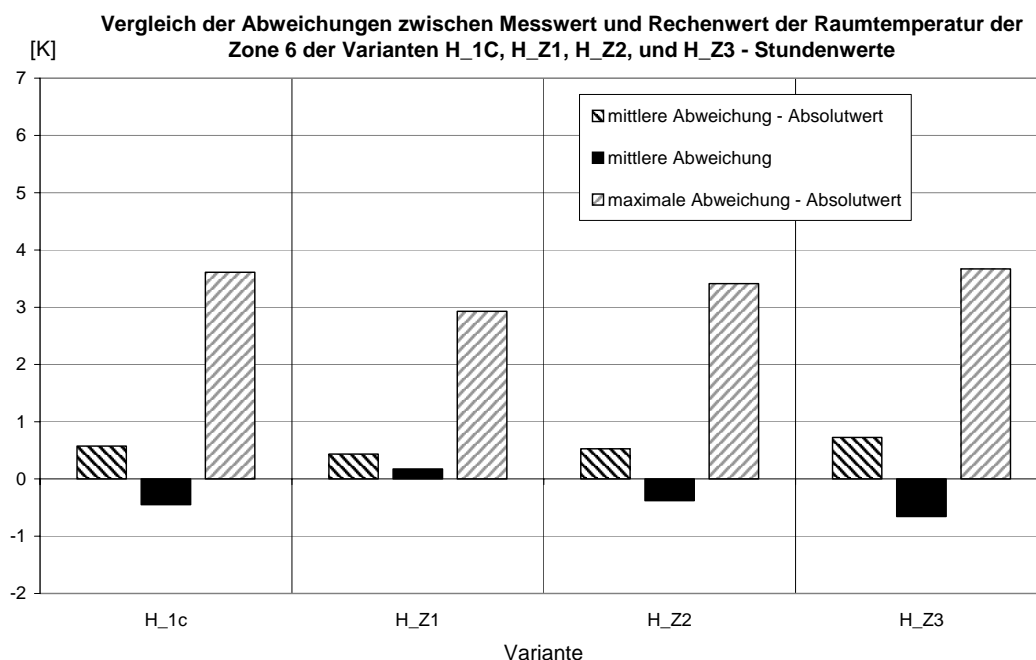


Abbildung 2-65: Vergleich der Abweichungen der Stundenwerte der gemessenen von der simulierten Raumtemperatur der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Varianten H_1c, H_Z1, H_Z2 und H_Z3

2.5.6 Szenario bzgl. Messungengenauigkeiten – Gebäude Hörbranz

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der durch die Toleranzen der Messgeräte möglichen Abweichungen der Eingabeparameter auf das Simulationsergebnis untersucht. Da jedes Messgerät eine vorgegebene Fehlertoleranz aufweist, kann der angezeigte Messwert vom realen Wert innerhalb dieser Toleranz abweichen. Daher haben die Fehlertoleranzen der unterschiedlichen Messgeräte einen Einfluss auf das Simulationsergebnis. Das Ausmaß dieses Einflusses auf das Simulationsergebnis wird im Folgenden analysiert.

In Tabelle 2-41 sind die für die thermische Simulation des Gebäudes in Hörbranz verwendeten Messwertbezeichnungen und die Messtoleranzen zu den entsprechenden Messgeräten zu sehen. Bei den angegebenen Fehlertoleranzen sind die entsprechenden Fehlertoleranzen des A/D-Wandlers und der Messumformer schon miteinbezogen. Die Rechenwerte der Fehlertoleranzen wurden von DI Alexander Thür (AEE-INTEC¹) zur Verfügung gestellt.

Tabelle 2-41: Übersicht über die Fehlertoleranzen der verwendeten Messgeräte

Messwertbezeichnung	Messgerät	Fehlertoleranz
Globalstrahlung	Pyranometer	∂ 74 W/m ²
Außenlufttemperatur	Temperaturfühler	∂ 0,5°C
Raumtemperatur	Temperaturfühler	∂ 0,36°C
Menge der über die Lüftungsanlage eingeblasenen Luft	Luftmengenmessung	ca. ∂ 20 % des Volumenstroms [m ³ /h]
Temperatur der eingeblasenen Luft	Temperaturfühler	∂ 0,4°C
Haushaltstromverbrauch	Strom-Nebenzähler	∂ 5 % vom Messwert
Energiezufuhr aus Wärmepumpe	Wärmemengenzähler	∂ 10 % vom Messwert

Mit diesen Fehlertoleranzen werden von der Basisvariante Hörbranz (H_1c) ausgehend verschiedene Eingabevarianten für die thermische Simulation gebildet. Ein Überblick über die so entstandenen Varianten ist in Tabelle 2-42 gegeben.

Tabelle 2-42: Überblick über die Varianten für die thermische Simulation

Bezeichnung der Variante	Kurze Beschreibung der Abweichung der Eingabedaten der jeweiligen Variante von denen der Grundvariante 1c
H_MF1	Messwert der Globalstrahlung +74 W/m ²
H_MF2	Messwert der Globalstrahlung -74 W/m ²
H_MF3	Messwert der Außenlufttemperatur +0,5°C
H_MF4	Messwert der Außenlufttemperatur -0,5°C
H_MF5	Messwert der Raumtemperatur der Zonen 5 und 7 +0,36°C
H_MF6	Messwert der Raumtemperatur der Zonen 5 und 7 -0,36°C
H_MF7	Messwert der eingeblasenen Luftmenge +20 % [m ³ /h]
H_MF8	Messwert der eingeblasenen Luftmenge -20 % [m ³ /h]
H_MF9	Messwert der Temperatur der eingeblasenen Luft +0,4°C
H_MF10	Messwert der Temperatur der eingeblasenen Luft -0,4°C
H_MF11	Messwert des Haushaltsstromverbrauches von Haus 2 +5 %
H_MF12	Messwert des Haushaltsstromverbrauches von Haus 2 -5 %

¹ AEE INTEC Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie – Institut für Nachhaltige Technologien, 8200 Gleisdorf

Globalstrahlung

Die Globalstrahlung wird mit einem Pyranometer gemessen. Dieses Messgerät weist eine maximale Ungenauigkeit von $\pm 74 \text{ W/m}^2$ auf. Daraus folgen die Varianten H_MF1 und H_MF2. Der beispielhafte Verlauf der wirksamen Solarstrahlung während zweier Wochen des Simulationszeitraumes ist in Abbildung 2-66 zu sehen.

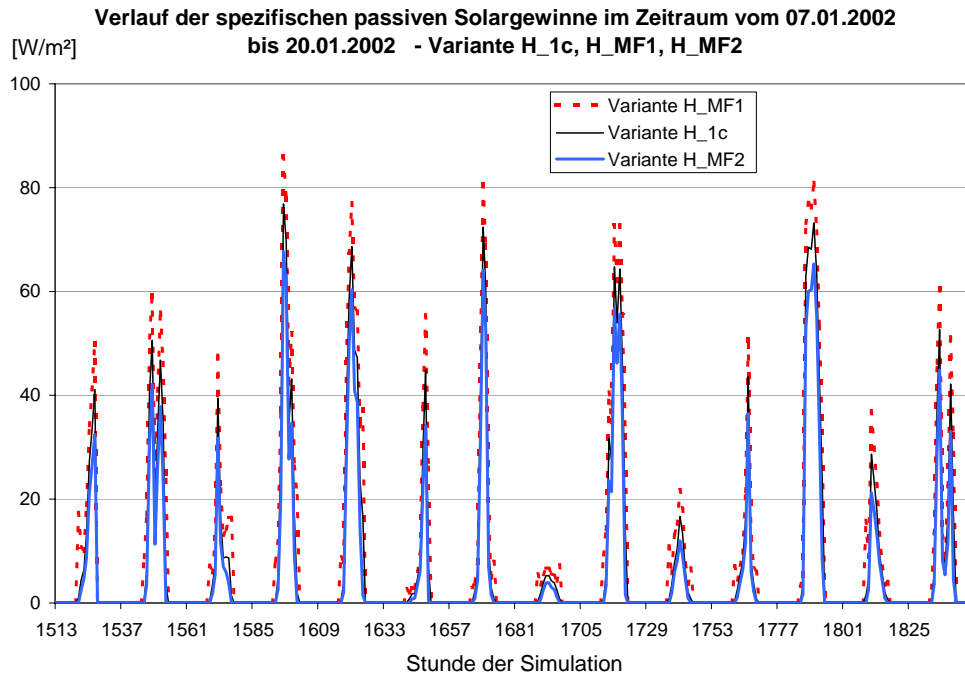


Abbildung 2-66: Varianten der spezifischen passiven Solargewinne

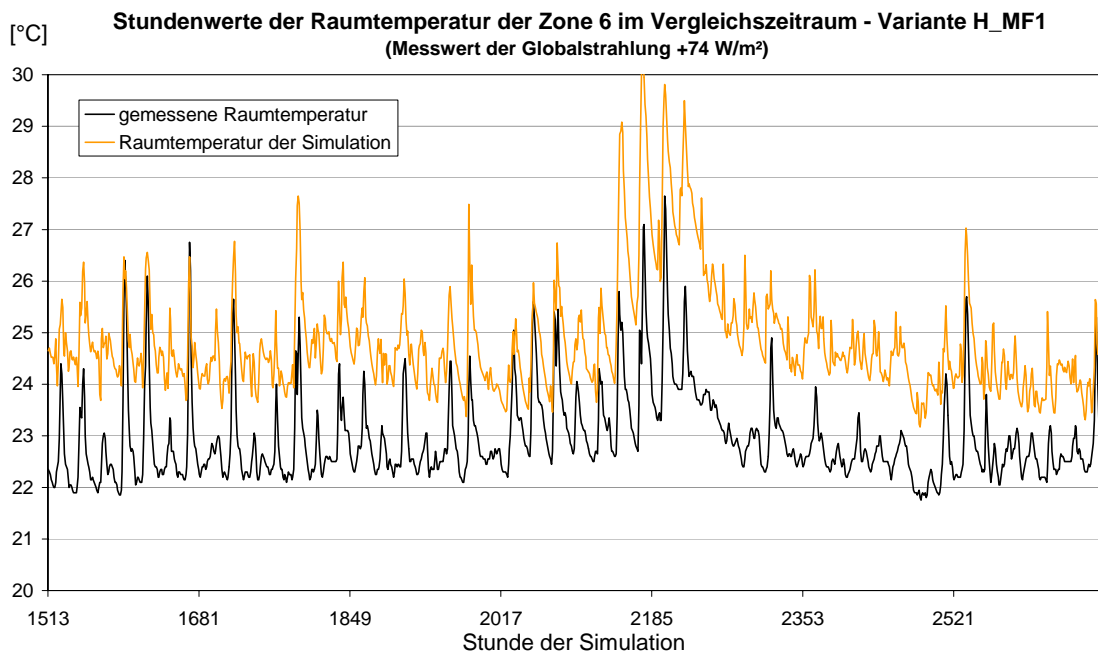


Abbildung 2-67: simulierte und gemessene Raumtemperatur der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Variante H_MF1

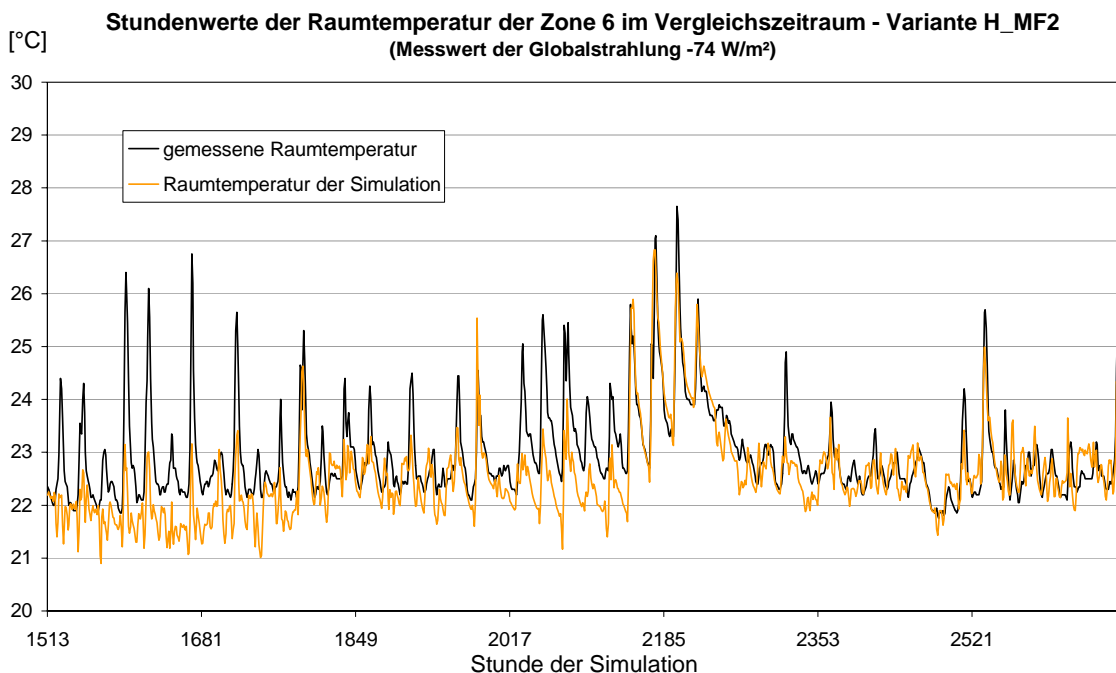


Abbildung 2-68: simulierte und gemessene Raumtemperatur der Zone 6 im Vergleichszeitraum – Variante H_MF2

Die Ergebnisse der Simulation der Varianten H_MF1 und H_MF2 sind in Abbildung 2-67 bis Abbildung 2-69 sowie in Tabelle 2-43 dargestellt. Bei der Analyse der Ergebnisse fällt auf, dass die Werte der Globalstrahlung entlang der oberen Toleranzgrenze des Messgerätes eine deutlich höhere Abweichung liefern als die entlang der unteren.

Tabelle 2-43: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF1 und H_MF2

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\div \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\div \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\div \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_MF1	1,91	1,90	1,91	5,60	3,42	2,53	-1,91	-1,90	-1,91
H_MF2	0,55	0,43	0,40	3,87	1,34	0,74	0,39	0,39	0,39

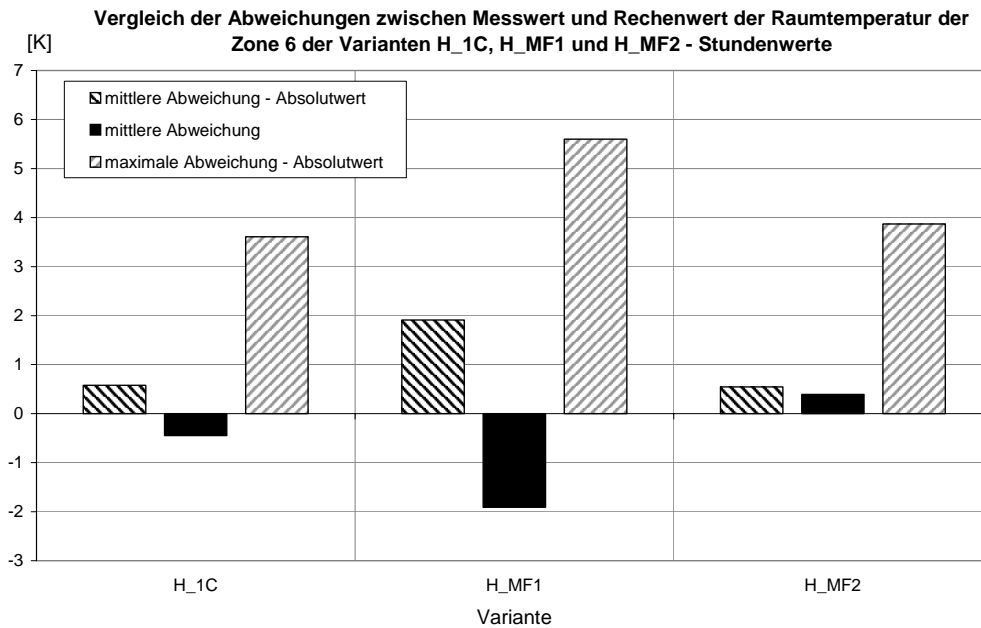


Abbildung 2-69: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF1 und H_MF2

Außenlufttemperatur

Der Messfühler für die Außenlufttemperatur weist eine Ungenauigkeit von $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ auf. Daraus resultieren die Varianten H_MF3 und H_MF4. In Abbildung 2-70 sieht man am Beispiel zweier Wochen des Simulationszeitraumes den um die Messungenauigkeit korrigierten Verlauf der Außenlufttemperatur.

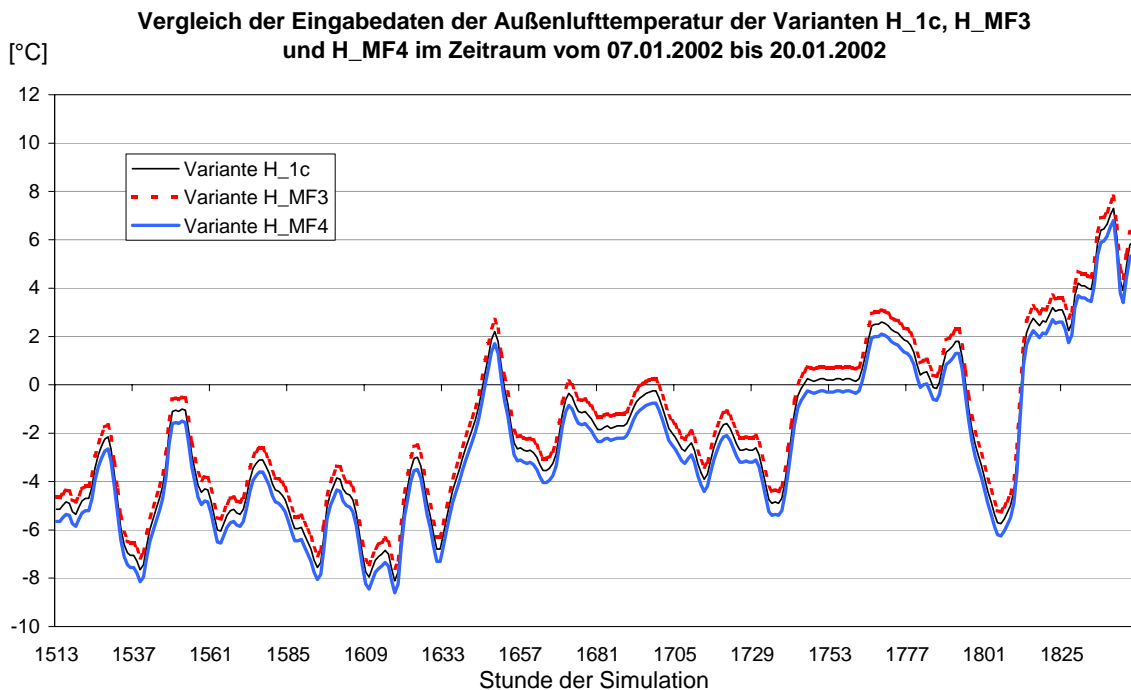


Abbildung 2-70: Verlauf der Außenlufttemperatur der Varianten H_MF3 und H_MF4

Die Ergebnisse der Simulation der einzelnen Varianten sind in Abbildung 2-71 bis Abbildung 2-73 und in Tabelle 2-44 zu sehen. Bei der Analyse der Ergebnisse wird ersichtlich, dass die Messungenauigkeiten der Temperaturfühler nur einen sehr geringen Einfluss auf das Simulationsergebnis haben.

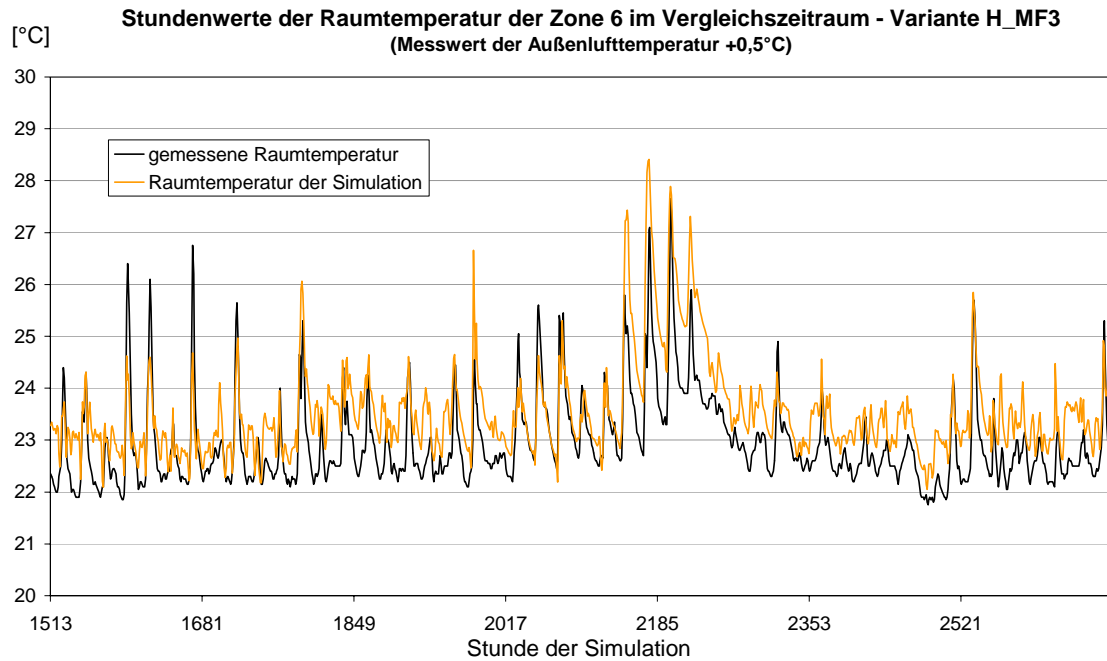


Abbildung 2-71: Vergleich der gemessenen zur simulierten Raumtemperatur der Variante H_MF3

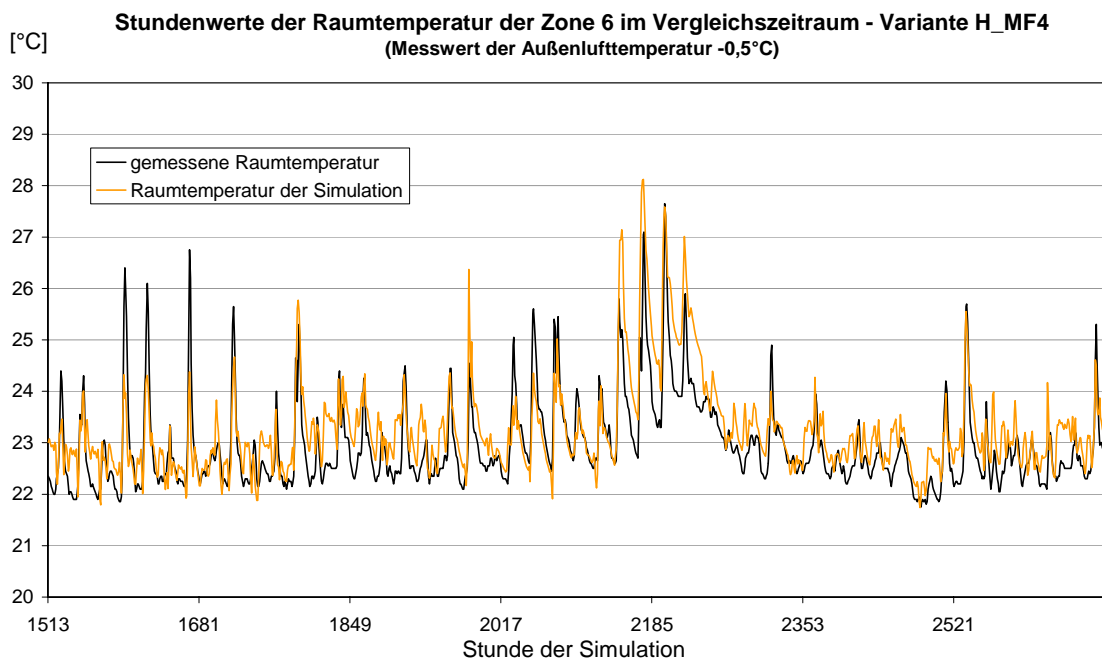


Abbildung 2-72: Vergleich der gemessenen zur simulierten Raumtemperatur der Variante H_MF4

Tabelle 2-44: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF3 und H_MF4

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\div \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\div \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\div \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_MF3	0,68	0,60	0,59	3,76	1,49	0,83	-0,59	-0,59	-0,59
H_MF4	0,49	0,39	0,30	3,47	1,20	0,54	-0,30	-0,30	-0,30

Vergleich der Abweichungen zwischen Messwert und Rechenwert der Raumtemperatur der Zone 6 der Varianten H_1C, H_MF3 und H_MF4 - Stundenwerte

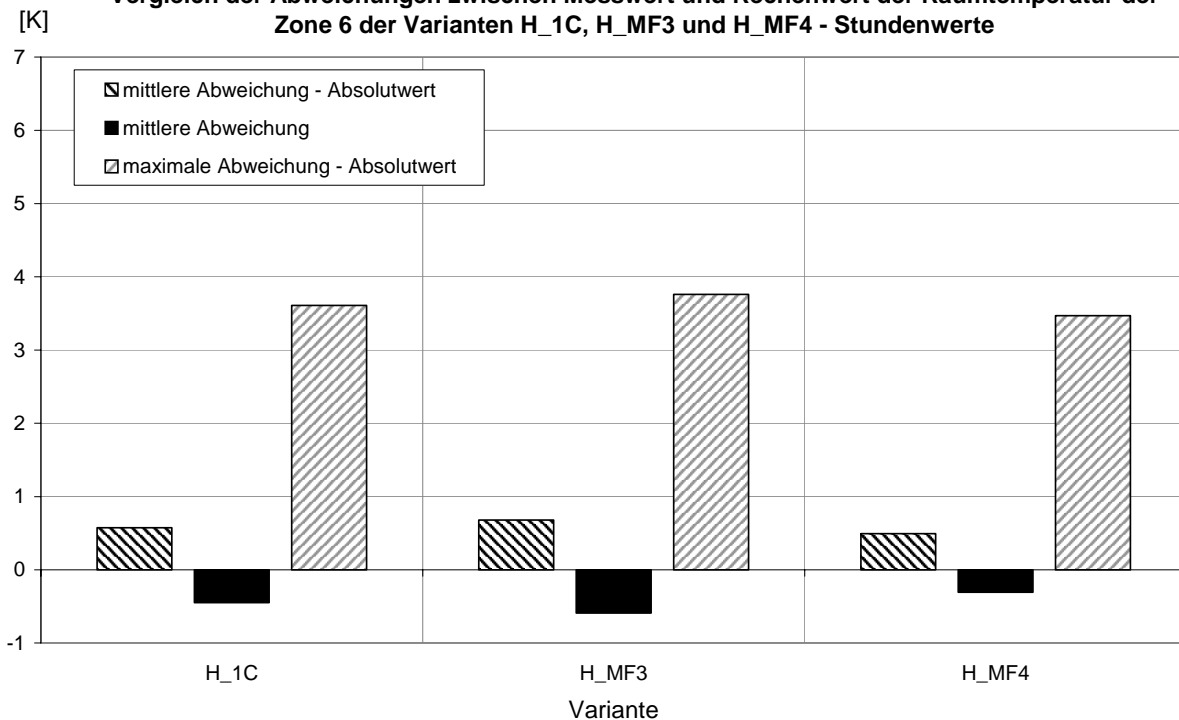


Abbildung 2-73: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF3 und H_MF4

Raumtemperatur

Der Temperaturfühler für die Messung der Raumtemperatur hat eine Messgenauigkeit von $\pm 0,36^\circ\text{C}$. Es werden bei den Eingabedaten die Messwerte der Raumtemperaturen der angrenzenden Häuser (Haus 1 und 3) um den entsprechenden Wert verändert. In Abbildung 2-74 sieht man den um die Messgenauigkeit korrigierten Verlauf der Raumtemperatur der Zone 5 (Haus 3) am Beispiel zweier Wochen des Simulationszeitraumes.

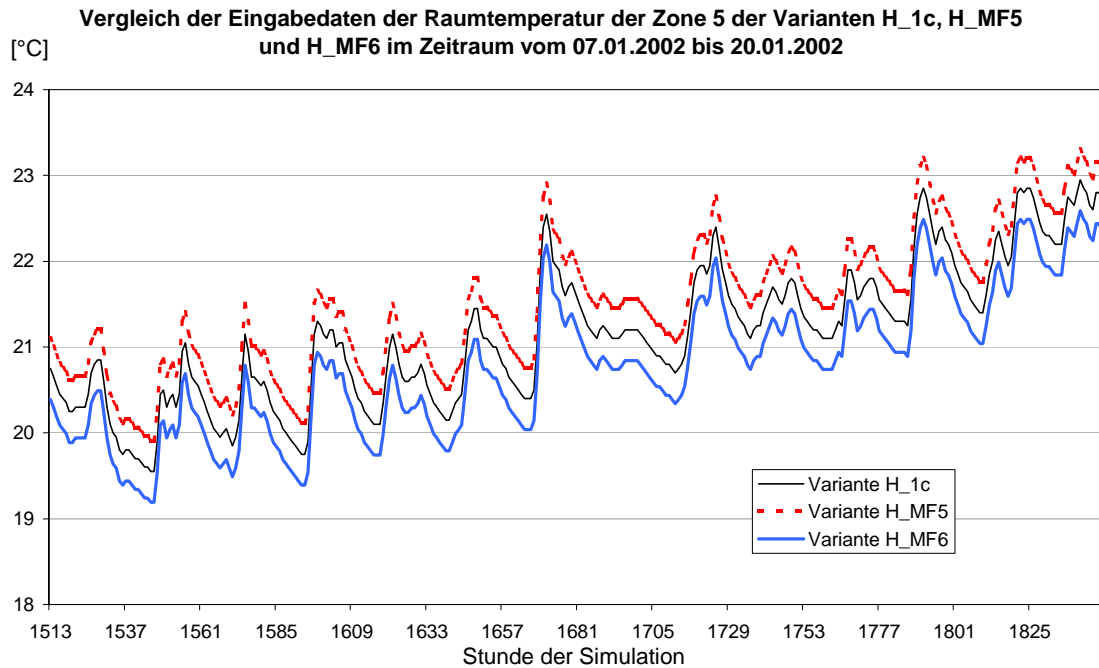


Abbildung 2-74: Eingabedaten der Raumtemperaturen der Zone 5 für die Varianten H_MF5 und H_MF6

Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung 2-75 bis Abbildung 2-77 und in Tabelle 2-45 angeführt. Auch hier zeigt sich, dass die enge Messtoleranz der Temperaturfühler kaum einen Einfluss auf das Simulationsergebnis hat.

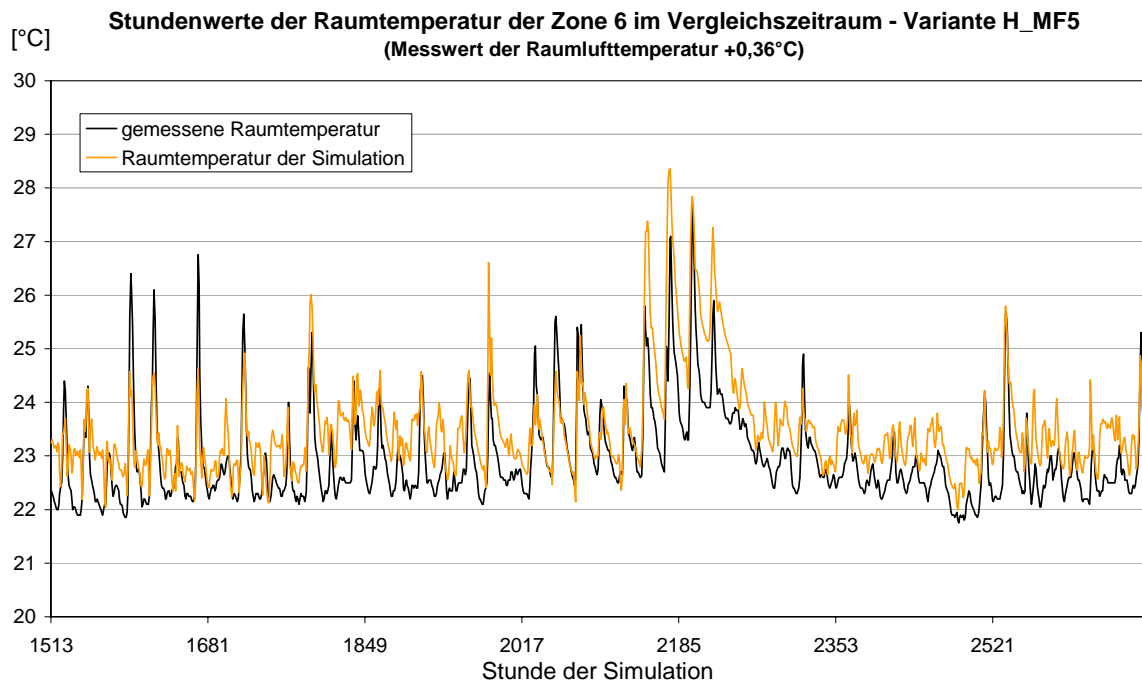


Abbildung 2-75: Verlauf der gemessenen und simulierten Raumtemperatur der Zone 6 der Variante H_MF5

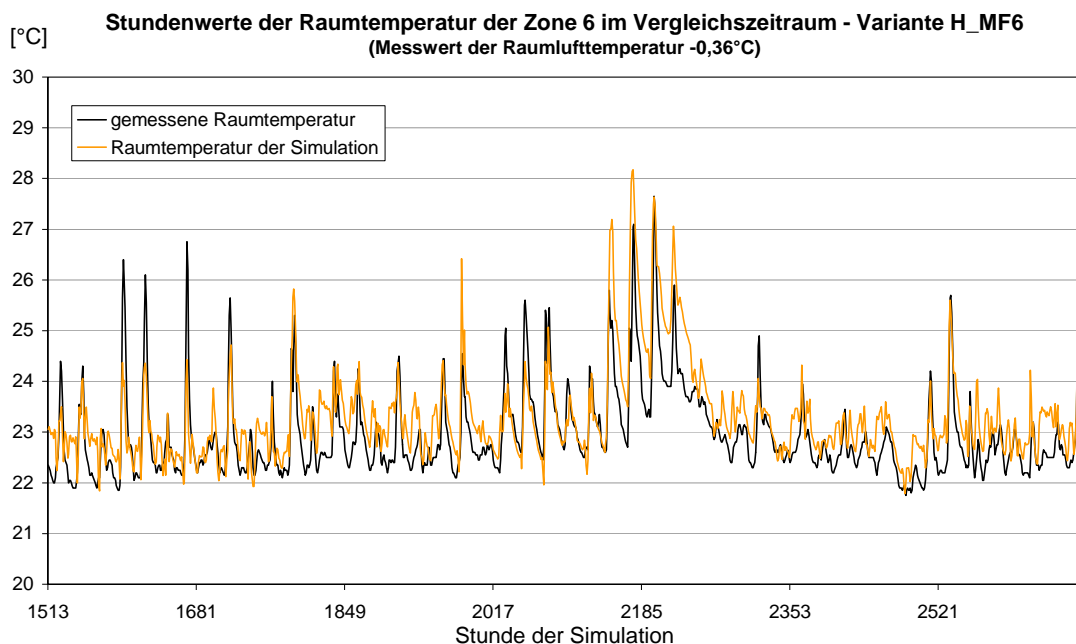


Abbildung 2-76: Verlauf der gemessenen und simulierten Raumtemperatur der Zone 6 der Variante H_MF6

Tabelle 2-45: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF5 und H_MF6

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\div \Gamma_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\div \Gamma_{max}$			mittlere Abweichung $\div \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_MF5	0,65	0,57	0,55	3,71	1,45	0,78	-0,55	-0,55	-0,55
H_MF6	0,51	0,42	0,35	3,52	1,25	0,58	-0,35	-0,35	-0,35

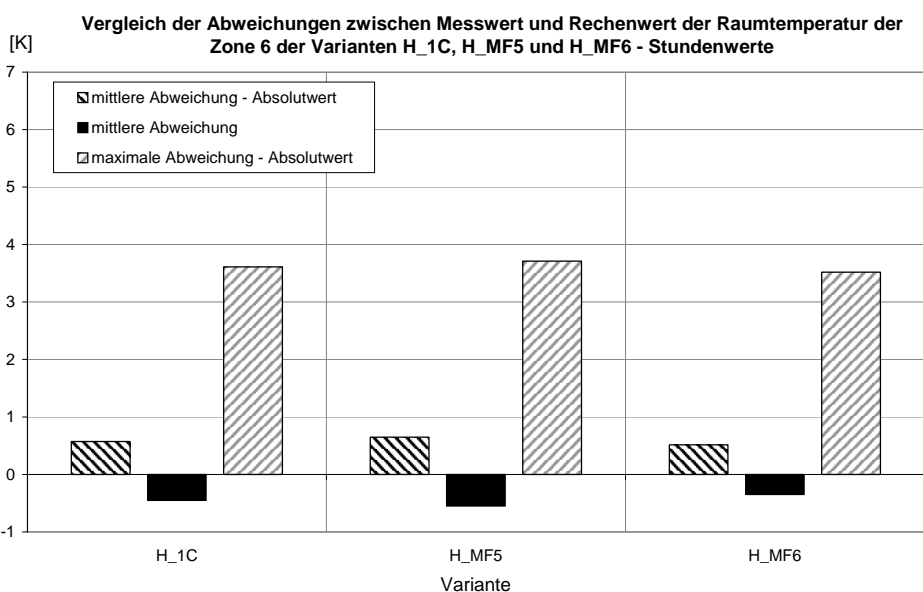


Abbildung 2-77: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF5 und H_MF6

Über die Lüftungsanlage eingeblasene Luftmenge

Das Gerät zur Luftmengenmessung weist eine Messtoleranz von etwa $\pm 20\%$ des Messwertes auf. In Abbildung 2-78 sieht man den um die Messungenauigkeit korrigierten Verlauf der Luftwechselzahlen über den Vergleichszeitraum. Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung 2-79 bis Abbildung 2-81 sowie in Tabelle 2-46 angeführt. Trotz der großen Messungenauigkeit des Luftmengenmessgerätes sind die Auswirkungen auf das Ergebnis der Simulation nur sehr gering. Durch die Verwendung einer effektiven Abluftwärmerückgewinnung und einer Wärmepumpe im Winter unterscheidet sich das Temperaturniveau der eingeblasenen Luft nur wenig von dem der Raumtemperatur. Aus diesem Grund hat die Zuluftmenge keinen großen Einfluss auf das Simulationsergebnis.

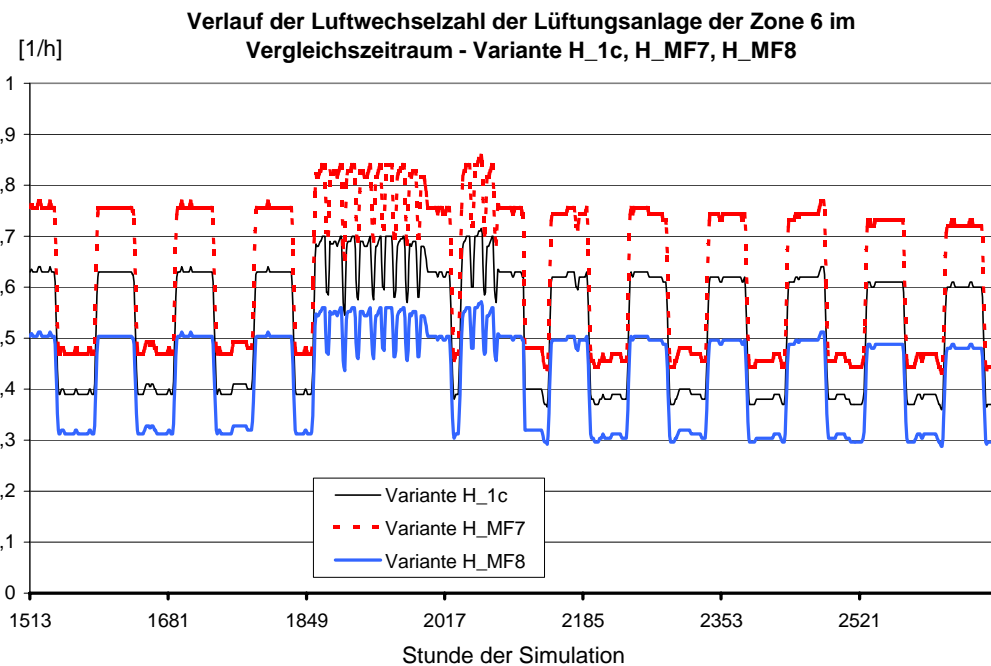


Abbildung 2-78: Vergleich der Luftwechselzahlen der Lüftungsanlage der Zone 6 der verschiedenen Varianten

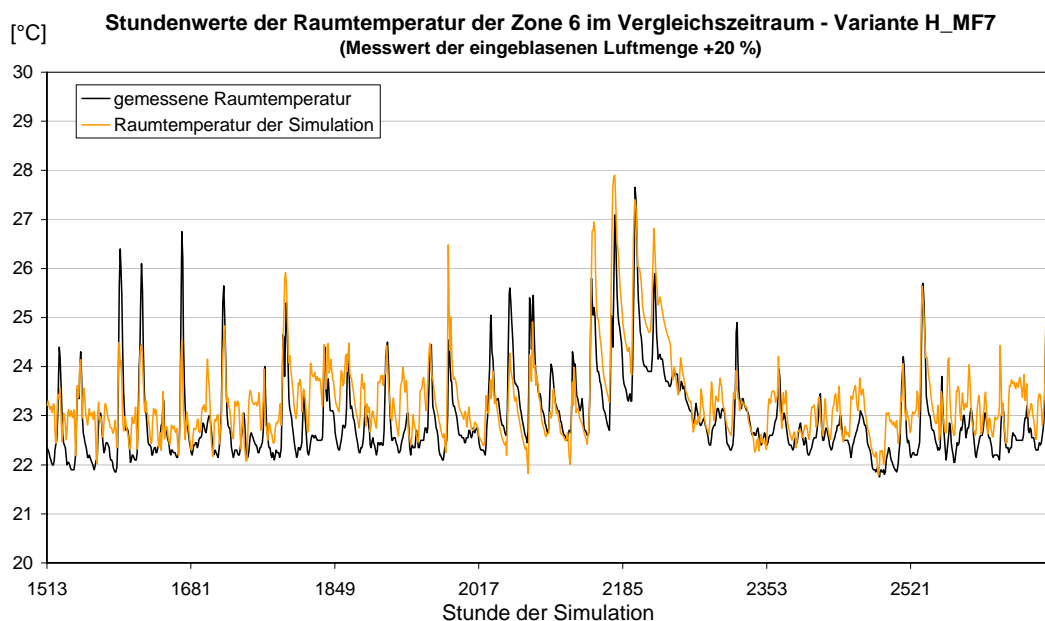


Abbildung 2-79: Verlauf der gemessenen und simulierten Raumtemperatur der Zone 6 der Variante H_MF7

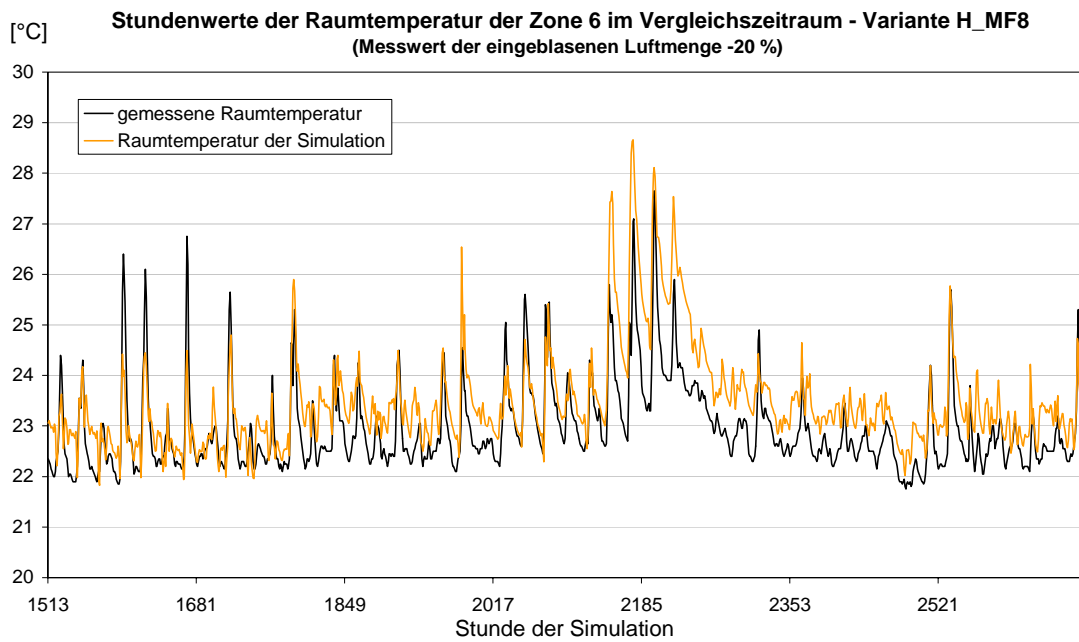


Abbildung 2-80: Verlauf der gemessenen und simulierten Raumtemperatur der Zone 6 der Variante H_MF8

Tabelle 2-46: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF7 und H_MF8

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\pm \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\pm \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\pm \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_MF7	0,55	0,45	0,38	3,25	1,01	0,56	-0,37	-0,37	-0,37
H_MF8	0,65	0,56	0,53	4,00	1,72	1,03	-0,53	-0,53	-0,53

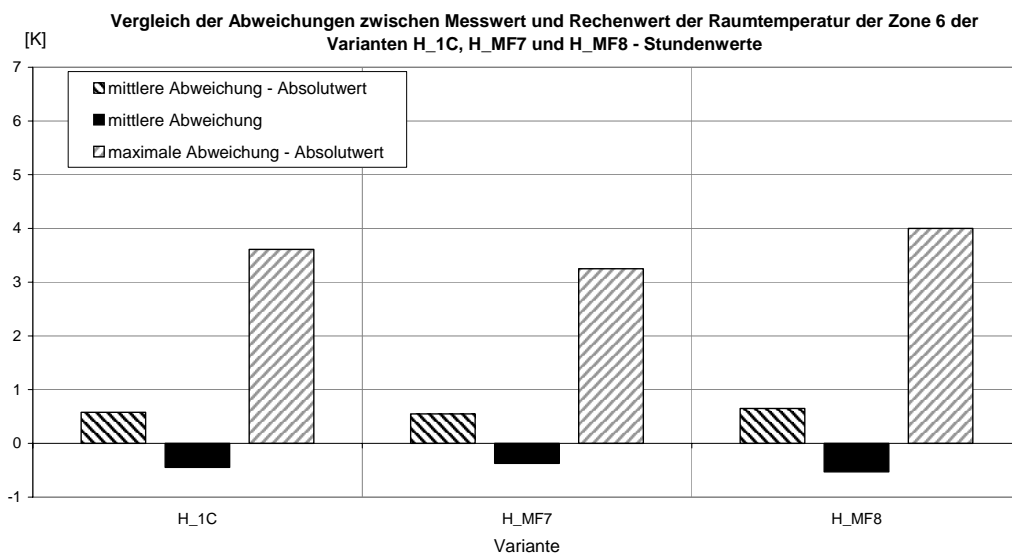


Abbildung 2-81: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF7 und H_MF8

Temperatur der eingeblasenen Luft

Das Gerät zur Messung der Kanaltemperatur hat eine Messtoleranz von etwa $\pm 0,4^\circ\text{C}$. In Abbildung 2-82 sieht man den um die Messungenauigkeit korrigierten Verlauf der Temperaturen der eingeblasenen Luft während zweier Wochen des Simulationszeitraumes. Die Simulationsergebnisse sind in Abbildung 2-83 bis Abbildung 2-85 und in Tabelle 2-47 dargestellt.

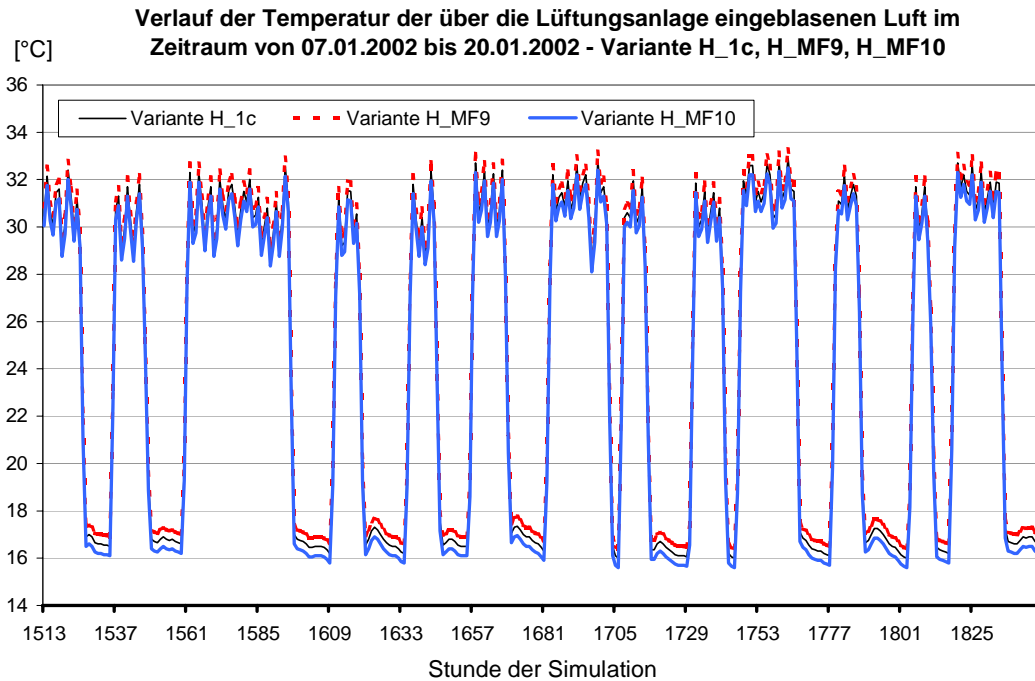


Abbildung 2-82: Vergleich der Temperaturen der eingeblasenen Luft der verschiedenen Varianten

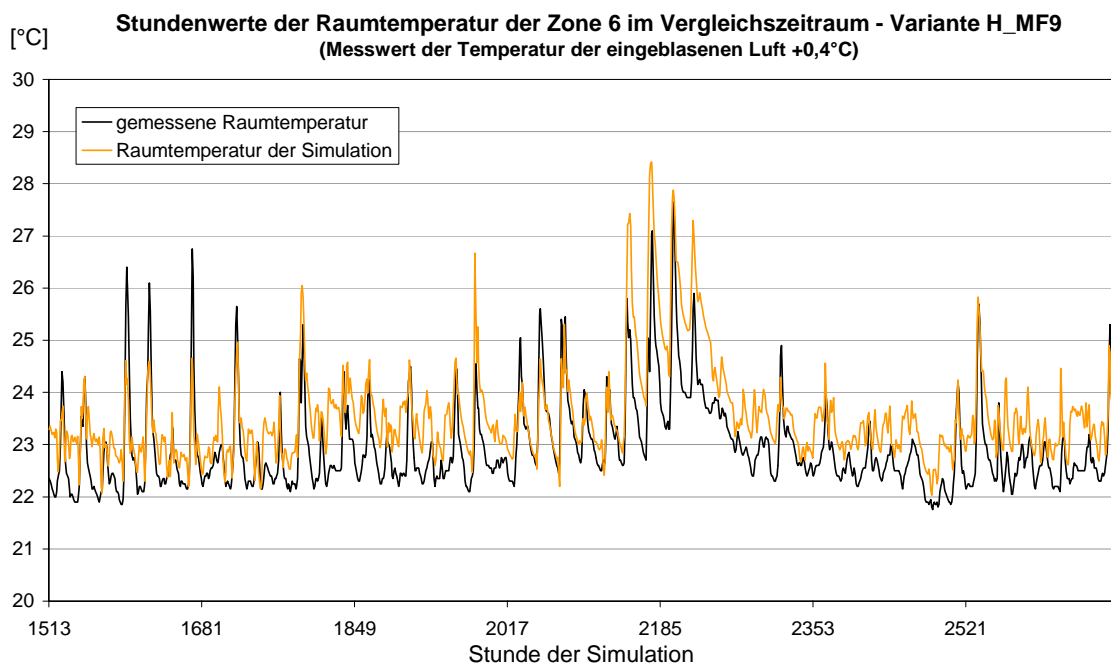


Abbildung 2-83: Verlauf der gemessenen und simulierten Raumtemperatur der Zone 6 der Variante H_MF9

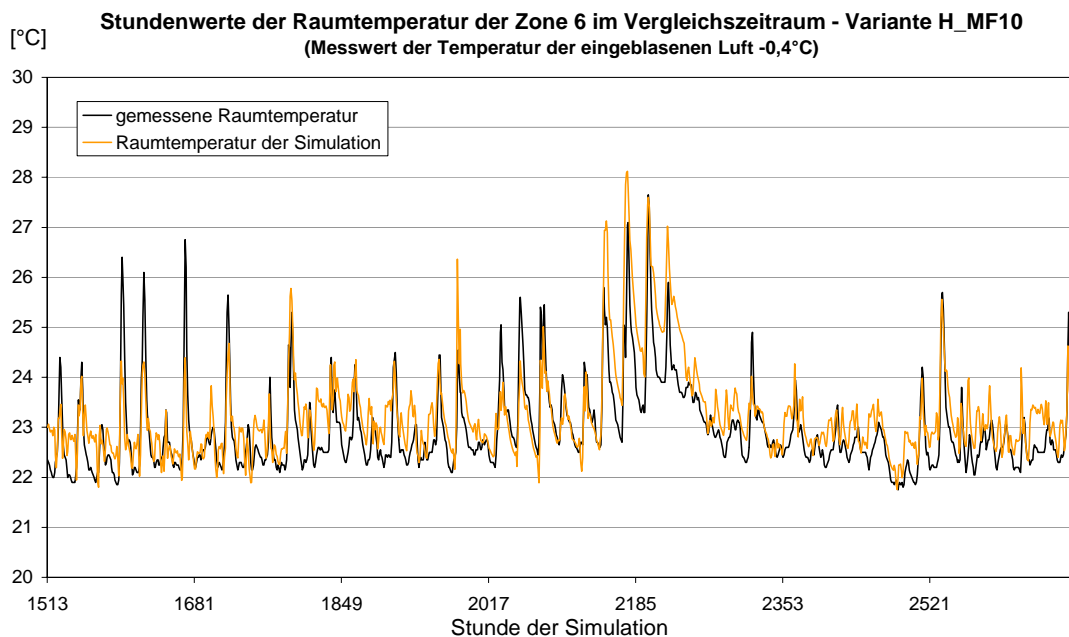


Abbildung 2-84: Verlauf der gemessenen und simulierten Raumtemperatur der Zone 6 der Variante H_MF10

Tabelle 2-47: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF9 und H_MF10

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\pm \Delta_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\pm \Delta_{max}$			mittlere Abweichung $\pm \Delta$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_MF9	0,68	0,60	0,59	3,76	1,49	0,82	-0,59	-0,59	-0,59
H_MF10	0,49	0,39	0,31	3,46	1,20	0,54	-0,31	-0,30	-0,31

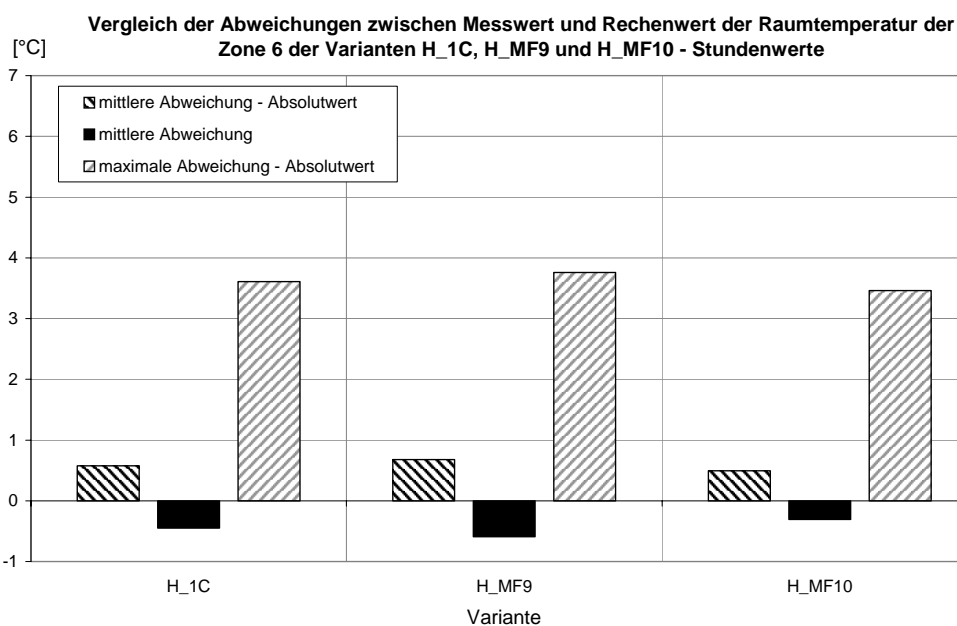


Abbildung 2-85: Abweichungen zwischen gemessener und simulierter Raumtemperatur der Varianten H_1C, H_MF9 und H_MF10

Haushaltsstromverbrauch

Der Haushaltsstromverbrauch wird mit einem Stromzähler gemessen. Dieses Messgerät weist eine Ungenauigkeit von $\pm 5\%$ bezogen auf den Messwert auf. Daraus folgen die Varianten H_MF11 und H_MF12. Der beispielhafte Verlauf des Haushaltsstromverbrauches während der Woche vom 07.01.2002 bis 13.01.2002 ist in Abbildung 2-86 zu sehen. Die Ergebnisse der Simulation der Variante H_MF11 sind in Abbildung 2-87 und die der Variante H_MF12 sind in Abbildung 2-88 ersichtlich.

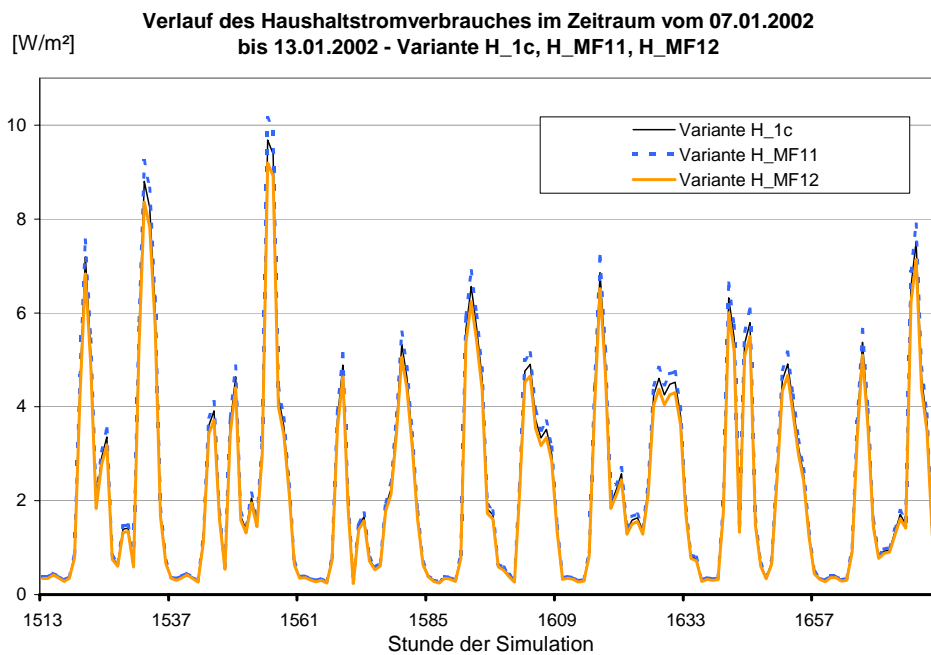


Abbildung 2-86: Verlauf der inneren Wärmen durch Geräte der Varianten H_1c, H_MF11 und H_MF12

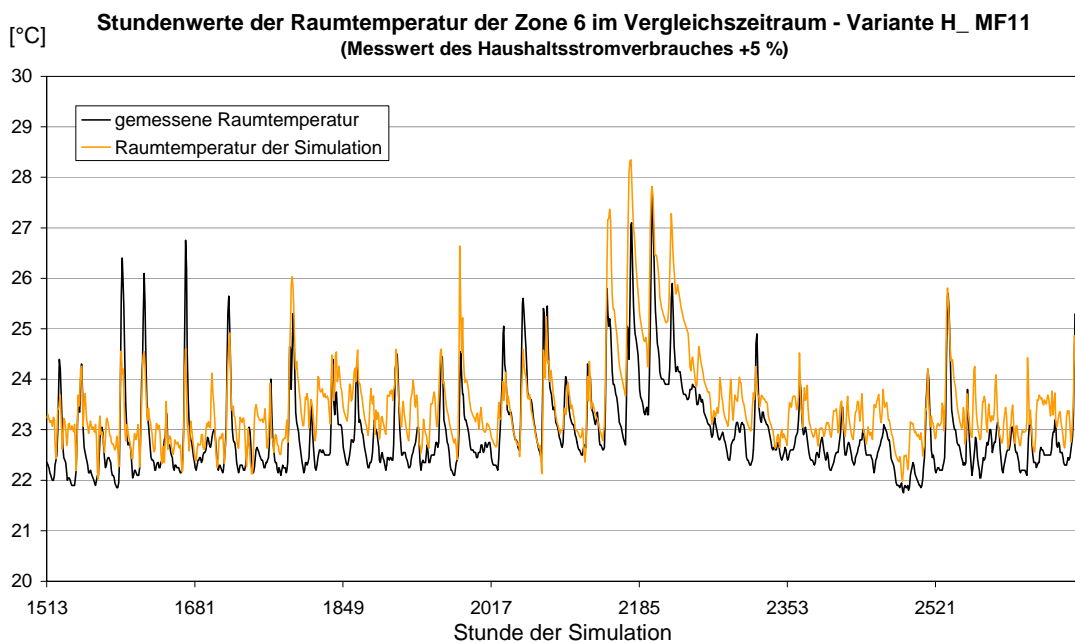


Abbildung 2-87: Stundenwerte der gemessenen und simulierten Raumtemperatur – Variante H_MF11

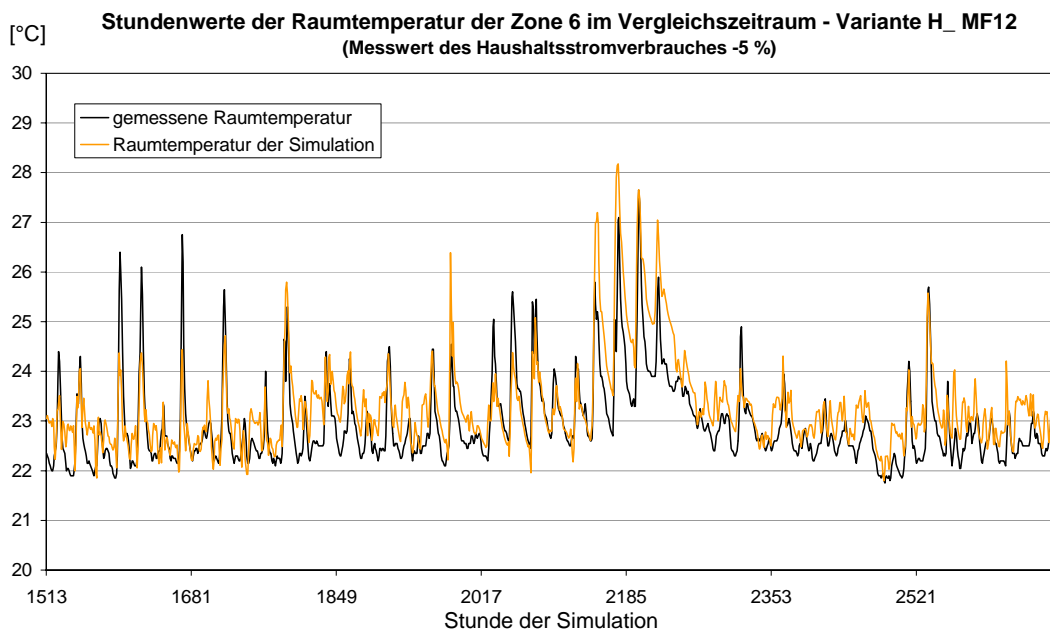


Abbildung 2-88: Stundenwerte der gemessenen und simulierten Raumtemperatur – Variante H_MF12

Einen Überblick über die Abweichungen der gemessenen Temperatur von der Temperatur der Simulation liefern die Abbildung 2-89 und die Tabelle 2-48.

Tabelle 2-48: Abweichungen der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der Varianten H_1c, H_MF11 und H_MF12

Vergleichszeitraum (07.Jänner 2002 bis 24.Februar 2002)									
Abweichung der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der jeweiligen Variante - Absolutwerte und tatsächliche Abweichung [K]									
Variante	h ... Stundenwerte			d ... Tagesmittelwerte			w ... Wochenmittelwerte		
	mittlere absolute Abweichung $\pm \Pi_{abs}$			maximale absolute Abweichung $\pm \Pi_{max}$			mittlere Abweichung $\pm \Pi$		
	h	d	w	h	d	w	h	d	w
H_1C	0,58	0,48	0,45	3,61	1,35	0,68	-0,45	-0,45	-0,45
H_MF11	0,65	0,57	0,55	3,71	1,44	0,78	-0,55	-0,54	-0,55
H_MF12	0,51	0,42	0,35	3,51	1,25	0,59	-0,35	-0,35	-0,35

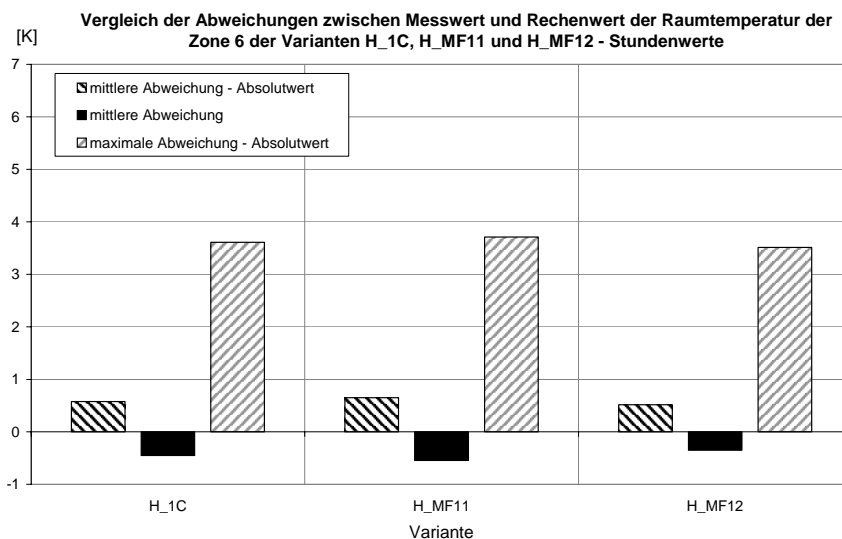


Abbildung 2-89: Abweichungen der gemessenen Raumtemperatur von der Temperatur der Simulation der Varianten H_1c, H_MF11 und H_MF12

2.5.7 Übersicht der Sensitivitätsanalysen für das Gebäude Hörbranz

Zusammenfassend zu den untersuchten Varianten für das Reihenhaus in Hörbranz wurde Tabelle 2-49 erstellt. Sie zeigt neben einer stichwortartigen Beschreibung der Eingabeparameter die wesentlichen Ergebnisse in Form der Kennzahlen der Temperaturabweichungen (siehe 2.5.1).

Tabelle 2-49: Zusammenfassung der Ergebnisse der Analyse des Gebäudes in Hörbranz

Typ	Bezeichnung der Variante	$\div T_{\text{abs}}$ [K]	$\div T_{\text{max}}$ [K]	$\div T$ [K]	Beschreibung der Variation der Grundvariante H_1c
Basisvariante Hörbranz	H_1c	0,58	3,61	-0,45	Außenlufttemperatur und Globalstrahlung -Messwerte der Messung vor Ort - Innenwärmen lt. Nutzerprofil aus Befragung und gemessener Haushaltsstromverbrauch - Angenommene Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung $v=1,5$ m/s – Messdaten der Raumtemperatur der angrenzenden Zonen
Klima	H_K1	2,08	6,79	-2,08	Außenlufttemperatur und Globalstrahlung -Messwerte der ZAMG
	H_K2	0,61	3,77	-0,49	Außenlufttemperatur - Messwerte der ZAMG
	H_K3	2,04	6,80	-2,04	Globalstrahlung -Messwerte der ZAMG
Innenwärmen	H_IW1	0,51	3,35	-0,32	Innenwärmen lt. ÖN B 8110-1 (3 W/m ² Bruttogeschossfläche, 90 W/Person)
	H_IW2	1,13	4,10	-1,10	Innenwärmen lt. Nutzerprofil für eine Durchschnittswoche, Anzahl der anwesenden Personen lt. Nutzerprofil für einen Durchschnittstag
	H_IW3	0,57	3,26	0,44	Innenwärmen lt. VDI 2067 (38 kWh/(m ² a) bezogen auf die Nutzfläche entsprechen 4,34 W/m ² innere Lasten durch Personen und Geräte)
Fensterlüftung	H_F1	0,98	4,64	0,93	Angenommene Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung $v=3$ m/s
	H_F2	3,10	7,99	3,10	Angenommene Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung $v=6$ m/s
Temp. der angrenzenden Zonen	H_Z1	0,44	2,93	0,17	Raumtemperatur der angrenzenden Zonen lt. ÖN B 8110-1 (20°C)
	H_Z2	0,53	3,41	-0,38	Raumtemperatur der angrenzenden Zonen lt. ISO 7730 (22°C)
	H_Z3	0,73	3,67	-0,65	durchschnittliche Raumtemperatur aus Messwerten mehrerer Wohnanlagen (23°C)
Messfehler	H_MF1	1,91	5,60	-1,91	Messwert der Globalstrahlung +74 W/m ²
	H_MF2	0,55	3,87	0,39	Messwert der Globalstrahlung -74 W/m ²
Messfehler	H_MF3	0,68	3,76	-0,59	Messwert der Außenlufttemperatur +0,5°C
	H_MF4	0,49	3,47	-0,30	Messwert der Außenlufttemperatur -0,5°C
Messfehler	H_MF5	0,65	3,71	-0,55	Messwert der Raumtemperatur der Zonen 5 und 7 +0,36°C
	H_MF6	0,51	3,52	-0,35	Messwert der Raumtemperatur der Zonen 5 und 7 -0,36°C
Messfehler	H_MF7	0,55	3,25	-0,37	Messwert der eingeblasenen Luftmenge +20 % [m ³ /h]
	H_MF8	0,65	4,00	-0,53	Messwert der eingeblasenen Luftmenge -20 % [m ³ /h]
Messfehler	H_MF9	0,68	3,76	-0,59	Messwert der Temperatur der eingeblasenen Luft +0,4°C
	H_MF10	0,49	3,46	-0,31	Messwert der Temperatur der eingeblasenen Luft -0,4°C
Messfehler	H_MF11	0,65	3,71	-0,55	Messwert des Haushaltsstromverbrauches von Haus 2 +5 %
	H_MF12	0,51	3,51	-0,35	Messwert des Haushaltsstromverbrauches von Haus 2 -5 %

3. Untersuchungen zum Nutzungsverhalten in Niedrigenergie- und Passivhäusern

3.1 Problemstellung

Wie bereits in der Einleitung beschrieben erhöht sich bei Niedrigenergiebauten und im Besonderen bei Passivhäusern der Einfluss des Benutzerverhaltens auf die Wärmebilanz. Durch die hohen Dämmstärken und hochwertigen Fensterkonstruktionen ergeben sich sehr kleine U-Werte der Außenbauteile mit der Folge von sehr kleinen Transmissionswärmeverlusten. Bei Gebäuden die auf Grundlage des Passivhauskonzeptes errichtet wurden vermindern sich durch die Abluftwärmerückgewinnung auch die Lüftungswärmeverluste deutlich. Somit verkleinern sich die beiden bedeutendsten thermischen Verlustposten bei Passivhäusern, im Vergleich zu „konventionellen Gebäuden“, wesentlich. Andere Komponenten der Wärmebilanz gewinnen somit stark an Bedeutung und auch das Benutzerverhalten rückt ins Zentrum der Betrachtungen.

Um verlässliche Vorhersagen über die energetische Performance eines Gebäudes treffen zu können müssen daher detaillierte Informationen über das Nutzungsverhalten in die Simulation eingearbeitet werden. Leider ist das Nutzungsverhalten ein nur bedingt durch mathematisch- physikalische Modellbildung beschreibbarer Simulationsparameter.

Ein Beispiel für die bedeutende Wirkung des Benutzerverhaltens auf die Wärmebilanz zeigt die im Rahmen des CEPHEUS (2001) – Projektes messtechnisch erfasste Wärmebilanz des Reihenhauses in Hörbranz (Abbildung 3-1). Das Haus A und das Haus C sind geometrisch als beinahe gleichwertig zu betrachten. Die Messdatenauswertung der in diesen Häusern gemessenen Innenraumtemperatur zeigte annähernd gleiche Werte. Würde man den Wärmebedarf der beiden Häuser ausschließlich über den Nutzheizenergiebedarf erklären wollen wäre der etwa dreifache Wärmebedarf von Haus C schwer zu begründen. Erst die Betrachtung aller wesentlichen wärmewirksamen Energieströme zeigt die Bedeutung des Haushaltsstroms und des Kochgases (vom Gebäude unabhängige rein durch den Nutzer bestimmte Größen) für die Wärmebilanz.

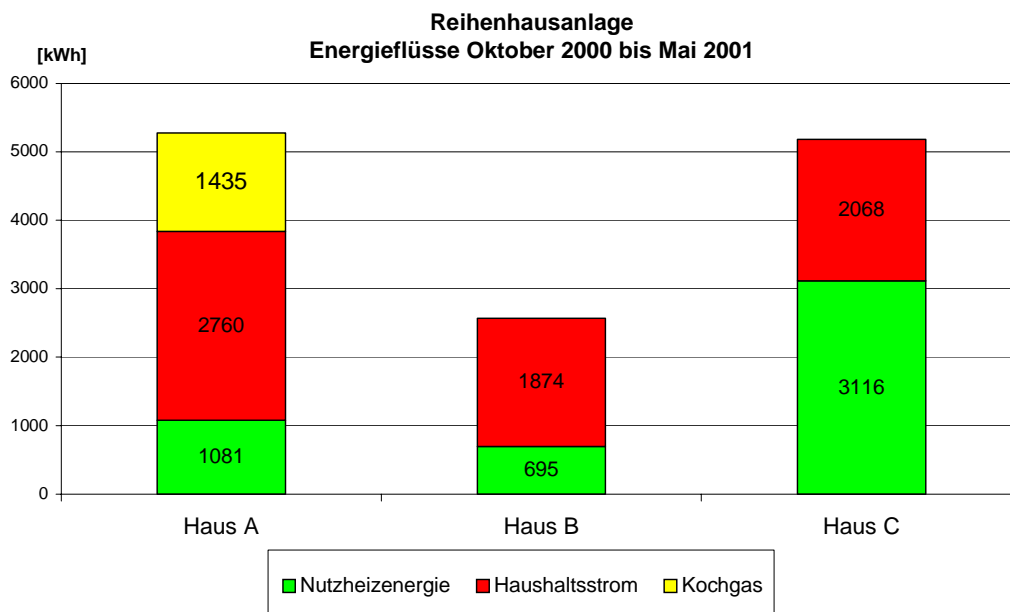


Abbildung 3-1: Wärmebilanz der drei Reihenhäuser in Hörbranz innerhalb der Heizsaison 2000/2001, (THÜR, 2002)

Die Nutzung von Gebäuden ist im Regelfall auf mehrere Jahrzehnte ausgelegt. In den wenigsten Fällen aber kann ein Nutzungsszenario für diesen gesamten Zeitraum exakt vorhergesagt werden. Wechselnde Nutzerzahlen bzw. Nutzeransprüche, sich ändernde Bedingungen der technischen Ausrüstung lassen eine punktgenaue Vorhersage des Nutzungsverhaltens als unmöglich erscheinen.

Für diese Problemstellung sind nun Gegenstrategien zu entwerfen.

- ≠ Eine Möglichkeit besteht in der Definition eines „Durchschnittsszenarios“, also der Annahme von zu erwartenden Mittelwerten für Belegung, Geräteabwärmern etc. Der Nachteil dieser Vorgangsweise liegt in der fehlenden Analyse der nutzungsbedingten Sensitivitäten des aufgestellten thermischen Modells. Weiters werden durch diese Vorgangsweise keine Extremwerte für Heiz- bzw. Kühllast erreicht und in der Folge keine Aussage über die nötigen Auslegungsleistungen getroffen.
- ≠ Eine andere Möglichkeit liegt in der Definition von „worst und best case“ Szenarien; d.h. jedem Eingabeparameter des Nutzerverhaltens wird nicht wie im Durchschnittsszenario ein Wert zugeordnet sondern ein ganzer Bereich an möglichen Zahlenwerten. Alle oberen Grenzwerte Wärme einbringender Parameter und alle unteren Grenzwerte Wärme entziehenden Parameter werden zu einer Nutzungsvariante zusammengefasst. Das so entstandene Paket an Nutzungsdaten stellt dann für die Wärmebedarfsberechnung den „best case“ und für die Kühlbedarfsberechnung den „worst case“. Gegengleich werden die unteren Grenzwerte Wärme einbringender Parameter und alle oberen Grenzwerte der Wärme entziehenden Parameter zu einer zweiten Nutzungsvariante zusammengefasst. Das so entstandene Paket an Nutzungsdaten stellt dann für die Wärmebedarfsberechnung den „worst case“ und für die Kühlbedarfsberechnung den „best case“ dar.

Obwohl ein jeder Eintrag von Wärme im Wesentlichen auf vier Übertragungsmechanismen zurückgeführt werden kann (Leitung, Konvektion, Strahlung und latente Wärmeabgabe) hat sich bei der Beschreibung von Nutzungsprofilen eingebürgert, eine Gliederung nach den verschiedenen Ursachen des Wärmeeintrages zu verwenden. Eine Aufteilung des internen Wärmeeintrages in Wärmeabgabe durch Personen, Beleuchtung und Geräte kann dabei als Regelfall bezeichnet werden. Ein Übernehmen dieser Gliederung erscheint sinnvoll, da beinahe die gesamte Literatur und somit die zur Verfügung stehenden Daten auf diese Weise gegliedert und beschrieben werden. Der Eintrag durch Wärmeleitung wird meistens vernachlässigt oder dem Wärmeeintrag durch Konvektion hinzugefügt. Abbildung 3-2 zeigt die wichtigsten Einflüsse im Bürobau, im Wohnbau kommen z.B. Abwärmern vom Kochen, Baden etc. hinzu. .

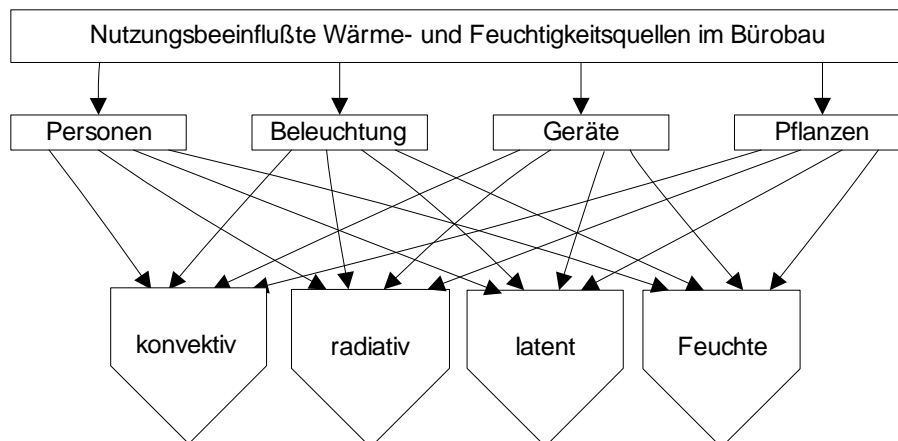


Abbildung 3-2: Benutzerinduzierte Wärme und Feuchtigkeitsquellen im Bürobau

Als Wärmestrahlung werden elektromagnetische Wellen bezeichnet, die von festen, flüssigen und gasförmigen Körpern emittiert werden. Konvektion wird auch als Wärmeleitung von Gasen bezeichnet, wobei die Voraussetzungen für die Konvektion ein bewegtes Fluid und eine freie oder erzwungene Strömung sind. Wärmeeinträge, die durch Verdunstung entstehen, werden als latent bezeichnet. Der Feuchteeintrag wird bisher in den wenigsten thermischen Simulationen berücksichtigt.

Im Sommerfall sind die Wärmeeinträge durchwegs als negativ zu betrachten. Im Besonderen die Wärmeeinträge durch elektrische Energie wirken sich negativ auf die Energiebilanz aus. Einerseits muss zur Stromproduktion ein hoher energetischer Aufwand betrieben werden der sich dann entweder in eine unerwünschte Erhöhung der Raumlufttemperatur auswirkt oder aber auch durch ein energieintensives Kühlsystem abgeführt werden muss.

Im Winter ist als positiv anzumerken, dass man keine Energie benötigt um die Wärme wieder abzutransportieren. Der Wärmeeintrag von Wärme in dieser Form ist aber nur bedingt regelbar, da Geräte dann benützt werden wenn sie gebraucht werden und nicht wenn die thermischen Bedingungen es verlangen würden. Die schlechte Regelbarkeit ist aber nicht der einzige Nachteil. Im Winter ist der Wärmeeintrag durch verschiedenste Geräte eine sehr ineffiziente Form der Heizung mit hohen CO₂ Emissionen als Folge.

3.2 Wärmeeintrag durch Personenbelegung

Will man die Wärmeabgabe durch die in einem Raum anwesenden Personen betrachten, so sind im Wesentlichen drei Komponenten zu beachten. Einerseits ist die Höhe der Wärmeabgabe eines Menschen von Bedeutung (Wärmeabgabe des Menschen), andererseits muss zu Berechnung der abgegebenen Wärmemenge auch der zeitliche Anfall der Belegung (Anwesenheitszeiten) und die Belegungsdichte (Anzahl der Personen im Raum) bekannt sein.

Wärmeabgabe des Menschen

Stoffwechselprozesse im inneren des menschlichen Körpers bewirken eine mittlere Körpertemperatur von 36,5 bis 37°C (Homoiothermie). Da die Innentemperaturen in Gebäuden üblicherweise eine geringere Temperatur aufweisen, gibt der Mensch beständig Wärme an seine Umwelt ab. Als Transportmechanismen des sensiblen Anteils sind Wärmeleitung (Berührung), Wärmestrahlung (gegen kältere Oberflächen) und Konvektion zu nennen. Der sensible Anteil wird durch Verdunstung von Wasser auf der Haut (Schwitzen) und durch die Atmung an die Umgebung abgegeben. Die Höhe der Wärmeproduktion des Menschen ist durch seinen Grundumsatz bestimmt. Der Grundumsatz ist im Wesentlichen vom Gewicht und dem Aktivitätsgrad einer Person abhängig. Die Wärmeabgabe wird weiters durch die Bekleidung und die Umgebungstemperatur beeinflusst. Je nach Höhe der Wärmeabfuhr ändern sich auch die Größenverhältnisse der Abgabemechanismen. Die diesbezüglichen Zusammenhänge zeigt Abbildung 3-3.

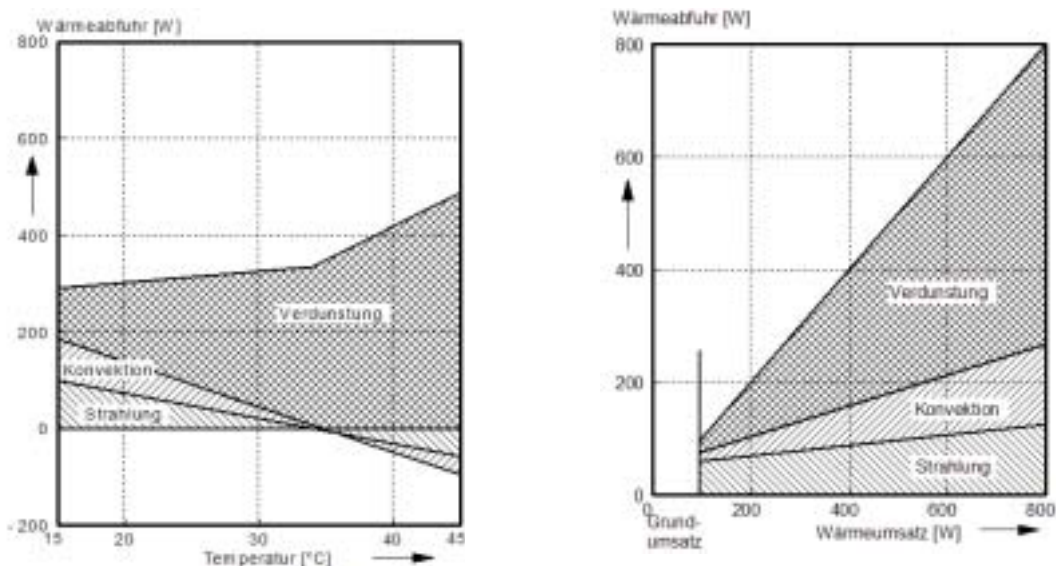
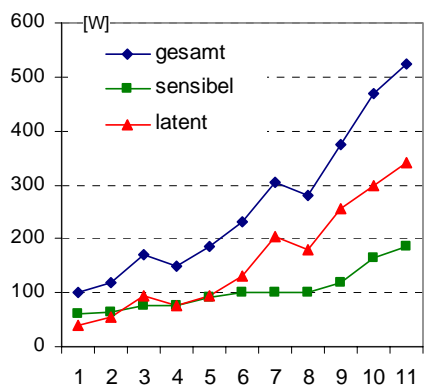


Abbildung 3-3: Zusammenhänge der Wärmeabgabe des Menschen an seine Umgebung [Steimle/Schädlich]

Diese physiologischen Zusammenhänge über die Wärmeproduktion und Wärmeabgabe des Menschen sind hinlänglich bekannt und haben, wenn auch in vereinfachter Form, Eingang in das Normungswesen gefunden (Abbildung 3-4). Ein Unterschied zwischen Wohnbau und Bürobau würde sich für in diesem Punkt nur dann ergeben, wenn man den Personen für den Wohnbau bzw. den Bürobau je ein unterschiedliches Aktivitätsniveau zuordnen könnte. Diesbezügliche Daten, die Aufschlüsse über solch einen Unterschied aufzeigen, sind aus der Literatur bisher keine bekannt. Auch die Frage nach dem für eine Berechnung anzunehmenden Aktivitätsniveau bleibt von Literatur und Normung unbeantwortet.



Nr	Art der Tätigkeit	gesamt	sensibel	latent
1	sitzend/ruhend	100	60	40
2	sitzend/ruhend	120	65	55
3	essend	170	75	95
4	sitzend leichte Arbeit	150	75	75
5	stehend leichte Arbeit	185	90	95
6	leichte Arbeit	230	100	130
7	gehend 1,3m/s	305	100	205
8	Bowling	280	100	180
9	tanzend	375	120	255
10	schwer arbeitend, Maschinenarbeit	470	165	300
11	schwer arbeitend Athleten	525	185	340

Abbildung 3-4: Zusammenhang zwischen Tätigkeit und Wärmeabgabe des Menschen (ISO 7730)

3.3 Wärmeeintrag durch Beleuchtung

Ist der Wärmeeintrag durch Beleuchtung das Ziel der Betrachtung, dann benötigt man im Wesentlichen wieder drei Komponenten. Ein Faktor ist die Höhe der Wärmeabgabe der einzelnen Beleuchtungskörper (Wärmeabgabe der Beleuchtungskörper). Weiters müssen die Anzahl der Beleuchtungskörper (Montagedichte) und die Betriebszeiten der Beleuchtungskörper angenommen werden.

Wärmeabgabe der Beleuchtungskörper

Daten über die Wärmeabgabe einzelner Beleuchtungskörper sind vom jeweiligen Produzenten beziehbar. Eine beispielhafte Übersicht über die Leistungsaufnahme verschiedener Beleuchtungskörper zeigt Tabelle 3-1.

Tabelle 3-1: Leistungsaufnahme verschiedener Beleuchtungskörper im Vergleich [Ganslandt, 1992]

	Lampenart	Leistungsaufnahme [W]	Länge [mm]	Durchmesser [mm]
Glühlampen	Allgebrauchslampe	60	107	60
		200	156	80
	Halogenglühlampe	75	85	32
		250	105	32
Entladungslampen	Leuchtstofflampe	18	590	26
		58	1500	26
	Kompakte Leuchtstofflampe	15	148	58
		23	178	58

Montagedichte

Die Anzahl der geplanten bzw. installierten Beleuchtungskörper hängt im Wesentlichen von der jeweilig gewünschten Beleuchtungsstärke ab. Hat man einen Beleuchtungskörper gewählt, so lässt sich zwischen der nötigen Nennbeleuchtungsstärke und der vorzusehenden Aufnahmeleistung ein Zusammenhang herstellen. Tabelle 3-2 (links) zeigt diesen Zusammenhang für Leuchtstofflampen. Wenn eine andere Lampenart verwendet wird zeigt Tabelle 3-2 (rechts) den Faktor den jeweiligen Multiplikationsfaktor.

Tabelle 3-2: Beleuchtungsstärke und Leistungsaufnahme verschiedener Beleuchtungskörper [Opfermann et. al]

Nennbeleuchtungsstärke in lx	Inninstall. Leistung in W/m ² Grundfläche des Raumes			Lampenart	Faktor
	Leuchten ca. 2m über zu beleuchtender Fläche	Leuchten ca. 3 m über zu beleuchtender Fläche	Leuchten ca. 4 m über zu beleuchtender Fläche		
1000	50	60	64	Glühlampe	4
750	38	45	48	Halogen - Glühlampe	1,6
500	25	30	32	Leuchtstofflampe	1
300	15	17	19	Quecksilberdampf - Hochdrucklampe	0,8
200	10	11	13	Indium - Amalgam - Leuchtstofflampe (3-Band Lampe)	0,6
100	5	6	6	Natriumdampf - Hochdrucklampe	0,5
50	3	3	4	Halogen - Metaldampf - Lampe	0,5

3.4 Wärmeeintrag durch Geräte

Für die Ermittlung der Wärmeeinträge durch Geräte benötigt man Angaben über die Höhe der Wärmeabgabe jedes Gerätes bei Betrieb (Wärmeabgabe der Geräte) und eine Aufstellung der entsprechenden Betriebszeiten. Einen diesbezüglichen Überblick über verschiedene Bürogeräte zeigt eine Aufstellung der Energieverwertungsarchitektur in Tabelle 3-3.

Tabelle 3-3: Betriebsstunden und Anschlussleistungen verschiedener Bürogeräte [EVA]

Geräteart	Betriebsstatus	Betriebsstunden	Anschlussleistung Altgeräte [W]	Anschlussleistung Neugeräte [W]
PC	Betrieb	840	70	35
	Stand-by	1500	40	2
	AUS	6420	5	0
Monitor (17")	Betrieb	840	120	50
	Stand-by	1500	30	4
	AUS	6420	50	0
Laserdrucker	Betrieb	210	300	170
	Stand-by	2100	80	4
	AUS	6450	0	0
Tintenstrahldrucker	Betrieb	210	20	10
	Stand-by	2100	10	2
	AUS	6450	8	0
Kopierer	Betrieb	210	500	300
	Stand-by	1890	220	80
	AUS	6660	30	0
Faxgerät	Betrieb	105	80	20
	Stand-by	8655	12	4
	AUS	0	5	0
Scanner	Betrieb	105	30	20
	Stand-by	1995	12	3
	AUS	6660	5	0
PC+Monitor	Betrieb	840	190	85
	Stand-by	1500	70	6
	AUS	6420	10	0

Die Geräteausstattung ist im Regelfall zum Zeitpunkt der Simulation noch nicht festgelegt. Daraus ergibt sich, dass üblicherweise in Planungsprozessen die Geräteausstattung an Hand von Erfahrungswerten angenommen wird. Auch zur Annahme der zeitlichen Verteilung der Betriebszeiten der einzelnen Geräte können wiederum nur Erfahrungswerte herangezogen werden.

3.5 Nutzungsszenarien im Mehrfamilienhaus Wohnbau - Datenermittlung durch Befragungen und Messungen

Den im Kapitel 6 (Quantitativer Vergleich ausgewählter Systeme) gezeigten Vergleich von Heizsystemen muss somit, aus den oben beschriebenen Gründen, ein realistisches Benutzerverhalten zu Grunde gelegt werden. Erstens interessiert welche Anforderungsprofile Nutzer an das Gebäude und dessen Heizungssystem stellen. Zweitens soll gezeigt werden in welcher Höhe und in welcher zeitlichen Abfolge vom Nutzer verursachte Wärmeströme auftreten. Die in der österreichischen Normung diesbezüglich festgehalten Aussagen (vgl. Kap. 2.3.2) können über diese Fragen nur beschränkt Auskunft geben, da sie ausschließlich mit Kennzahlen arbeiten und keine zeitlichen Verläufe anführen.

In diesem Kapitel wird einerseits das Verhalten von BewohnerInnen in ihren Wohnungen bezüglich Anwesenheit, Temperaturregelung, Fensterlüftung, Jalousienbenützung und Warmwasserverbrauch untersucht und andererseits wird die Einstellung der BewohnerInnen zum eigenen Heizsystem und zu anderen Heizsystemen aufgenommen. Dafür wurde eine Befragung von BewohnerInnen ausgewählter Niedrigenergie- und Passivhäuser durchgeführt. Für die Befragung wurden Wohnanlagen in Gnigl, Kuchl, Gneis-Moos, Egg und Hörbranz gewählt.

Die Zielsetzung der durchgeführten Befragung teilt sich in zwei unterschiedliche Absichten. Einerseits in den sozialwissenschaftlichen Teil (siehe Kapitel 7), der sich mit den Fragen auseinandersetzt, wie sich BewohnerInnen von Niedrigenergie- und Passivhäusern in ihren Wohnungen verhalten, wie sie mit den darin vorhandenen Heizsystemen zurechtkommen, wie zufrieden sie damit sind, welche

Schwierigkeiten es gibt und welche Heizsysteme sie für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus geeignet halten. Andererseits bildet die Befragung ein Standbein zur Untersuchung der durch das Nutzungsverhalten beeinflussten Wärmeströme.

Das zweite Standbein zur Erstellung der Nutzerprofile bildet die Analyse der im Rahmen des CEPHEUS- Projektes ermittelten Messdaten (Wohnanlagen in: Gnigl, Kuchl, Gneis-Moos, Egg und Hörbranz). Aus der Übereinstimmung der „vermessenen“ mit den „befragten“ Wohneinheiten ergibt sich die Möglichkeit Befragungsdaten und Messdaten miteinander zu ergänzen und in Relation zueinander zu setzen.

3.5.1 Erstellung des Fragebogens

Der Fragebogen wurde in folgende drei Teile aufgeteilt:

- 1) Eigenes Verhalten
- 2) Beurteilen des eigenen Heizsystems
- 3) Beurteilung von anderen Heizsystemen

Beim ersten Teil dieses Fragebogens (Eigenes Verhalten) wurde darauf Wert gelegt möglichst genaue Daten über das Nutzerverhalten der BewohnerInnen in der kalten Jahreszeit zu sammeln. Diese Fragengruppe geht genau auf das Lüftungsverhalten (Fensteröffnung und Jalousiennutzung) und die Aufenthaltszeiten der BewohnerInnen in der Wohnung (Belegungszahlen) ein, um für eine Simulation möglichst genaue und umfangreiche Daten zu liefern. Weiters wurden Fragen über die Temperaturregelung, zur eingestellten Temperatur in den verschiedenen Räumen der Wohnungen und zum Bade-, Dusch- und Waschverhalten der BewohnerInnen gestellt. Einzelne Fragen wurden an die jeweilige Wohnanlage angepasst (Abbildung 3-5 bis Abbildung 3-7).

FRAGENGRUPPE A: EIGENES VERHALTEN

Mit dieser Fragengruppe möchten wir ein möglichst detailliertes Profil der Wohnungsnutzung erstellen. Mit diesen Nutzerprofilen werden dann Simulationsrechnungen für unterschiedliche Heizsysteme durchgeführt. Uns ist bewusst, dass die Wohnungsnutzung nicht an jedem Tag gleich ist - wie bitten Sie daher, die ungefähre Nutzung an einem typischen Wochentag einzutragen.

Lüften (in der kalten Jahreszeit)

1. Zu welchen Tageszeiten öffnen Sie wieviele Fenster wie lange ? Wie ist die Stellung der Fenster (gekippt–halb geöffnet – voll geöffnet)? Entsteht dabei ein Durchzug (ja/nein) ?

Von Montag bis Freitag:

Stunde	Wohnzimmer	Schlafzimmer	Zimmer	Küche	Bad/WC	Nebenräume	Durchzug
6 bis 8	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
8 bis 11	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
11 bis 14	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
14 bis 18	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
18 bis 22	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
22 bis 6	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	

Am Wochenende:

Stunde	Wohnzimmer	Schlafzimmer	Zimmer	Küche	Bad/WC	Nebenräume	Durchzug
6 bis 8	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
8 bis 11	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
11 bis 14	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
14 bis 18	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
18 bis 22	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	
22 bis 6	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	Gekippt <input type="checkbox"/>	
	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	Halb geöffnet <input type="checkbox"/>	
	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	Voll geöffnet <input type="checkbox"/>	
Dauer	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	

Abbildung 3-5: Fragebogen über Nutzungsverhalten Teil A (Eigenes Verhalten) – Frage 1

2. Wenn niemand zu Hause ist, sind alle Fenster geschlossen ?
 a) Ja c
 b) Nein c
 Wenn nein, welche Fenster sind wie geöffnet ? _____

Jalousiengang

3. Wieso schließen Sie in der kalten Jahreszeit die Jalousien ?
 a) Ich schließe die Jalousien gar nicht c
 b) Es ist zu hell, bzw. es blendet c
 c) Es ist zu warm c
 d) Als Sichtschutz, wenn es dunkel ist c
 e) Als Sichtschutz tagsüber c
 f) Andre Gründe, nämlich _____

4. Wenn niemand zu Hause ist, sind alle Jalousien heruntergelassen ?
 a) Ja c
 b) Nein c
 Nicht alle, sondern _____

5. In der Nacht sind alle Jalousien heruntergelassen ?
 a) Ja c
 b) Nein c
 Nicht alle, sondern _____

Temperaturregelung (in der kalten Jahreszeit)

6. a) Auf welche durchschnittliche Raumtemperatur stellen Sie Ihre Heizung ein, damit Sie sich wohl fühlen ?
 ca. _____ Grad Celsius

b) Messen Sie zusätzlich die Temperatur in der Wohnung ?
 Ja c
 Nein c

Wenn ja, weicht diese Temperatur von der bei der Heizung eingestellten ab ?
 Ja c Um wieviel ? _____
 Nein c

c) Befinden sich Wärmequellen (Lampe, Netzgerät...) in der Nähe des Temperaturfühlers der Heizung, die den Fühler beeinflussen könnten ?
 Ja c Welche ? _____
 Nein c

7. Drehen Sie die Heizung zurück bzw. ab, wenn niemand zu Hause ist ?
 Ja c Auf wieviel Grad ? _____
 Nein c

8. Drehen Sie in der Nacht die Heizung zurück bzw. ab ?
 Ja c Auf wieviel Grad ? _____
 Nein c

9. Durch welche Maßnahmen erreichen Sie die von Ihnen gewünschte Raumtemperatur ?
 a) Einstellen des Heizkörperventils c
 b) Einstellen des Raumtemperatur-Reglers c
 c) Regelung der Lüftungsanlage c
 d) Fensterlüftung c
 (wenn ja, wie oft und warum ?) _____
 e) Anderes, nämlich _____

10. Welche Raumtemperaturen haben Sie in der kalten Jahreszeit und welche hätten Sie gerne ?

	beheizt oder temperiert	unbeheizt	Temperaturen wie sie sind		Temperaturen wie ich sie gerne hätte	
			Tag	Nacht	Tag	Nacht
Wohnzimmer	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C
Schlafzimmer	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C
Zimmer	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C
Küche	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C
Bad/WC	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C
Nebenräume	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> c	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C	<input type="checkbox"/> °C

Abbildung 3-6: Fragebogen über Nutzungsverhalten Teil A (Eigenes Verhalten) – Frage 2 bis Frage 10

Warmwasser

11. Anzahl der Badewannenfüllungen pro Woche im Haushalt:

12. Anzahl der Verwendungen der Dusche pro Woche im Haushalt:

13. Mittlere Dauer einer Dusche:

14. Wie oft waschen Sie in der Woche mit der Waschmaschine ?

15. Wie spülen Sie ihr Geschirr ?
 a) mit der Hand
 b) Mit der Geschirrspülmaschine

16. Wie oft verwenden Sie die Geschirrspülmaschine pro Woche ?

Belegung der Wohneinheit

17. Wieviele Personen befinden sich üblicherweise in der Wohnung ?
 (Bitte Anzahl der anwesenden Personen zuden entsprechenden Uhrzeiten eintragen.)

Stunde des Tages	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	
Montag - Donnerstag																									
Freitag																									
Samstag																									
Sonntag																									

Genaue Daten von längeren Abwesenheitszeiten (Uralub etc.) bzw. Zeiten mit außergewöhnlicher Belegung:

Datum (von - bis)	Anzahl der abwesenden Personen	Anzahl der anwesenden Personen

Abbildung 3-7: Fragebogen über Nutzungsverhalten Teil A (Eigenes Verhalten) – Frage 11 bis Frage 17

3.5.2 Mündliche Zusatzinformationen

Bei den Interviews mit den BewohnerInnen wurden neben den Daten für die Fragebögen noch die Bemerkungen der BewohnerInnen über ihre Wohnsituation über den Fragebogen hinaus festgehalten. Dabei fiel zum Beispiel auf, dass es in Kuchl besonders viele Beschwerden über das Wohnklima gab.

Bei der Befragung in **Kuchl** beschwerte sich der Großteil der befragten BewohnerInnen über zu hohe Temperaturen in ihren Wohnungen im Sommer und etliche schätzten das Belüftungssystem im Sommer als wirkungslos ein. Ein großes Ärgernis stellte für die BewohnerInnen die Tatsache dar, dass die Fenster nicht gekippt werden können. Dies empfanden vor allem die BewohnerInnen im Erdgeschoss als Problem, da sie aus Vorsicht vor Einbrüchen die Fenster im Sommer über Nacht nicht voll geöffnet lassen wollen und sich so in ihrem Lüftungsverhalten im Sommer stark eingeschränkt fühlen. Weiters wurde das Fehlen von außen liegenden Jalousien als Mangel erwähnt.

Das Raumklima wurde im Winter durchwegs als positiv empfunden, mit der Einschränkung, dass die Regelung der Temperaturen in den einzelnen Räumen nur schlecht funktioniert. Etliche der BewohnerInnen wissen zu wenig über ihre Möglichkeiten der Regelung für die Luftheizung und die Zusatzheizung. Dies fiel bei den Befragungen besonders dadurch auf, dass nur ein kleiner Teil der befragten BewohnerInnen in der Lage war die ihnen zur Verfügung stehenden Regelungsmöglichkeiten zu erklären, bzw. gaben die BewohnerInnen unterschiedliche Versionen über die Regelungsmöglichkeiten in ihrer Wohnung an. Etliche der befragten BewohnerInnen klagten über

zu hohe Temperaturen im Schlafbereich auch im Winter. Dies ist gekoppelt mit dem Problem die Fenster nicht kippen zu können und so die zu hohen Temperaturen im Schlafbereich nicht bzw. nur kaum beeinflussen zu können.

Die BewohnerInnen von **Gnigl** und **Gneis Moos** waren deutlich zufriedener mit ihrer Wohnsituation und fühlten sich in ihren Wohnungen wohl. Mit der Einschränkung, dass sowohl in Gnigl wie auch in Gneismoos das Problem der zu warmen Schlafräume vorhanden war.

Die BewohnerInnen der Wohnanlage in **Egg** äußerten sich im Großen und Ganzen zufrieden über ihre Wohnsituation, mit der Einschränkung, dass es im Sommer 2001 Probleme mit der Lüftungsanlage gab. Diese Probleme äußerten sich in einer Geruchsbelästigung, diese entstand durch Mülllagerung im Keller und der Tatsache, dass sich die Frischluft - Ansaugung der Lüftungsanlage über der Kellertüre befindet. Dieses Problem konnte aber durch eine entsprechende Lagerung des Mülls gelöst werden.

Bei der Befragung in **Hörbranz** war eine große Zufriedenheit der BewohnerInnen mit ihrer Wohnsituation zu spüren. Eine Familie mit Kindern merkte an, dass ihnen ein Heizkörper, bzw. eine warme Fläche zum Trocknen der nassen Kinderhandschuhe, Schibekleidung, Socken, etc. abgeht, sie behelfen sich, um diesen Mangel auszugleichen, mit einem Elektroheizkörper.

3.5.3 Belegungsauswertung

Die Auswertung der Anwesenheitszeiten der BewohnerInnen ist für die thermische Simulation der Wohnanlagen von Bedeutung, da die anwesenden Personen durch die von ihnen abgegebene Wärme einen Beitrag zu den inneren Wärmegewinnen in den Gebäuden darstellen. Die Anzahl der anwesenden BewohnerInnen in einer Wohnung wird auf 1 m² Wohnfläche bezogen um so den Vergleich unter den verschiedenen Wohnanlagen zu ermöglichen.

In Abbildung 3-8 ist das Ergebnis der Auswertung der Anwesenheitszeiten der BewohnerInnen in ihren Wohnungen mit unterschiedlichen Bandbreiten dargestellt. Um die Extremwerte der Belegung herauszufiltern, werden die höchsten beziehungsweise niedrigsten Belegungswerte aus der Auswertung genommen. Bei einer Bandbreite von 90 % fallen 10 % der Werte aus der Auswertung, bei einer Bandbreite von 70 % werden 30 % der Werte und bei einer Bandbreite von 50 % werden 50 % der Werte aus der Auswertung genommen. Zur Veranschaulichung der erhaltenen Ergebnisse zeigt Abbildung 3-9 die Mittelwerte der Bandbreiten über einander gelegt und auf ein Wohnung mit 90 m² Wohnfläche bezogen. In Tabelle 3-4 sind die Ergebnisse dieser Auswertung in Tabellenform zu sehen.

Im Statistischen Jahrbuch Österreichs 2001 (STATISTIK 2001) werden 33 m² als durchschnittliche Nutzfläche pro Wohnung und pro Person für das Jahr 1991 angegeben. Dies entspricht einer Belegung von 0,0303 Personen pro m² Nutzfläche. Vergleicht man diesen Wert mit dem in Tabelle 3-4 angegebenen Mittelwert für die Anzahl der anwesenden Personen pro m² Wohnfläche (0,027 Personen bezogen auf 1 m² Wohnfläche – beziehungsweise 37,7 m² pro Person), sieht man dass diese Werte nicht wesentlich voneinander abweichen. Daraus kann abgeleitet werden, dass die Größen der betrachteten Wohnungen etwas über dem österreichischen Durchschnitt liegen.

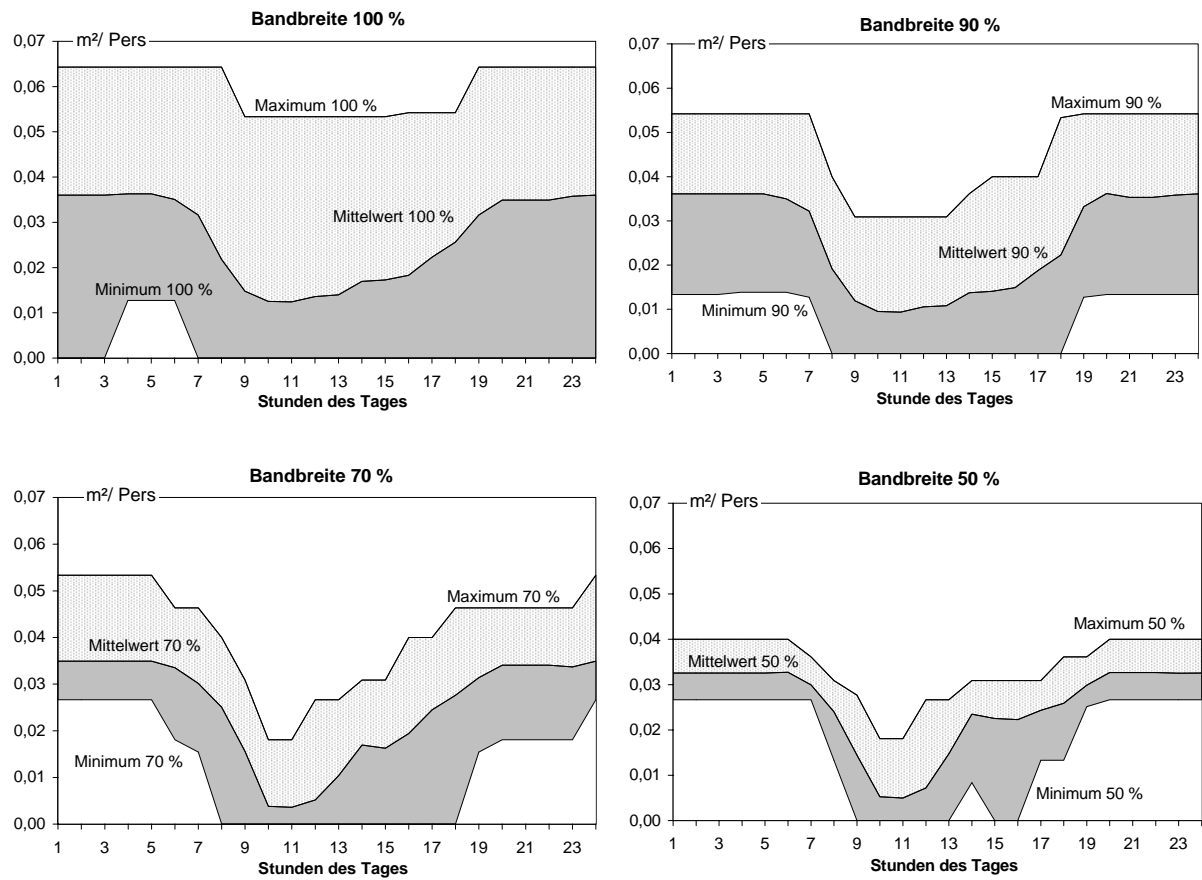


Abbildung 3-8: Durchschnittliche Belegungsverläufe ermittelt auf Grundlage der Befragungsergebnisse. Die Anzahl der anwesenden Personen ist auf 1 m² Wohnfläche bezogen um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu ermöglichen.

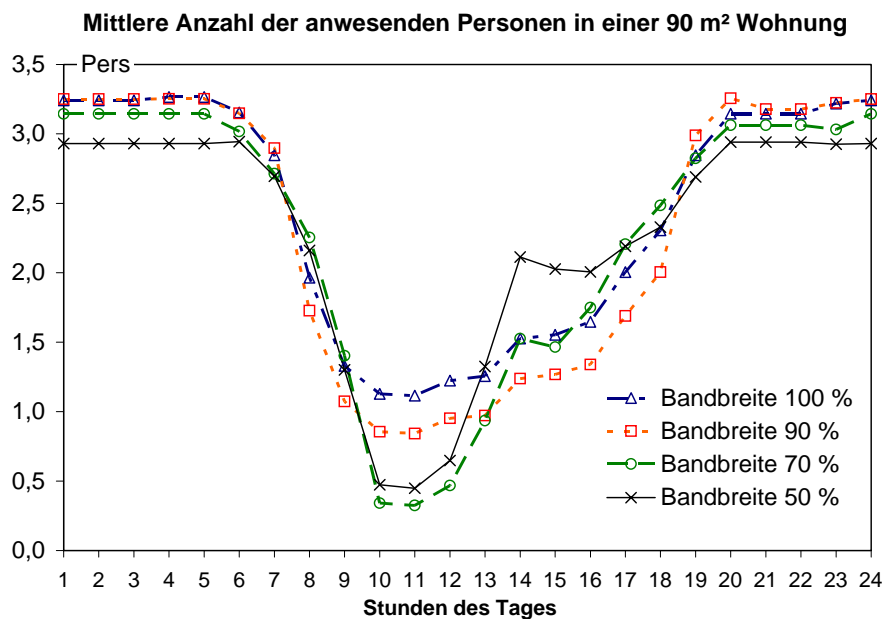


Abbildung 3-9: Zur Veranschaulichung der erhaltenen Ergebnisse werden nun die Mittelwerte der Bandbreiten über einander gelegt und auf ein Wohnung mit 90 m² Wohnfläche bezogen.

Tabelle 3-4: Tabellarische Aufstellung der anwesenden Personen bezogen auf 1 m² Wohnfläche

Anzahl der anwesenden Personen bezogen auf 1 m ² Wohnfläche												
Stunde des Tages	Bandbreite 100 %			Bandbreite 90 %			Bandbreite 70 %			Bandbreite 50 %		
	Min.	Mittelw.	Max.	Min.	Mittelw.	Max.	Min.	Mittelw.	Max.	Min.	Mittelw.	Max.
1	0,000	0,036	0,064	0,013	0,036	0,054	0,027	0,035	0,053	0,027	0,033	0,040
2	0,000	0,036	0,064	0,013	0,036	0,054	0,027	0,035	0,053	0,027	0,033	0,040
3	0,000	0,036	0,064	0,013	0,036	0,054	0,027	0,035	0,053	0,027	0,033	0,040
4	0,013	0,036	0,064	0,014	0,036	0,054	0,027	0,035	0,053	0,027	0,033	0,040
5	0,013	0,036	0,064	0,014	0,036	0,054	0,027	0,035	0,053	0,027	0,033	0,040
6	0,013	0,035	0,064	0,014	0,035	0,054	0,018	0,034	0,046	0,027	0,033	0,040
7	0,000	0,032	0,064	0,013	0,032	0,054	0,015	0,030	0,046	0,027	0,030	0,036
8	0,000	0,022	0,064	0,000	0,019	0,040	0,000	0,025	0,040	0,013	0,024	0,031
9	0,000	0,015	0,053	0,000	0,012	0,031	0,000	0,016	0,031	0,000	0,014	0,028
10	0,000	0,013	0,053	0,000	0,010	0,031	0,000	0,004	0,018	0,000	0,005	0,018
11	0,000	0,012	0,053	0,000	0,009	0,031	0,000	0,004	0,018	0,000	0,005	0,018
12	0,000	0,014	0,053	0,000	0,011	0,031	0,000	0,005	0,027	0,000	0,007	0,027
13	0,000	0,014	0,053	0,000	0,011	0,031	0,000	0,010	0,027	0,000	0,015	0,027
14	0,000	0,017	0,053	0,000	0,014	0,036	0,000	0,017	0,031	0,008	0,023	0,031
15	0,000	0,017	0,053	0,000	0,014	0,040	0,000	0,016	0,031	0,000	0,023	0,031
16	0,000	0,018	0,054	0,000	0,015	0,040	0,000	0,019	0,040	0,000	0,022	0,031
17	0,000	0,022	0,054	0,000	0,019	0,040	0,000	0,025	0,040	0,013	0,024	0,031
18	0,000	0,026	0,054	0,000	0,022	0,053	0,000	0,028	0,046	0,013	0,026	0,036
19	0,000	0,032	0,064	0,013	0,033	0,054	0,015	0,031	0,046	0,025	0,030	0,036
20	0,000	0,035	0,064	0,013	0,036	0,054	0,018	0,034	0,046	0,027	0,033	0,040
21	0,000	0,035	0,064	0,013	0,035	0,054	0,018	0,034	0,046	0,027	0,033	0,040
22	0,000	0,035	0,064	0,013	0,035	0,054	0,018	0,034	0,046	0,027	0,033	0,040
23	0,000	0,036	0,064	0,013	0,036	0,054	0,018	0,034	0,046	0,027	0,033	0,040
24	0,000	0,036	0,064	0,013	0,036	0,054	0,027	0,035	0,053	0,027	0,033	0,040
Mittelwert	0,027			0,026			0,025			0,025		

3.5.4 Temperaturniveaus in den Wohnungen

Die Temperaturniveaus in den Wohnungen sind für den Wärmebedarf als eine entscheidende Größe anzusehen. Aus diesem Grund wurde die Frage zehn des Fragebogens ausgearbeitet. Sie beschäftigt sich mit den wünschenswerten und den nach Einschätzung der Bewohner in ihren Wohnungen vorhandenen Raumlufttemperaturen. Zur Auswertung wurden die für den Bereich „Wohnzimmer“ angegebenen Werte verwendet. Die im Rahmen des CEPHEUS (2001) Projektes durchgeführten Raumlufttemperaturmessungen erfolgten in genau diesen Wohnräumen und können somit mit den Befragungsergebnissen verglichen werden.

Abbildung 3-10 zeigt die erhaltenen Ergebnisse in der Form eines Balkendiagrammes im Überblick. Die Auswertung zeigt, dass der Mittelwert der von den Bewohnern gewünschten Temperatur, je nach Grad der Extremwertbereinigung, eine Temperaturniveau von ca. 22°C aufweist. Auf die Frage nach der geschätzten Mitteltemperatur in ihren Wohnzimmern ergab sich eine Raumlufttemperatur um die 21,2°C; die Mittelwerte der in denselben Räumen gemessenen Temperaturen hingegen liegen über 23°C. Aus diesen Zusammenhängen können nun einige Schlüsse gezogen werden. Es ist zu erkennen, dass das Temperaturniveau in den Wohnungen von den Bewohnern nicht richtig eingeschätzt werden kann. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass mit einem Temperaturniveau von 20°C, in einer Wärmebedarfberechnung eines Geschosswohnbaues im Allgemeinen kein Auslangen gefunden werden kann. Bedeutung erlangen diese Zusammenhänge vor dem Hintergrund, dass eine Erhöhung der Raumlufttemperatur speziell im Niedrigenergie- und Passivhaus relativ große Wärmebedarfszuwächse verursachen.

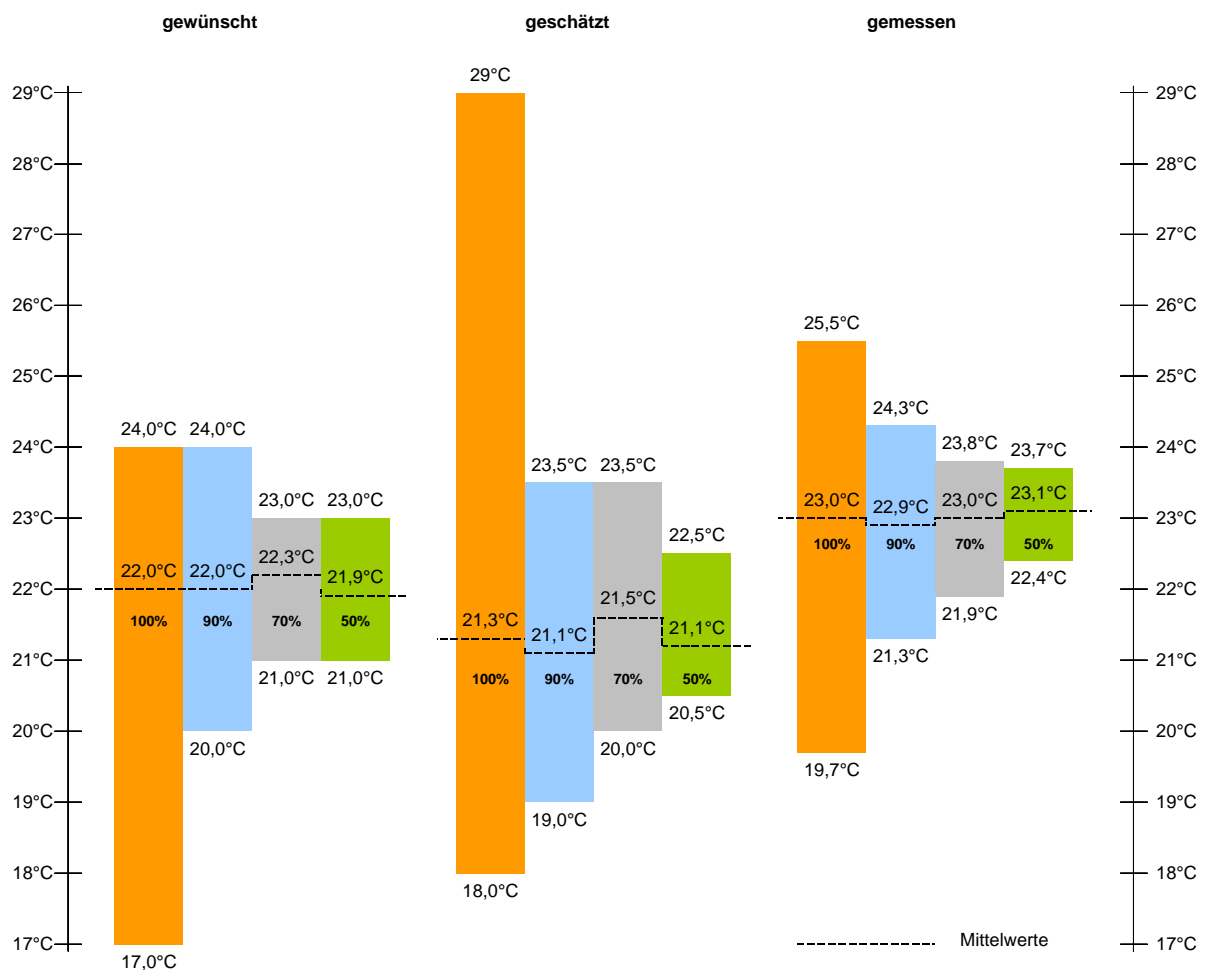


Abbildung 3-10: Extremwertbereinigte Bandbreiten der Raumlufttemperaturen der untersuchten Wohnräume im Vergleich. Von den Bewohnern gewünschte und geschätzte Temperaturen ergeben sich aus der Auswertung des Fragebogens. Die Auswertung der gemessenen Temperaturen stützen sich auf die Messwerte der im Rahmen des CEPHEUS (2001) Projektes durchgeführten Messungen (Messzeitraum November 2001 bis Februar 2002).

3.5.5 Lüftungsauswertung

In den untersuchten Gebäuden befinden sich zum Teil Zu- und Abluftanlagen zur geregelten Versorgung mit Frischluft, trotzdem wird in den Wohnungen noch zusätzlich über die Fenster gelüftet. Bei Niedrigenergie- und Passivhäusern ist der Einfluss der Fensterlüftung auf den Heizenergieverbrauch besonders zu berücksichtigen, da der Transmissionswärmeverlust durch die ausgeprägte Wärmedämmung gering ist und kaum mehr verbessert werden kann, der Verlust durch die Lüftung kann durch die Verwendung von entsprechenden Zu- und Abluftanlagen ebenfalls gering gehalten werden, allerdings kann durch die Fensterlüftung der BewohnerInnen der Lüftungswärmeverlust stark steigen. Daten über maschinelle Lüftung liegen zumeist in Form von Messdaten vor, die Erfassung von Daten über die Fensterlüftung ist schwer durchführbar, da es einerseits für die NutzerInnen schwierig ist das eigene Verhalten in Bezug auf den Zeitpunkt, die Dauer und Art (gekippt oder halb bzw. voll geöffnet) des Öffnens der Fenster genau zu beschreiben. Andererseits ist es problematisch die Luftmenge, die bei der Fensterlüftung in die Wohnung strömt, ohne genaue Kenntnis der Luftgeschwindigkeit in der Fensteröffnung zu berechnen. Für die Berechnung der Luftgeschwindigkeiten in der Fensteröffnung sind die Differenz zwischen Innen- und Außentemperatur und der Winddruck entscheidende Größen. Da Messungen über die Benutzung der Fenster (Zeitpunkt, Dauer und Art der Fensterlüftung) und über die Luftgeschwindigkeiten in der

Fensteröffnung (Temperatur- und Druckdifferenzen zwischen Innenraum und Außenluft) sehr aufwändig und kostenintensiv sind werden diese Messungen meistens nicht durchgeführt.

Die Ermittlung der Lüftungsraten der gegenständlichen Studie wird laut der in Kapitel 2.3.1, Tabelle 2-10 beschriebenen Daten durchgeführt. Abbildung 3-11 zeigt die ermittelten Luftwechselraten in Form von Tagesverläufen.

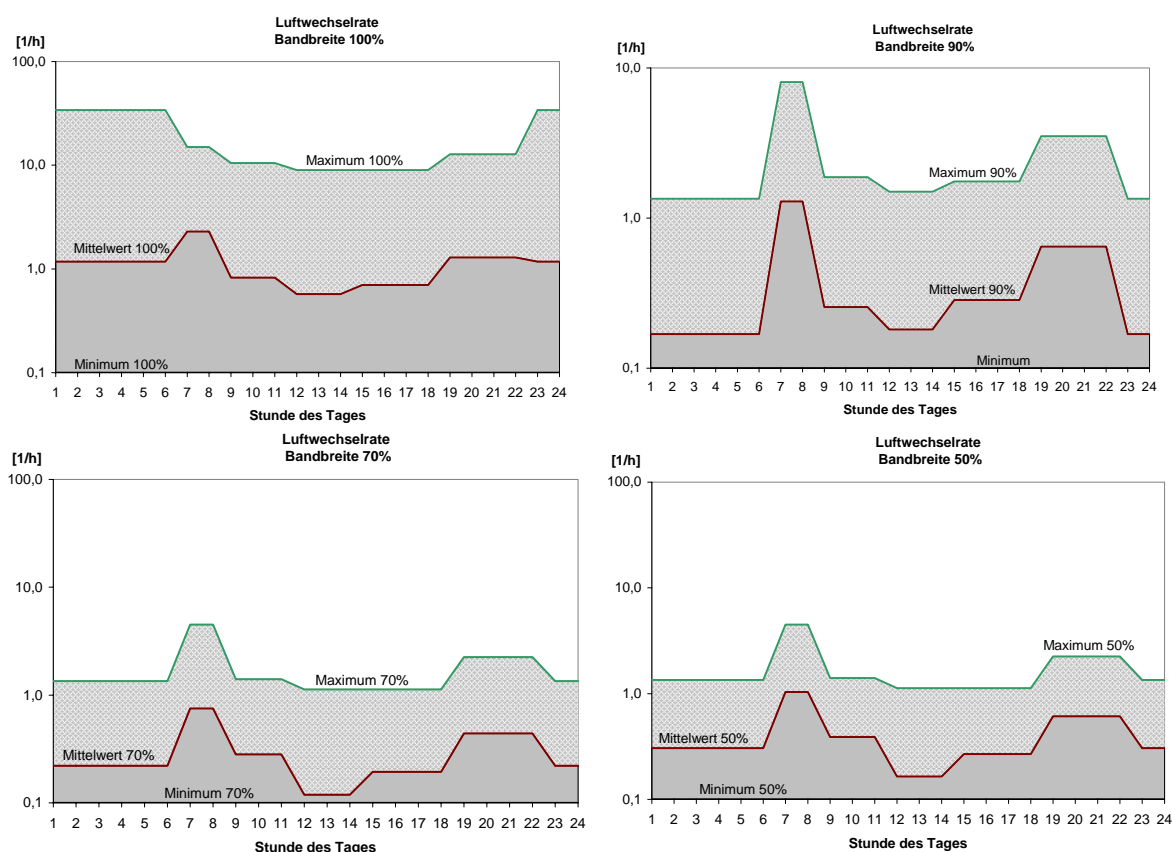


Abbildung 3-11: Luftwechselrate, Bandbreite 100%, 90 %, 70 % und 50 %

Die Auswertung zeigt, dass durch ein Weglassen von 10 % an Exremwerten (d.h. Bandbreite 90 %) die Mittelwerte der stündlichen Luftwechselraten stark fallen. Der Sprung von Bandbreite 90 % auf Bandbreite 70 % und dann auf 50 % zeigt eher kleine Auswirkung auf die stündlichen Mittelwerte. Die diesbezüglichen Tagesmittelwerte der 90 %, 70 % und 50 % Bandbreiten sind beinahe ident und liegen mit 0,3 /h und 0,4 / h nur knapp unter den in den Normen (siehe dazu: Tabelle 2-17) vorgeschriebenen hygienischen Mindestluftwechselraten. Bei Interpretation dieser Daten sollte man bedenken, dass 32 der 53 befragten Wohneinheiten mit einer kontrollierten Be- und Entlüftungsanlage ausgestattet sind.

3.5.6 Haushaltsstrom

Die in eine Wohnung in Form von Haushaltsstrom eingebrachte Energie wird in Wärme umgewandelt und muss somit in eine Bilanzierung der Wärmeströme einfließen. Der Verlauf dieses Wärmeeintrages ist an Hand einer Strommessung leicht zu ermitteln. Es ist jedoch zu beachten, dass ein bedeutender Teil ohne in einem Raum wärmewirksam zu werden wieder das Gebäude verlässt (z.B. ein großer Teil der Wärme die zur Erwärmung von Wasser verwendet wird, verlässt das Gebäude wieder durch den Kanal). Die Größe des wärmewirksamen Anteils des Haushaltsstromverbrauchs ist einerseits für jeden

Haushalt verschieden und andererseits nur durch aufwendige Messungen nachweisbar. Aus diesen Gründen werden, in diesem Kapitel, die Untersuchungen der Inneren Wärmen durch elektrische Geräte auf die Analyse des Haushaltsstromverbrauches beschränkt.

Um die Auswertungen vergleichbar zu machen werden die ermittelten Haushaltsstromverläufe auf 1 m² Wohnfläche bezogen. Die dafür notwendigen Daten liegen von insgesamt 53 Wohnungen in Egg, Gnigl, Hörbranz, Dornbirn, Horn, Steyr und Wolfurt in Form von Messdaten (Stundenwerte) und Angaben über die Wohnflächen vor. Der Auswertungszeitraum erstreckt sich vom 5. November 2001 bis zum 24. Februar 2002.

In Abbildung 3-12 sind verschiedene Wochenverläufe des Haushaltsstromverbrauches dargestellt. Dabei stellt der rote Verlauf den Stromverbrauch der Woche mit dem höchsten Wochenmittelwert im Betrachtungszeitraum dar (3,46 W/m²) und der blaue Verlauf zeigt den Haushaltsstromverbrauch der Wohnung mit dem kleinsten Wochenmittelwert (3,8 W/m²). Mittelt man die Stundenwerte aller Wohneinheiten, einer jeden Stunde im Betrachtungszeitraum, so ergibt sich der grau hinterlegte Wochenverlauf. Der Mittelwert dieses Verlaufes ist somit der Mittelwert sämtlicher untersuchter Stundenwerte über den gesamten Auswertungszeitraum (3,7 W/m²).

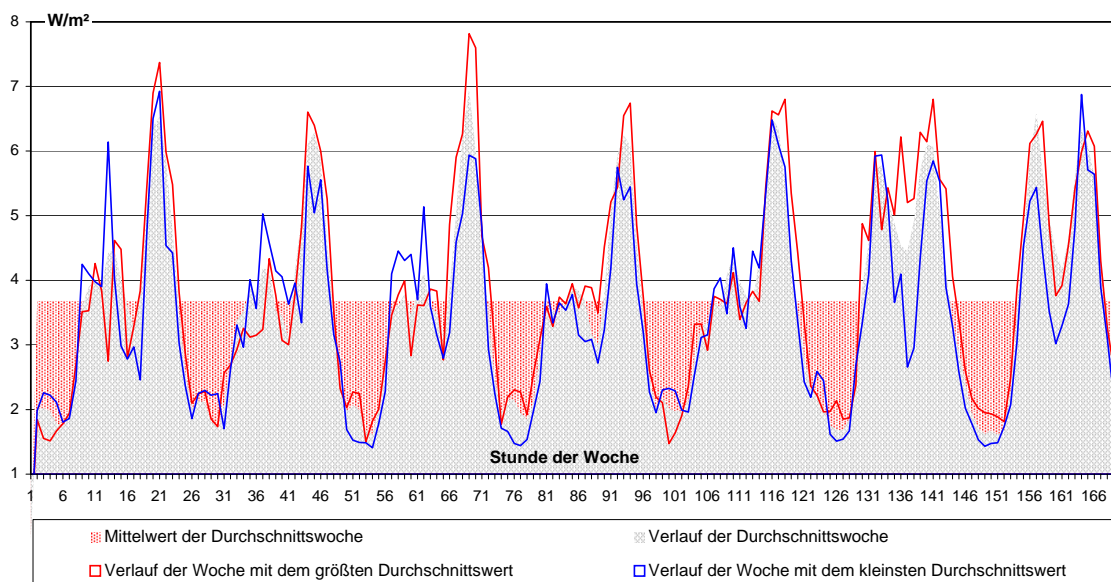


Abbildung 3-12: Vergleich verschiedener Wochenverläufe des Haushaltsstromverbrauches der untersuchten Wohneinheiten im Betrachtungszeitraum (5. November 2001 bis zum 24. Februar 2002) und Mittelwert aller untersuchten Stundenwerte (3,7 W/m²)

Ausgehend vom gemittelten Wochenverlauf werden die Tage Montag bis Freitag (Arbeitstage) in ihrem Verlauf noch einmal gemittelt. Der so entstandene Tagesverlauf kann als mittlerer Verlauf des Haushaltsstromverbrauches eines Arbeitstages bezeichnet werden. Auf die gleiche Weise wird durch zusammenführen der Verläufe der Tage Samstag und Sonntag ein Tagesverlauf des Haushaltsstroms ermittelt. Der so entstandene Tagesverlauf kann als mittlerer Verlauf des Haushaltsstromverbrauches eines Wochenendtages bezeichnet werden (Abbildung 3-13 und Tabelle 3-5).

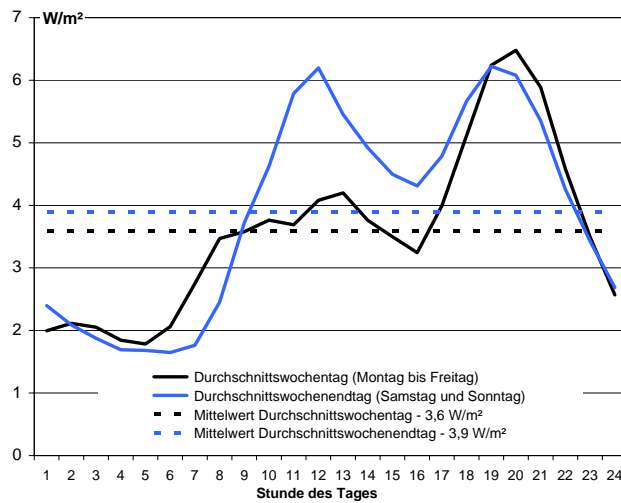


Abbildung 3-13: Ermittelte Tagesverläufe des Haushaltsstromes für einen Wochentag und einen Wochenendtag und deren Mittelwerte

Tabelle 3-5: Vergleich des Verbrauchs von Haushaltsstrom an Arbeitstagen und am Wochenende

		Tagesverlauf des Haushaltsstromverbrauchs [W/m ²]																							
		Stunde des Tages																							
Arbeits- tage	Minimum	1.66	1.47	1.43	1.40	1.36	1.76	1.97	2.25	2.31	2.26	2.30	2.73	3.18	2.68	2.36	2.12	2.61	3.47	4.68	4.57	4.06	3.52	2.87	2.03
	Mittelwert	2.10	2.36	2.32	2.04	1.89	2.11	2.89	3.71	3.73	3.80	3.68	4.11	4.21	3.77	3.52	3.27	3.92	4.91	6.00	6.20	5.69	4.54	3.54	2.60
	Maximum	2.71	3.28	3.06	2.93	2.66	2.70	3.71	4.66	5.48	5.22	6.38	7.42	5.60	5.24	6.35	5.18	5.71	7.96	7.65	8.22	7.40	5.43	4.59	3.64
Wochen- ende	Minimum	1.84	1.62	1.55	1.46	1.50	1.52	1.56	2.05	2.91	3.72	4.03	4.66	4.18	3.42	3.01	2.72	2.73	3.96	4.65	5.08	3.89	3.53	2.82	2.22
	Mittelwert	2.48	2.25	2.05	1.82	1.78	1.78	1.97	2.62	3.86	4.63	5.46	6.00	5.48	4.85	4.57	4.40	4.70	5.45	6.11	6.02	5.35	4.36	3.48	2.74
	Maximum	3.26	3.29	3.05	2.70	2.18	2.21	2.55	3.30	5.53	5.82	7.03	8.46	8.00	8.00	6.95	6.23	6.35	7.82	7.46	7.54	6.42	5.40	4.49	4.37

Alle bisher gezeigten Werte ergeben sich durch eine Mittelung der Stundenwerte über alle Wohneinheiten. Die Schwankungsbreiten der untersuchten Werte zwischen den einzelnen Wohneinheiten zeigt Abbildung 3-14.

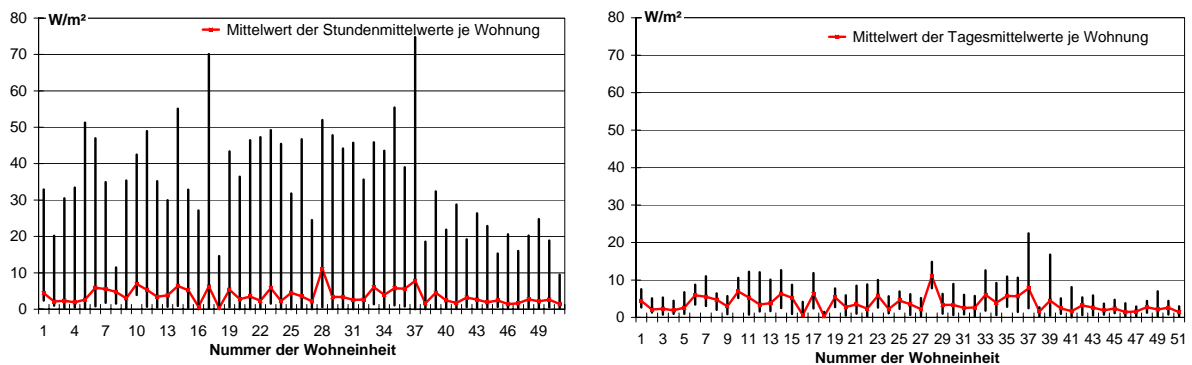


Abbildung 3-14: Bandbreiten der Stunden bzw. Tagesmittelwerte der einzelnen untersuchten Wohneinheiten

3.6 Nutzungsszenarien im Bürobau – Daten aus Normen und Planungsannahmen

Die folgenden Daten wurden zur Vervollständigung der Arbeit erhoben, sie finden jedoch nicht in der quantitativen Bewertung der Heizungssysteme ihren Niederschlag.

3.6.1 Abwärme durch Personen

Um den Wärmeeintrag durch Personenbelegung zu erfassen sind die jeweiligen Anwesenheitszeiten zu definieren. Hier kann einzig auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden. Lediglich das Arbeitszeitgesetz mit seiner Beschränkung der täglichen Arbeitszeit auf 10 Stunden und die in Österreich weit verbreitete 40 Stunden Woche liefern zumindest Anhaltspunkte in Bezug auf die Anwesenheitszeiten in Bürobauten.

Bei der Annahme der Belegungsrhythmen zeigen sich prinzipielle Unterschiede zwischen Wohnbau und Bürobau. Im Wohnbau ist in den Nachtstunden im Regelfall die maximale Belegung bis in die Morgenstunden hinein zu erwarten (Schlafphase). Eine starke Abnahme der Belegungsdichte im Laufe des Vormittages und eine Zunahme in den späteren Nachmittagsstunden ist zumindest für Haushalte mit berufstätigen Personen voraus zu setzen. Die übliche Nutzungszeit im Bürobau hingegen ist als entgegengesetzt zu erwarten. Keine Belegung in den Nachtstunden, Ansteigen der Belegung in den frühen Vormittagsstunden, und Abnahme der Belegung in den späten Nachmittagsstunden. Als Veranschaulichung der unterschiedlichen zu erwartenden Tagesverläufe zeigt Abbildung 3-15 einen Vergleich zwischen den Annahmen, welche für ein Bürogebäude in einer internationalen Forschungsarbeit (Task 25, 2003) getroffen wurden und den Erhebungen für Wohngebäuden aus Kap.3.5.3 .

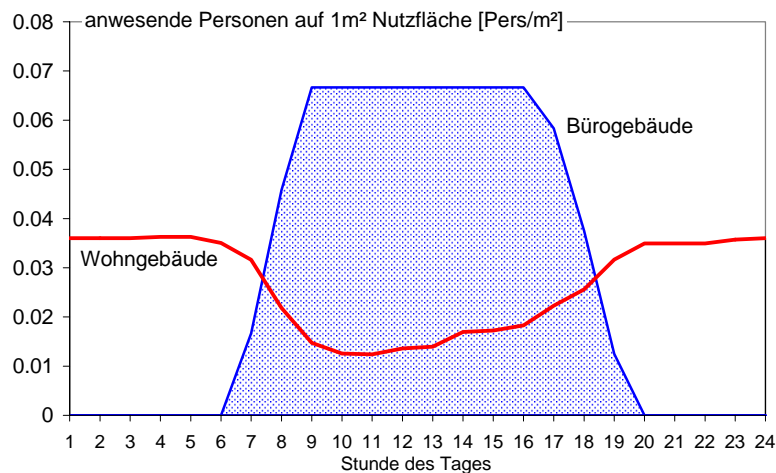


Abbildung 3-15: Vergleich der unterschiedlichen Belegungsverläufe über einen Tag zwischen einem Bürogebäude (Task 25, 2003) und dem in Abbildung 3-8 dargestellten mittleren Tagesverlaufes einer Belegung in Wohngebäuden

Belegungsdichte

Bei Betrachtung der Belegungsdichte muss nach der Nutzung des jeweils betrachteten Raumes unterschieden werden. Für Büroräume sind weiters zwischen Einzel- und Mehrpersonenbüros deutliche Unterschiede zu erkennen. Einen Sonderfall in Bezug auf die Belegungsdichte stellen

Besprechungsräume dar; hier sind sehr dichte Belegungen mit unregelmäßigen Anfallzeiten der Regelfall. Am Institut für Wärmetechnik wurden verschiedene Sanierungs- bzw. Bauprojekte in Bezug auf ihre Belegungsdichte ausgewertet. Tabelle 3-6 zeigt diesbezügliche Beispiele für vier verschiedene Gebäudetypen. Die für ein Durchschnittsszenario dargestellten Werte beziehen sich auf den Maximalwert der Belegung innerhalb eines Wochentages.

Tabelle 3-6 Auswertung der maximalen Belegungsdichte eines Tagesverlaufes in einem Durchschnittsszenario für verschiedene Bürotypen. Die Anzahl der Personen wird auf jeweils 1m² Nutzfläche bezogen um eine Vergleichbarkeit der Belegungsdichten zu erreichen.

Anzahl der anwesenden Personen im Tagesverlauf eines Durchschnittsszenarios [Pers/m ² Nutzfläche]				
Gebäude		Tagesmaximum bei Raumtyp		
		Einzelbüro	Mehrpersonenbüroraum	Besprechungsraum
Altbau	Bürogebäude <i>errichtet 1968 (nach Mach et al., 2000)</i>	0,09	0,13	0,50
	Verwaltungsgebäude <i>errichtet 1981 (nach Blümel et al., in Arbeit)</i>	0,06	0,13	0,44
Neubau	Niedrigenergie Bürogebäude <i>errichtet 2002 (nach Mach et al., 2002)</i>	0,04	0,08	0,14
	Passivhaus-Bürogebäude <i>errichtet 2003 (nach Mach et al., 2003)</i>	0,04	0,07	0,50

Im „Statistischen Jahrbuch Österreichs“ (Statistik Austria, 2001) wird für den österreichischen Wohnbau angegeben, dass im Mittel für jede Person in Österreich 33 m² Wohnnutzfläche zur Verfügung stehen. Daraus ergibt sich eine maximale Belegungsdichte von 0,03 Personen je Quadratmeter Nutzfläche. Vergleicht man diese Nutzfläche mit den in Tabelle 3-6 angeführten Belegungsdichten im Bürobau, so lässt sich erkennen, dass die maximale Belegungsdichte im Bürobau leicht bis deutlich höher liegt.

3.6.2 Beleuchtung

Tabelle 3-7 zeigt, aufgliedert nach verschiedenen Raumtypen, die installierte (Altbau) bzw. geplante (Neubau) Beleuchtungsleistung verschiedener Referenzprojekte.

Vergleicht man die einzelnen Verursacher des inneren Wärmeeintrages (vgl. Beispiel in Abbildung 3-16), so erkennt man die Bedeutung der Beleuchtung für den maximalen Wärmeeintrag. Der tatsächliche Anfall von Abwärme hängt aber im Wesentlichen von den tatsächlichen Betriebszeiten der Beleuchtungskörper ab, da der gesamte Wärmeeintrag durch die Beleuchtung ja nur dann vorhanden ist, wenn die Lampen auch tatsächlich eingeschaltet sind. Die tatsächliche Betriebszeit hängt aber von einer ganzen Reihe von Aspekten ab, die im Rahmen einer thermischen Gebäudesimulation nicht behandelbar sind. Das Belichtungsbedürfnis der betroffenen Personen, der Einfluss der Tageslichtbeleuchtung aber auch Regelungsmechanismen wie die Bedienung mit Ein/Ausschalter oder mit Zeitschaltuhr. Eine Koppelung der thermischen Simulation mit einer lichttechnischen Simulation könnte hier eine deutliche Verbesserung der Abschätzbarkeit durch Beleuchtung bedingten Wärmeabgabe bewirken.

Tabelle 3-7: Gegenüberstellung von installierten Beleuchtungsleistungen.

Wärmeeintrag durch Beleuchtung im Tagesverlauf eines Durchschnittsszenarios [W/m ² Nutzfläche]				
Gebäude		Tagesmaximum bei Raumtyp		
		Einzelbüro	Mehrpersonen- büroraum	Besprechungs- raum
Altbau	Bürogebäude <i>errichtet 1968 (nach Mach et al., 2000)</i>	10	10	10
	Verwaltungsgebäude <i>errichtet 1981 (nach Blümel et al., in Arbeit)</i>	23	17	27
Neubau	Niedrigenergie Bürogebäude <i>errichtet 2002 (nach Mach et al., 2002)</i>	17	17	17
	Passivhaus-Bürogebäude <i>errichtet 2003 (nach Mach et al., 2003)</i>	17	15	12

3.6.3 Wärmeabgabe durch Geräte

Bezeichnend für einen generellen Trend bei Bürogeräten kann Tabelle 3-8 gesehen werden. Die Jahresenergieverbräuche und somit die Wärmeabgabe sind in den letzten Jahren erfreulicherweise stark gesunken. Somit ist der Wärmeeintrag durch Geräte und damit auch die Unsicherheit der getroffenen Annahmen relativ klein. Abbildung 3-8 zeigt wiederum eine Auswertung verschiedener Referenzprojekte. Den größten Anteil an der Wärmeabgabe in Büroräumen wird durch die EDV Ausstattung verursacht. Da beinahe jeder Büromitarbeiter mindestens einen PC (im Bürogebäude 1968 sogar beinahe 2 PC pro Person) inklusive Monitor bedient ist die Flächenbelastung deutlich an die Belegungsdichte gekoppelt. Die hohen Flächenbelastungen in den Mehrpersonnbürräumen sind auf diese Weise zu Stande gekommen.

Tabelle 3-8: Gegenüberstellung der Erfahrungswerte in Bezug auf Geräteabwärmern

Wärmeeintrag durch Geräte im Tagesverlauf eines Durchschnittsszenarios [W/m ² Nutzfläche]				
Gebäude		Tagesmaximum bei Raumtyp		
		Einzelbüro	Mehrpersonen- büroraum	Besprechungs- raum
Altbau	Bürogebäude <i>errichtet 1968 (nach Mach et al., 2000)</i>	17,39	26,09	-
	Verwaltungsgebäude <i>errichtet 1981 (nach Blümel et al., in Arbeit)</i>	6,68	14,24	-
Neubau	Niedrigenergie Bürogebäude <i>errichtet 2002 (nach Mach et al., 2002)</i>	6,67	13,82	-
	Passivhaus-Bürogebäude <i>errichtet 2003 (nach Mach et al., 2003)</i>	6,87	11,32	-

3.6.4 Beispielhafte Aufschlüsselung des nutzerbedingten Wärmeeintrages in einen Büroraum

Das folgende Beispiel (Abbildung 3-16) eines Bürogebäudes zeigt die Verteilung der internen Wärmeeinträge am Beispiel eines Durchschnittsszenarios für einen Einzelbüroraum. Die Gliederung der inneren Wärmeeinträge folgt der klassischen Unterteilung in die drei Wärmeerzeuger Personen,

Beleuchtung und Bürogeräte. Die angegebenen Werte sind alle spezifisch, auf die Nutzfläche bezogen, dargestellt.



Abbildung 3-16: Beispielhaftes Wochenschema für den Eintrag innerer Wärmequellen in einem Einzelbüroraum in einem Durchschnittsszenario.

Folgende Annahmen liegen dem Lastschema zu Grunde:

- Raumtyp: Einzelbüro
- Art des Szenarios: Durchschnittsszenario
- Nutzfläche: 13,75 m²
- Belegung: 1 Person von 8 bis 18 Uhr mit 1 Stunde Mittagspause
- Personenabwärme: 100 W/Person
- Beleuchtung: 10 W/m² von 8 bis 18 Uhr
- Geräte: 1 PC (incl. TFT- Bildschirm) mit 63 W Wärmeabgabe

4. Referenzszenarien für den Systemvergleich

4.1 Nutzungsparameter

Die zwei in Kapitel 2 beschriebenen Wohngebäude in Hörbranz und Egg, die im Rahmen des EU-Projektes CEPHEUS (2001) (Cost Efficient Passive Houses as European Standards) vermessen wurden, dienten als Vergleichsgebäude für die Aufstellung der Simulationenmodelle für die Referenzgebäude der simulationstechnischen Untersuchungen für diesen Leitfaden.

Mit diesen Meßwerten wurden die folgenden Simulationsmodelle der Referenzgebäude abgestimmt. Meßergebnisse von 8 CEPHEUS-Projekten (vgl Kap. 3) dienten zudem als Basis für realistische Randbedingungen zum Verhalten der Bewohner wie Lüftungsprofil, Anwesenheit von Personen und Haushaltsstromverbrauch. Unter diesen Randbedingungen wurden dann die Referenzgebäude mit jeweils 4 unterschiedlichen Heizungssystemen simuliert. Die Ergebnisse sind in Kapitel 6 dargestellt.

Aufgrund der geringen qualitativen Unterschiede der beiden Gebäude wurde auf die Erstellung eines Referenz-Bürogebäudes verzichtet, obwohl es im Antrag zu diesem Forschungsprojekt vorgesehen war. Zudem waren für Passivhaus-Bürogebäude bis zur Erstellung des Berichtes keine auswertbaren Messwerte vorhanden, was die Kalibrierung eines Referenzgebäudes mit der Wirklichkeit unmöglich machte.

4.2 Gebäudemodellierung

4.2.1 Allgemeines zur Definition von Referenzgebäuden

Jede architektonische Ausformung oder bauliche Lösung ist von einer Vielzahl von unterschiedlichen Faktoren geprägt. Vieler dieser Faktoren sind rein örtlich bezogen oder von den beteiligten Personen geprägt. Größe des Bauplatzes, umgebende Bebauung, vorgeschriebene Bebauungsdichten, maximale Bauhöhen, Bauflucht- bzw. Baugrenzl原因en, lokale Baugesetze, Gestaltungswunsch des Planers, ökologischer Anspruch, wirtschaftlicher Anspruch, energetischer Anspruch, Infrastruktur der lokalen Energieversorgung, lokale Baustoffpreise, lokale Klimabedingungen, städtebauliche Vorschriften, Verschattungssituation, etc. All das gibt für jede Bauaufgabe ein Anforderungsprofil für den Planer vor, innerhalb dessen er eine Lösung zu finden hat. Die Anzahl der beeinflussenden Faktoren ist so groß, das die Wahrscheinlichkeit zwei Bauaufgaben mit dem gleichen Anforderungsprofil zu finden äußerst gering erscheint. Eine Referenzvariante, also „das Referenzgebäude schlechthin“ zu definieren ist naturgemäß zum Scheitern verurteilt.

4.2.2 Gemeinsame Annahmen für die Referenzgebäude

Gebäudeaufbau

Der Gebäudeaufbau wurde entsprechend dem Reihenhaus in Hörbranz modelliert. In Tabelle 2-26 und Tabelle 2-27 sind die Konstruktionsaufbauten der Außenwände, des Daches und der Decken aufgelistet. Tabelle 2-30 zeigt die Verglasung dieses Gebäudes.

Klimatensatz, Heizperiode und gewählte Raumtemperatur

Die klimatischen Randbedingungen haben einen starken Einfluss auf die Heizlast, die verwendete Haustechnik und den Heizenergiebedarf des Gebäudes. Der Verbrauch des Gebäudes steht im direkten Zusammenhang mit dem mit dem Klima, dem Verwendungszweck und der Gebäudeform.

Die Simulationen verwenden einen Klimadatenatz mit Stundenwerten aus Graz, erstellt mit Meteororm 4 (1999). Vergleichend dazu sind in Tabelle 4-1 der kälteste Klimadatenatz der letzten 10 Jahre (Graz 1991) der mittlere Klimadatenatz (Graz 1998) und der wärmste Klimadatenatz (Graz 2000) der Jahre 1990 bis 2000 angeführt.

Weiters ist auch noch der, aus den Monatsmittelwerten der Jahre 1991-2000, generierte Grazer Klimadatenatz (Graz Met_10J), sowie der aus gemessenen Stundenwerten der Jahre 2001 und 2002 generierte Klimadatenatz für Hörbranz angeführt.

Tabelle 4-1 Vergleich der relevanten Größen der Klimadaten, des Standortes Graz und Hörbranz

	Iglob [kWh/m ² a]	Idiff [kWh/m ² a]	Idir [kWh/m ² a]	Ta [°C]	Ta,max [°C]	Ta,min [°C]	HGT20/12 [Kd/a]	HT20/12 [d/a]
Graz 1991	1069	587	482	9.0	32.2	-16.2	3397	195
Graz 1998	1184	576	607	10.3	33.2	-11.5	3015	184
Graz 2000	1427	655	773	11.4	35.1	-13.1	2720	176
Graz Meteororm 4	1145	680	465	8.5	31.7	-17.3	3600	203
Graz Met_10J	1161	666	495	10.0	31.5	-11.3	3178	200
Hörbranz 2001/2002 gen	1072	548	525	10.5	32.8	-15.4	2916	186

Die Norm-Außentemperatur für die Heizlast wurde mit -14°C festgelegt. Die Raumtemperatur (T_{raum}) wurde in Anlehnung an die gemessenen Mitteltemperaturen aus dem CEPHEUS (2001) Projekt (siehe auch Abbildung 3-10) mit 22,5°C angenommen. Die Heizperiode wurde von 1. Oktober bis 30. April fixiert. Die Energiebilanzen aus Kapitel 6 beziehen sich bis auf den Brauchwarmwasserbedarf, welcher über das ganze Jahr bilanziert wird, nur auf die Heizperiode.

Lüftung

Die Gebäudedichtheit wird im Modell als Luftwechselrate zwischen Raumluft und Außenluft berücksichtigt. Für die Häuser aus der CEPHEUS Studie liegen die Ergebnisse nach der Blower-Door Testmethode vor und ergaben n_{50} -Werte die deutlich unter den geforderten 0,6 h⁻¹ liegen. Für die Simulation wurde eine ständige Infiltrationsrate von 0,06 h⁻¹ gewählt.

Für die Abbildung der Fensterlüftung in der Simulation, standen Befragungsdaten von 54 Wohnungen zur Verfügung (siehe Kap. 3.5.5). Teilweise sind die Wohnungen mit kontrollierten Lüftungen (Kuchel, Hörbranz, Egg) ausgestattet und teilweise handelt es sich um Wohnungen mit reiner Fensterlüftung (Gneis-Moos). Die Auswertung hat gezeigt, dass zwar eine quantitative Beschreibung möglich ist, aber das aufgrund des groben Zeitrasters der Fragebögen keine qualitativen Aussagen über das „dynamische“ Nutzungsverhalten bei der Fensterlüftung möglich ist.

Die nutzerbedingt stark schwankende Fensterlüftung führt gerade in Wohngebäuden mit niedrigem Wärmebedarf und demzufolge hohem Lüftungswärmeverlust zu starken Schwankungen im Wärmebedarf. Die Abbildung der Lüftungsverluste stellt daher den größten Unsicherheitsfaktor für die Modellierung dar.

Aus zwei Studien (Lari ,2001, Bühring, 2000) gibt es gemessene, detaillierte Fensterlüftungsprofile. Aufgrund der zwei Studien und den Befragungsergebnissen (siehe Kap 3.5.5) wurde ein Lüftungsprofil erstellt (siehe Abbildung 4-1), welches die Dynamik der Lüftungsvorgänge abbildet. Über 24 h gerechnet ergibt sich mit diesem Lüftungsprofil ein Luftwechsel von 0,4 h⁻¹ bezogen auf das Nettovolumen. Tagsüber (von 7 – 22 Uhr) wird der Luftwechsel hierbei mit 0,45 h⁻¹ und nachts mit 0,3 h⁻¹ angesetzt. Die Infiltration durch Undichtigkeiten im Gebäude wurde konstant auf 0,06 h⁻¹ gesetzt. Für die Lüftungsanlage des simulierten Luftheizungssystems (vgl. Kap. 6) beträgt der Auslegungsluftwechsel für den Heizbetrieb 0,54 h⁻¹ (162 m³/h für das Referenzgebäude 1).

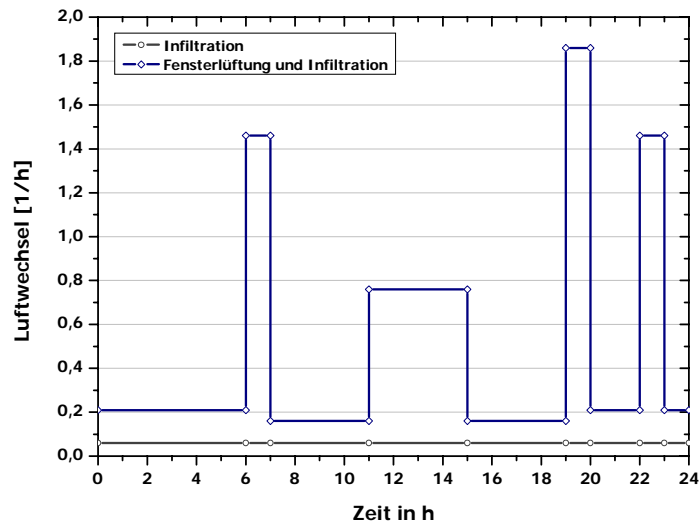


Abbildung 4-1 Fensterlüftungsprofil erstellt anhand der Studien (Lari Bühring) und der Befragungsergebnisse aus Kap. 3.5.5

Um eine erhöhte Fensterlüftung, an sehr schönen, einstrahlungsreichen Tagen, durch die Nutzer zu berücksichtigen, wird folgende Funktion eingeführt:

$$LW_{sol} = 0.0025 \cdot Q_{SOLsüd} - 1.00$$

mit:

$$LW_{sol} = \text{zusätzlicher Luftwechsel bei hoher solarer Einstrahlung} \quad [h^{-1}]$$

$$Q_{SOLsüd} = \text{solare Einstrahlung auf die Südfassade} \quad [W/m^2]$$

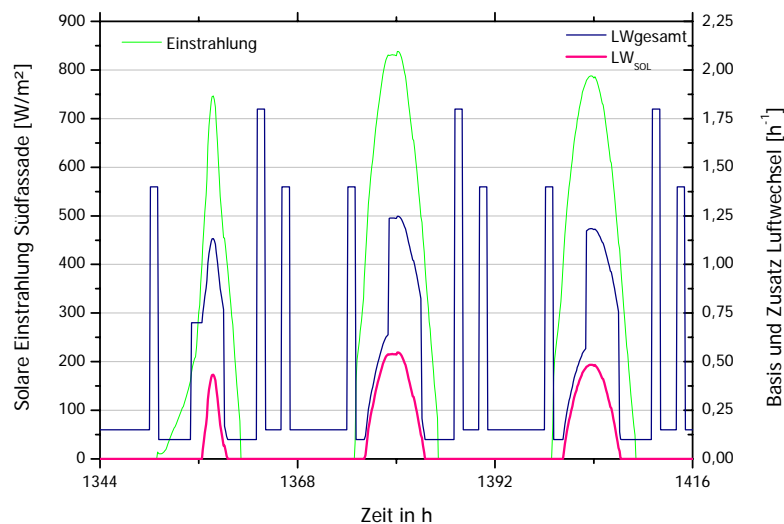


Abbildung 4-2 Fensterlüftungsprofil, überlagert mit LW_{sol} an drei schönen Februartagen

Den Wärmeverlusten stehen die so genannten Fremdgewinne gegenüber, die sich aus den solaren Gewinnen und den internen Gewinnen durch Personen und den Betrieb von Elektrogeräten zusammensetzen.

Solare Gewinne und aktive Verschattung

Die in der Heizperiode nutzbaren solaren Gewinne hängen von der Einstrahlung, der Gebäudehülle und der Verschattung vor den Fenstern ab. Bei der Verschattung handelt es sich um eine externe Jalousie mit einem b-Wert von ca. 0,15 (VDI 2078, 1996). Damit ergibt sich ein Verschattungsfaktor von 88,15 %. Für die Verschattung wird auf eine einfache Regelung zurückgegriffen, wobei bei einer Raumtemperatur von mehr als $T_{\text{raum}} + 1,5^{\circ}\text{C}$ die Jalousien aktiviert werden. Die Deaktivierung der Jalousien findet bei $T_{\text{raum}} + 0,5^{\circ}\text{C}$ statt.

Interne Gewinne durch Personen und Geräte

Die internen Gewinne aufgrund der Nutzung von Elektrogeräten und der Beleuchtung werden basierend auf den Messergebnissen der CEPHEUS (2001) Studie mit einem durchschnittlichen Stromverbrauch von $3,3 \text{ W/m}^2$ und einem Wärmefreisetzungsgrad von 60 % (z.B. durch das Wegschütten gekochten Wassers, Geschirrspülen usw.) auf 2 W/m^2 festgelegt. Dies ergibt einen jährlichen spezifischen Strombedarf von $29 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ und eine spezifische innere Last für das gesamte Jahr von $17,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Bezogen auf die Heizperiode sind dies ca. $10,1 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Feist gibt dagegen in PHPP (1999) einen Strombedarf von $2,1 \text{ W/m}^2$ ($18,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) an der allerdings ebenfalls mit 2 W/m^2 wärmewirksam ist. Für die Extremszenarien in Kap. 6.2 wurden zusätzlich geringere innere Wärmen (Ex1 mit $1,65 \text{ W/m}^2$, $14,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) und höhere innere Wärmen (Ex2 $6,6 \text{ W/m}^2$, $58 \text{ kWh/m}^2\text{a}$) angenommen. Der zeitliche Verlauf über die Woche der drei Profile sind in Abbildung 4-3 dargestellt. Hier kommt es zu einem geringeren Energiebedarf während der Woche und zu einem höheren Bedarf am Wochenende.

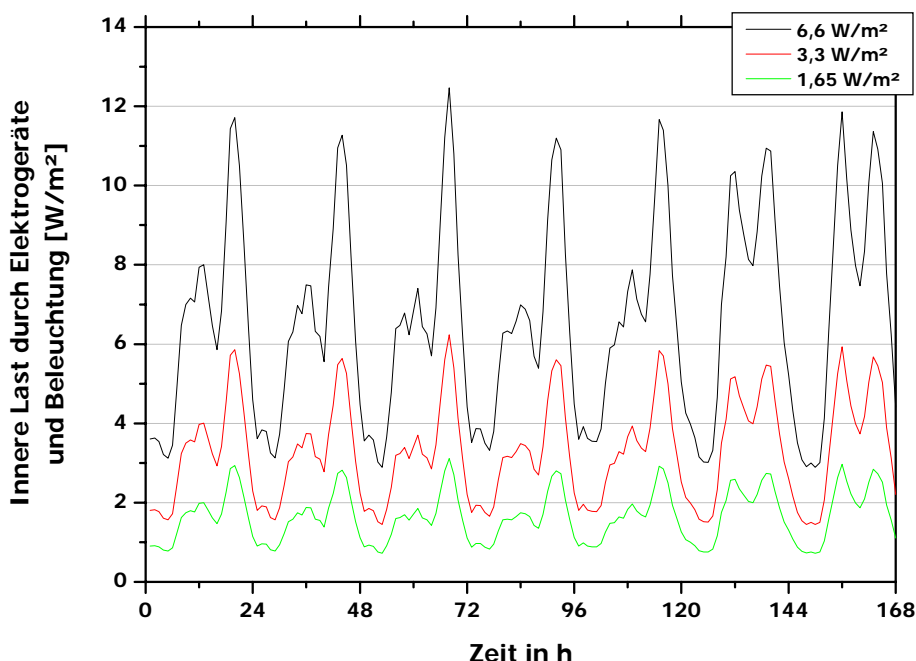


Abbildung 4-3 Wochenverlauf der inneren Lasten [W/m^2] bedingt durch Haushaltsgeräte und Beleuchtung

Zu diesen internen Gewinnen durch Elektrogeräte und Beleuchtung kommt die Personenabwärme. Aufgrund der Befragungsdaten aus Kap. 3.5.3 wurde ein spezifisches Anwesenheitsprofil für eine Woche erstellt, das für jede beliebige Wohnungsgröße verwendet werden kann. Abbildung 4-4 zeigt den Wochenverlauf der Personenanwesenheit. Der spezifische Wohnraumbedarf ergab sich aus der Befragung mit $30,3 \text{ m}^2/\text{Pers}$, d.h. bei einer Wohnungsfläche von 120 m^2 sind vier Personen anwesend. Die durchschnittliche Anwesenheit beträgt aber im Schnitt nur 2,8 Personen/WE werktags und 3,2

Personen am Wochenende, da tagsüber nicht alle Personen anwesend sind. Es wurden zwei unterschiedliche Aktivitätsgrade für die anwesenden Personen, nach der ISO 7730, festgelegt. Für den Zeitraum 6:00 – 22:00 wurde der Aktivitätsgrad „sitzend leicht arbeitend“, mit 75 Watt sensibel (1/3 radiativ, 2/3 konvektiv) und 75 W latent gewählt. In der Nacht (22:00-6:00) wird ein reduzierter Aktivitätsgrad mit 50 Watt sensibel und 50 Watt latent angenommen.

Als spezifische innere Last durch Anwesenheit von Personen ergeben sich übers Jahr 13,7 kWh/(m²a) und 1,57 W/m² (für die Heizperiode ca. 8 kWh/(m²a)). Die Summe der spezifischen internen Gewinne liegt somit bei 27,5 kWh/(m²a) (Heizperiode ca. 18,1) bzw. 3,57 W/m².

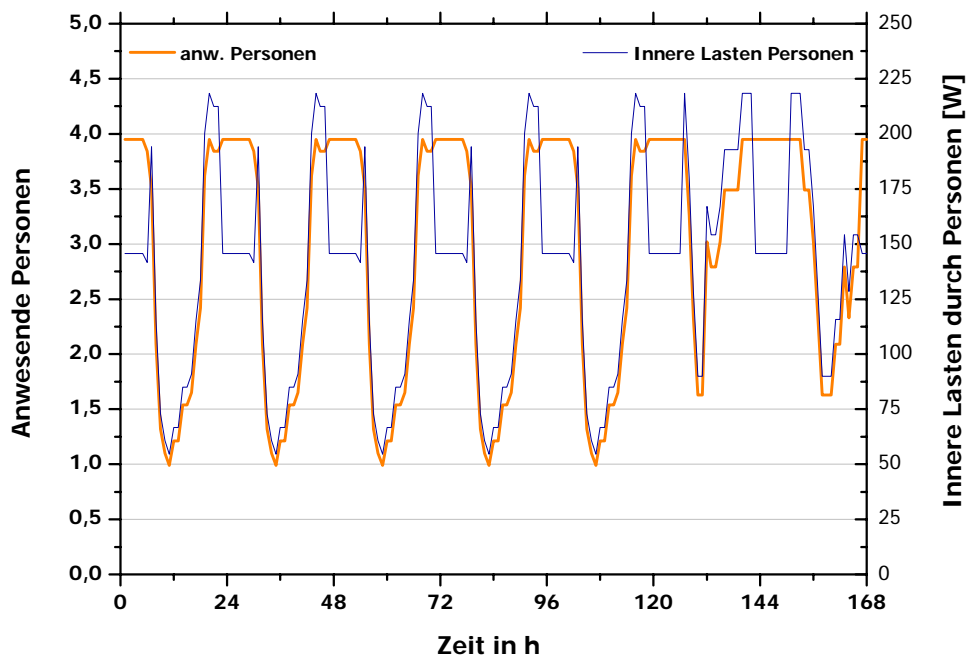


Abbildung 4-4 Wochenprofil der anwesenden Personen für eine Wohnungsfläche von 120 m² dargestellt.

Brauchwarmwasser

Der Warmwasserbedarf eines Objektes wirkt sich entscheidend auf das Heizungssystem aus. Von Bedeutung sind die Verbrauchsmengen und die Verbrauchsprofile während des Jahres, der Woche und des Tages. Die Verbrauchswerte weisen bei gleichartigen Objekttypen oft große Streubreiten auf (Abbildung 4-5).

Bisher wurden Simulationen und Optimierungsrechnungen von Solaranlagen mit in der Regel sehr einfachen Trinkwasserverbrauchsprofilen durchgeführt. Diese stark vereinfachten Zapfprofile sind jedoch für Auslegungsrechnungen von Speichern und Wärmeübertragern ungeeignet und lassen sich nicht zur Simulation von Warmwasser-Bereitungsanlagen in Mehrfamilienhäusern hochskalieren. Aus diesen Gründen wurden statistisch generierte Zapfprofile verwendet, die mit einer Wahrscheinlichkeitsfunktion den Jahresverlauf, unterschiedliche Wochentage, den Tagesverlauf und auch Urlaubszeiten berücksichtigen (Jordan U., Vajen K., 2001). Die Profile bestehen aus Datensätzen, in denen jeweils jedem Zeitschritt (Ein oder Sechs-Minuten Intervall) im Jahr ein Wert für den Trinkwarmwasser-Volumenstrom zugeordnet wird. Als Datengrundlage dienten hierfür verschiedene Studien, die von Telefonumfragen bis hin zur detaillierten Leistungsmessung reichen. Für die Vergleichsrechnungen wird ein Brauchwarmwasserverbrauch von 50 l/dPers bei 45°C verwendet.

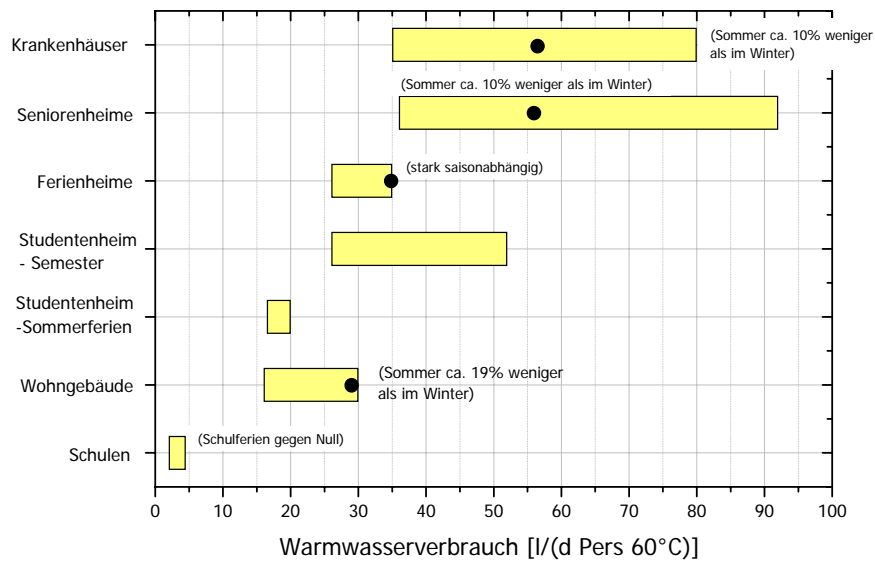


Abbildung 4-5 Typischer Warmwasserverbrauch (60°C) pro Kopf und Tag in verschiedenen Gebäuden (Mangold 2000)

In Abbildung 4-6 ist beispielhaft ein Ausschnitt des Sechs-Minuten Zapfprofils mit einem mittleren täglichen Entnahmevermögen von 600 l (entspricht dem Warmwasserbedarf von 3 WE mit je vier Personen), für den Zeitraum einer Woche, dargestellt. Tabelle 4-2 zeigt den sich hiermit ergebenden Energieverbrauch für eine Wohneinheit und die beiden Referenzgebäude und zusätzlich für einen reduzierten Brauchwarmwasserbedarf von 30 l/dPers bei 45°C für jeweils das gesamte Jahr.

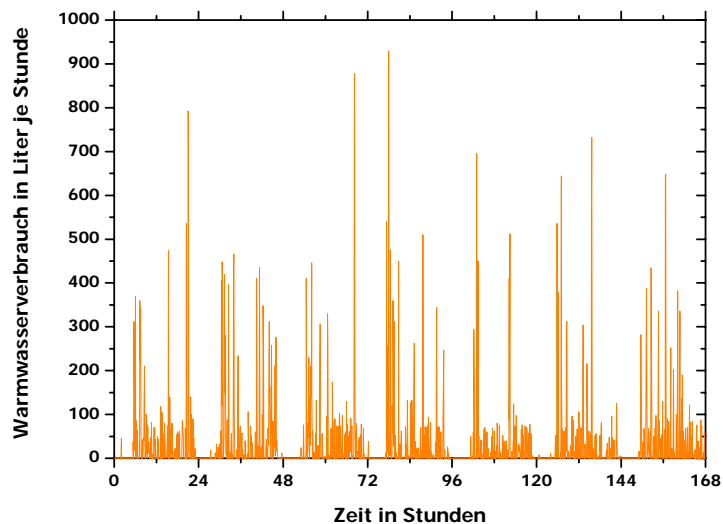


Abbildung 4-6 generiertes Zapfprofil (Entnahmeintervall 6 min) für Hörbranz (3 WE - 600 l/d) (nach Jordan, Vajen, 2001)

Tabelle 4-2: gewählte Brauchwarmwassermengen, für eine WE, 3 WE und 12 WE für die beiden in Kap. 6.2 definierten Extremszenarien

gewählte WW-Profile Standardbeleg.	Standard 4 Personen / WE 50 l/d _{pers-45°C}	Ex 1, hohe Heizlast 2 Personen / WE 50 l/d _{pers-60°C}	Ex 2, niedrige Heizlast, 6 Personen / WE 30 l/d _{pers-45°C}
1 WE ¹	200 l/d - 2990 kWh/a	100 l/d - 2137 kWh/a	180 l/d - 2688 kWh/a
3 WE ²	600 l/d - 8980 kWh/a	300 l/d - 6399 kWh/a	540 l/d - 8091 kWh/a
12 WE ³	1700 l/d - 25470 kWh/a	850 l/d - 18141 kWh/a	1530 l/d - 22932 kWh/a

¹ 120 m² Wohnnutzfläche je Wohnung d.h. ca. 4 Personen bei Standardvariante

² 360 m² Wohnnutzfläche in drei Wohnungen d.h. ca. 12 Personen bei Standardvariante

³ 929,7 m² Wohnnutzfläche in zwölf Wohnungen d.h. ca. 34 Personen bei Standardvariante

4.2.3 Referenzgebäude 1

Das Referenzgebäude 1 wurde in Anlehnung an das Passiv-Reihenhaus in der Gemeinde Hörbranz (Vorarlberg) mit drei Wohneinheiten und 360 m² aufgestellt (vgl. Kap. 2.2.1). Das Gebäude ist mit seiner zum Großteil verglasten Fassade nach Süden ausgerichtet. Nach Norden, Osten und Westen sind nur sehr kleine Fensterflächen zu finden. Abbildung 2-1 zeigt eine Ansicht des Gebäudes von Südosten, und in Abbildung 2-2 sind Baupläne zu sehen. In Anlehnung an das Vergleichsgebäude in Hörbranz wurden für das Referenzgebäude 1 die Wohnnutzfläche je Wohnung mit 120 m² festgelegt. Die Gesamtnettokubatur beträgt 906 m³.

Die Werte für die Nettoflächen der Zonenbegrenzungen des thermischen Modells von Hörbranz sind Tabelle 4-3 aufgelistet.

Tabelle 4-3: geometrische Auswertung (netto) des Modells von Hörbranz

geometrische Auswertung (netto) - Hörbranz																
		Volumen	Höhe Süd	Höhe Nord	Zonenbegrenzungsflächen											
					horizontal				vertikal							
					Deck		Grund		Nord		Süd		Ost		West	
					Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche
		[m ³]	[m]	[m]	[m ²]		[m]	[m ²]	[m]	[m ²]	[m]	[m ²]	[m]	[m ²]		
OG	Zone 1	154,26	3,13	2,04	60,12	59,67	6,72	13,71	6,72	21,03	8,88	22,95	8,88	22,95		
	Zone 2	165,25	3,13	2,34	60,87	60,42	9,53	22,30	9,53	29,83	6,38	17,45	6,38	17,45		
	Zone 3	154,26	3,13	2,04	60,12	59,67	6,72	13,71	6,72	21,03	8,88	22,95	8,88	22,95		
EG	Zone 5	143,22	2,4	2,4	59,67	59,67	6,72	16,13	6,72	16,13	8,88	21,31	8,88	21,31		
	Zone 6	145,92	2,4	2,4	60,80	60,80	9,53	22,87	9,53	22,87	6,38	15,31	6,38	15,31		
	Zone 7	143,22	2,4	2,4	59,67	59,67	6,72	16,13	6,72	16,13	8,88	21,31	8,88	21,31		
KG	Zone 8	371,91	2	2	185,95	185,95	23,88	47,76	23,88	47,76	8,88	17,76	8,88	17,76		
WF	Zone 4	170,64	7,54	7,24	23,47	23,09	-	68,86	-	71,75	-	17,75	-	17,75		

Die in den Vergleichsgebäuden zur Beschreibung der Raumtemperaturverläufe notwendige Unterteilung in 2 Zonen je Wohnung (vgl. Kap. 2.3.3) wurde auf eine Zone je Wohnung reduziert. Durch diese Reduktion der Zonenanzahl verliert man zwar die Möglichkeit, Aussagen zu treffen über das thermische Verhalten einzelner Räume des Gebäudes, jedoch ergeben sich nur geringfügige Differenzen in der Energiebilanz über das Jahr gesehen (vgl. Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4 Energiebilanz des 6 Zonen und des 3 Zonen Gebäudemodells von Hörbranz über die Heizperiode (hp), $T_{\text{raum}} = 22,5^{\circ}\text{C}$

	6 Zonen	3 Zonen		Differenz	
Transmissionsverluste	13193	13152	[kWh/hp]	0,32	[%]
Infiltration	2306	2248	[kWh/hp]	2,51	[%]
Ventilation	12355	12358	[kWh/hp]	0,02	[%]
Lüftungswärmeverluste	14661	14606	[kWh/hp]	0,37	[%]
Summe Wärmeverluste	27855	27758	[kWh/hp]	0,35	[%]
solare Erträge	5977	5851	[kWh/hp]	2,10	[%]
Innere Lasten	6505	6505	[kWh/hp]	0,00	[%]
Summe Innere Lasten	12482	12356	[kWh/hp]	1,01	[%]
Wärmebedarf	15373	15402	[kWh/hp]	0,19	[%]

Die maximalen Normheizlasten der einzelnen thermischen Zonen wurden nach der DIN 4701 berechnet und auf diesen Wert begrenzt. Die in Tabelle 4-5 gezeigten Heizlasten ergeben sich bei der Annahme, dass die Raumlufitemperatur $22,5^{\circ}\text{C}$, die Normaußentemperatur -14°C beträgt und ein hygienisch notwendiger Luftwechsel von $0,4\text{ h}^{-1}$ abgedeckt werden soll.

Tabelle 4-5 Heizlasten (DIN 4701) der simulierten, thermischen Zonen von Hörbranz – detailliertes Gebäudemodell und vereinfachtes Gebäudemodell (vergleiche Kap. 2.3.3), $T_{\text{raum}} = 22,5^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{außen}} = -14^{\circ}\text{C}$

Heizlast nach der DIN 4701			Heizlast nach der DIN 4701		
Zone 1	2040	[W]	Zone 1	3820	[W]
Zone 2	1850	[W]	Zone 2	3440	[W]
Zone 3	2040	[W]	Zone 3	3830	[W]
Zone 4	unbeheizt		Zone 4	unbeheizt	
Zone 5	1780	[W]	Zone 5	unbeheizt	
Zone 6	1530	[W]	Zone 6	Erdreich	
Zone 7	1780	[W]	Zone 7	Erdreich	
Zone 8	unbeheizt				
Zone 9	Erdreich				
Zone 10	Erdreich				
Summe	11020	[W]	Summe	11080	[W]

Die spezifischen Gesamtverluste des Gebäudes über die Gebäudehülle durch Transmission, Lüftung und Infiltration liegen bei diesen Annahmen und idealer Beheizung bei $79,4\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Die Summe der spezifischen Fremdwärmegewinne beträgt für das Referenzgebäude 1 während der Heizperiode $34,9\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ($16,8\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ nutzbare solare Gewinne und $18,1\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ interne Gewinne).

Damit ergibt sich ein spezifischer Heizenergiebedarf von $44,5\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, der vom Heizsystem gedeckt werden muss. Dies entspricht einem guten Niedrigenergiehaus. Wenn eine Wärmerückgewinnungsanlage mit 75 % Wärmerückgewinnungsgrad eingesetzt wird, reduziert sich der spezifische Heizenergiebedarf auf $18,2\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Bei einem Wärmerückgewinnungsgrad von 85 % beträgt der spezifische Heizenergiebedarf nur mehr $14,7\text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Dann erreicht das Gebäude den Passivhaus-Energiebedarf trotz höherer Innentemperatur von $22,5^{\circ}\text{C}$ statt 20°C . Abbildung 4-7 zeigt die Energiebilanz für das Referenzgebäude 1 ohne Abluftwärmerückgewinnung.

Der Energiebedarf für die Brauchwarmwasserbereitung beträgt 8980 kWh/a für das gesamte Gebäude. Dies entspricht bezogen auf die Nettonutzfläche von 360 m^2 $25\text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$.

Die Heizlast beschreibt die Auslegung des Heizsystems, damit das Gebäude am kältesten Tag des Jahres ohne interne und solare Gewinne noch beheizt werden kann. Die Auslegungstemperatur wurde mit -14°C angenommen. Für das Referenzgebäude 1 beträgt die Heizlast für alle 3 Wohneinheiten 11,1 kW (ohne Abluftwärmerückgewinnung) und 6 kW (mit 100 % Abluftwärmerückgewinnung). Letzterer Wert entspricht einer spezifischen Heizlast von $16,7 \text{ W/m}^2$ Wohnnutzfläche und liegt damit an sich leicht über der Obergrenze für die reine Luftheizung (vgl. Kap. 5.1.2). Unter Berücksichtigung der Fremdwärmegevinne und Speichermassen des Gebäudes kann auch hier mit einer reinen Luftheizung das Auslangen gefunden werden (vgl. Ergebnisse in Kap. 6.1.1). Ein Wärmeerzeuger mit einer Leistung von 20 kW für zentrale Systeme ohne Abluftwärmerückgewinnung bzw. etwa 2 kW für eine Wohnung mit 120 m^2 bei dezentralen Systemen mit Abluftwärmerückgewinnung wurde gewählt, um das Gebäude zu beheizen und Brauchwarmwasser zu erzeugen.

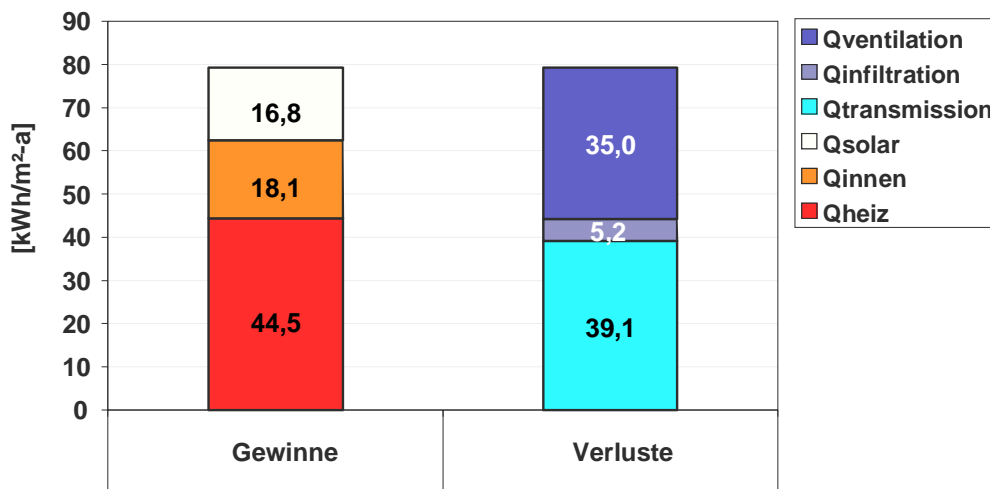


Abbildung 4-7 : Heizenergiebilanz für das Referenzgebäude 1 über die Heizperiode ($T_{\text{raum}} = 22,5^{\circ}\text{C}$)

4.2.4 Referenzmehrfamilienhaus Typ 2, mehrgeschossiger Wohnbau, 12 WE)

Als Basis für die Wandaufbauten diente hier ebenfalls das 3-Familienhaus in Hörbranz. Diese Wandaufbauten wurden auf ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten, welches in Könighofer et al. (2001) entwickelt wurde, angewendet, um ein typisches Referenzgebäude im mehrgeschossigen Wohnbau zu bekommen.

Beim Referenzgebäude 2 handelt es sich um einen dreigeschossigen lang gestreckten Baukörper in Ost – West Ausrichtung mit linearer und offener Erschließung an der nördlichen Längsseite. Jedes der drei Geschosse besteht aus vier Wohneinheiten mit 50, 70, 90 und 100 m^2 Wohnfläche. Der Baukörper wird als vollständig unterkellert angenommen. Der Fensterflächenanteil der Südfassade liegt in der Basisvariante bei 33,25%, der Fensterflächenanteil Nordfassade bei 12,7%. Die Ost- und Westfassade wird fensterlos ausgebildet. Aufgrund der gewählten Baukörperabmessungen ergibt sich ein A/V – Verhältnis von $0,51 \text{ m}^{-1}$. Abbildung 4-8 zeigt das Gebäude in Grund- und Aufriss. Die Nettanutzfläche des gesamten Gebäudes liegt bei 930 m^2 . Die Werte für die Nettoflächen der Zonenbegrenzungen des thermischen Modells von Hörbranz sind in Tabelle 4-6 aufgelistet.

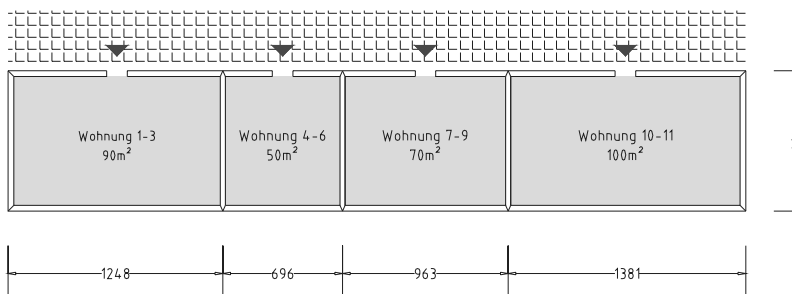
Das Gebäudemodell besteht aus drei beheizten thermischen Zonen (zwei Einzelwohnungen und zehn zusammengefasste Wohnungen) und drei unbeheizten Zonen (Keller und Erdschichten). Die Zwei Einzelwohnungen sind so herausgegriffen, dass jene Zone mit der größten und mit der kleinsten Heizlast simuliert wird.

Die maximalen Normheizlasten der einzelnen thermischen Zonen wurden nach der DIN 4701 berechnet und auf diesen Wert begrenzt. Die in Tabelle 4-7 gezeigten Heizlasten ergeben sich bei der Annahme, dass die Raumlufttemperatur 22.5 °C, die Normaußentemperatur -14°C beträgt und ein hygienisch notwendiger Luftwechsel von 0.4 h⁻¹ abgedeckt werden soll.

Tabelle 4-6: Flächen und Kubaturen des Referenz-Wohngebäudes mit 12 Wohneinheiten

	Nettowerte						Bruttowerte						
	Abmessungen			Wohnnutzfläche exl. Innenwände	Fassadenfläche Nord bzw. Süd	Volumen	Abmessungen			Grundfläche	Fassadenfläche Nord bzw. Süd	Seitenfläche	Volumen
	L [m]	B [m]	H [m]	L x B [m ²]	L x H [m ²]	L x B x H [m ³]	L [m]	B [m]	H [m]	L x B [m ²]	L x H [m ²]	B x H [m ²]	L x B x H [m ³]
Wohnung 1	12,0	7,5	2,6	90,0	31,2	234,0	12,5	8,2	3,1	101,8	38,9	25,4	317,2
Wohnung 2	12,0	7,5	2,6	90,0	31,2	234,0	12,5	8,2	2,9	101,8	36,3	23,7	296,3
Wohnung 3	12,0	7,5	2,6	90,0	31,2	234,0	12,5	8,2	3,1	101,8	38,6	25,3	315,2
Wohnung 4	6,7	7,5	2,6	50,0	17,3	129,9	7,0	8,2	3,1	56,8	21,7	25,4	176,9
Wohnung 5	6,7	7,5	2,6	50,0	17,3	129,9	7,0	8,2	2,9	56,8	20,3	23,7	165,3
Wohnung 6	6,7	7,5	2,6	50,0	17,3	129,9	7,0	8,2	3,1	56,8	21,5	25,3	175,8
Wohnung 7	9,3	7,5	2,6	70,0	24,3	181,9	9,6	8,2	3,1	78,6	30,0	25,4	244,8
Wohnung 8	9,3	7,5	2,6	70,0	24,3	181,9	9,6	8,2	2,9	78,6	28,0	23,7	228,7
Wohnung 9	9,3	7,5	2,6	70,0	24,3	181,9	9,6	8,2	3,1	78,6	29,8	25,3	243,2
Wohnung 10	13,3	7,5	2,6	100,0	34,7	259,9	13,8	8,2	3,1	112,7	43,0	25,4	351,0
Wohnung 11	13,3	7,5	2,6	100,0	34,7	259,9	13,8	8,2	2,9	112,7	40,2	23,7	327,9
Wohnung 12	13,3	7,5	2,6	100,0	34,7	259,9	13,8	8,2	3,1	112,7	42,7	25,3	348,8
Summe				929,7	322,3	2417,2				1049,7	391,1		3191,1

SYSTEMGRUNDRISS



SYSTEMSCHNITT

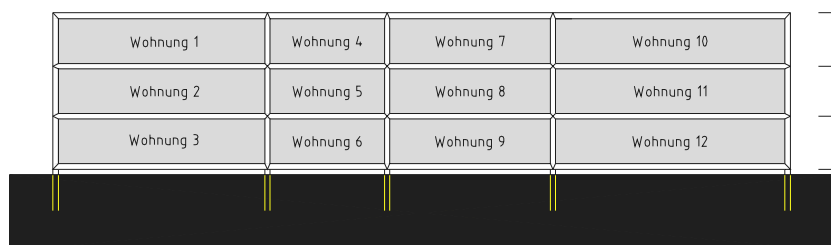


Abbildung 4-8: Schematische Darstellung des Mehrfamilienhauses mit 12 Wohnungen

Die spezifischen Gesamtverluste des Gebäudes über die Gebäudehülle durch Transmission, Lüftung und Infiltration liegen bei diesen Annahmen und idealer Beheizung bei 77,9 kWh/(m²a) und damit nur geringfügig unter den Werten des Referenzgebäude 1. Die Summe der spezifischen Fremdwärme-gewinne beträgt für das Referenzgebäude 2 während der Heizperiode 36,2 kWh/(m²a) (18,2 kWh/(m²a) nutzbare solare Gewinne und 18,0 kWh/(m²a) interne Gewinne).

Tabelle 4-7 Heizlasten (DIN 4701) der simulierten, thermischen Zonen des Referenzgebäudes mit zwölf Wohneinheiten ($T_{\text{raum}} = 22,5^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{außen}} = -14^{\circ}\text{C}$)

Heizlast nach der DIN 4701		
Zone 1	22310	[W]
Zone 2	3310	[W]
Zone 3	2800	[W]
Zone 4	unbeheizt	
Zone 5	Erdreich	
Zone 6	Erdreich	
Summe	28420	[W]

Damit ergibt sich ein spezifischer Heizenergiebedarf von $41,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, der vom Heizsystem gedeckt werden muss. Hierbei schlägt sich die größere Kompaktheit des Gebäudes gegenüber dem Referenzhaus 1, welches $44,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ spezifischen Heizenergiebedarf hatte, wieder. Dies entspricht einem sehr guten Niedrigenergiehaus. Wenn eine Wärmerückgewinnungsanlage mit 75 % Wärmerückgewinnungsgrad eingesetzt wird, reduziert sich der spezifische Heizenergiebedarf für das gesamte Gebäude auf $14,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, was bereits trotz erhöhter Raumtemperatur ($T_{\text{raum}} = 22,5^{\circ}\text{C}$ anstatt 20°C) Passivhausstandard entspricht. Die Randwohnungen mit größerer Oberfläche haben dann aber immer noch einen spezifischen Heizenergiebedarf von $20,5 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Bei einem Wärmerückgewinnungsgrad von 85 % beträgt der spezifische Heizenergiebedarf für das gesamte Gebäude nur mehr $10,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ und $16,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ für die Randwohnung.

Der Energiebedarf für die Brauchwarmwasserbereitung beträgt $25470 \text{ kWh}/\text{a}$ für das gesamte Gebäude. Dies entspricht bezogen auf die Nettonutzfläche von 930 m^2 wie beim Referenzhaus 1 $27,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Abbildung 4-9 zeigt die Energiebilanz für das Referenzgebäude 1 ohne Abluftwärmerückgewinnung.

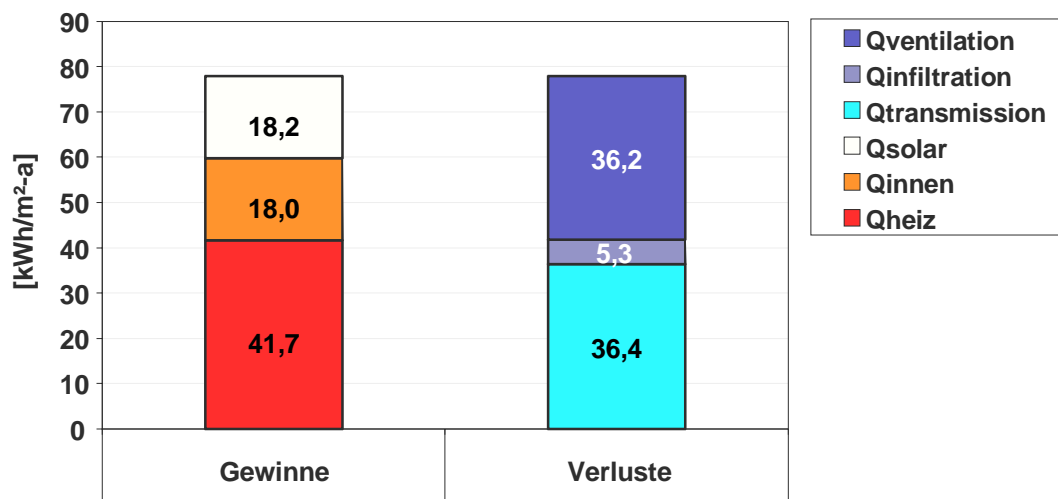


Abbildung 4-9: Heizenergiebilanz für das Referenzgebäude 2

Die Heizlast für das Gebäude ist die Last, für die das Heizsystem ausgelegt sein muss, damit am kältesten Tag des Jahres ohne interne und solare Gewinnen das Gebäude noch beheizt werden kann. Die Auslegungstemperatur wurde mit -14°C angenommen. Für das Referenzgebäude 2 beträgt die Heizlast für alle 12 Wohneinheiten $28,4 \text{ kW}$ (ohne Abluftwärmerückgewinnung) und $13,4 \text{ kW}$ (mit 100 % Abluftwärmerückgewinnung). Letzterer Wert entspricht einer spezifischen Heizlast von $14,4 \text{ W}/\text{m}^2$ Wohnnutzfläche und stellt die Obergrenze für die reine Luftheizung dar (vgl. Kap. 5.1.2). Ein Wärmeerzeuger mit einer Leistung von 40 kW für zentrale Systeme ohne Abluftwärmerückgewinnung bzw. etwa $1,7 \text{ kW}$ für eine Wohnung mit 120 m^2 bei dezentralen Systemen mit Abluftwärmerückgewinnung wurde gewählt, um das Gebäude zu beheizen und Brauchwarmwasser zu erzeugen.

5. Qualitative Bewertung von Heizungskonzepten für Niedrigenergie und Passivhäuser

5.1 Behaglichkeit und Eigenschaften von Heizsystemen

5.1.1 Thermische Behaglichkeit

Ob sich ein Mensch in einem Gebäude wohlfühlt, ist immer eine subjektive Frage und hängt auch von dessen Bekleidung und Aktivität ab. Es gibt aber vier Kriterien, die sich in einem bestimmten Rahmen bewegen sollten, damit der Großteil der Menschen das Raumklima als behaglich empfindet. Diese Kriterien sind die Lufttemperatur, die Oberflächentemperatur der umgebenden Flächen, die Luftbewegung und die Luftfeuchtigkeit. Zudem sollte ein Austausch der durch CO₂, Gerüche, Luftfeuchte etc. belasteten Luft im Raum durch Frischluft gewährleistet sein. Für Wohnhäuser wird zumeist eine Luftwechselrate von 0,5/h bezogen auf das Nettovolumen angegeben (z.B. Ö-NORM B 8135). Für die vorliegende Studie wird dieser Wert auf 0,4 reduziert, da von nicht belastenden Einrichtungsgegenständen und Baustoffen ausgegangen wird und somit primär die Verunreinigung der Luft durch die anwesenden Personen und Ihre Aktivitäten maßgeblich ist.

Raumtemperaturen/Oberflächentemperaturen

Die vom Menschen empfundene Temperatur setzt sich aus der Lufttemperatur im Raum und der Oberflächentemperatur der ihn umgebenden Flächen zusammen. Der Grund dafür ist, dass der Mensch seinen Wärmehaushalt über Wärmeleitung an die ihn umgebende Luft und über Strahlung, also Wärmeabgabe an die umgebenden Flächen reguliert. Die Temperatur von Wand- und Fensterflächen hängt einerseits vom Dämmstandard andererseits aber auch vom gewählten Heizsystem ab. Bei einer relativ hohen Oberflächentemperatur kann die Lufttemperatur etwas geringer sein, ohne die Behaglichkeit zu reduzieren. Umgekehrt muss bei kalten Wänden die Lufttemperatur entsprechend höher sein, um die Behaglichkeit zu gewährleisten. Idealerweise sollte die Oberflächentemperatur etwa bei 20-25°C liegen und die Lufttemperatur bei 19-23°C (Margreiter 1987, Recknagel 2001).

Abbildung 5-1 zeigt den Zusammenhang von Oberflächen und Raumtemperatur in Bezug auf die thermische Behaglichkeit. Je nach umgebender Oberflächentemperatur kann sich in einem weiten Spektrum der Lufttemperatur ein behagliches Klima einstellen. Eine bekannte Tatsache ist, dass im Winter bei -10°C Lufttemperatur ein angenehmes Sonnenbad möglich ist, da die Strahlungstemperatur der Sonne entsprechend hoch ist und viel Strahlung vom Schnee reflektiert wird. Voraussetzung ist dafür allerdings Windstille.

Außerdem sollten die Temperaturunterschiede im Raum möglichst klein gehalten werden. Nach einer Untersuchung von Olesen (1979) soll der Temperaturunterschied pro Meter Raumhöhe nicht mehr als 3 K betragen. Bei sitzender Tätigkeit sollte jedoch 1,5 bis 2 K/m nicht überschritten werden (Recknagel, 2001).

Luftbewegung

Luftbewegungen sind notwendig, um den hygienisch notwendigen Luftwechsel im Raum zu ermöglichen. Zu starke Luftbewegungen werden jedoch als unangenehm empfunden. Gründe für Luftbewegungen in Räumen können Undichtigkeiten in der Gebäudehülle oder Konvektion aufgrund von hohen Temperaturdifferenzen im Raum (z. B. an Radiatoren, großen Fensterflächen) sein. Alte Luftheizsysteme, die im Umluftverfahren große Luftmassen umgewälzt haben, können ebenfalls ein Grund für Luftzug sein. Heutige Luftheizungen für Wohngebäude und Büros können aufgrund des geringeren Wärmebedarfs durch bessere Wärmedämmung rein mit Frischluft und wesentlich niedrigeren Luftvolumenströmen arbeiten. Die DIN 1946-2 (1994) erlaubt bei einer Lufttemperatur von 20-22°C eine mittlere Luftgeschwindigkeit von 0,15 – 0,24 m/s abhängig vom Turbulenzgrad.

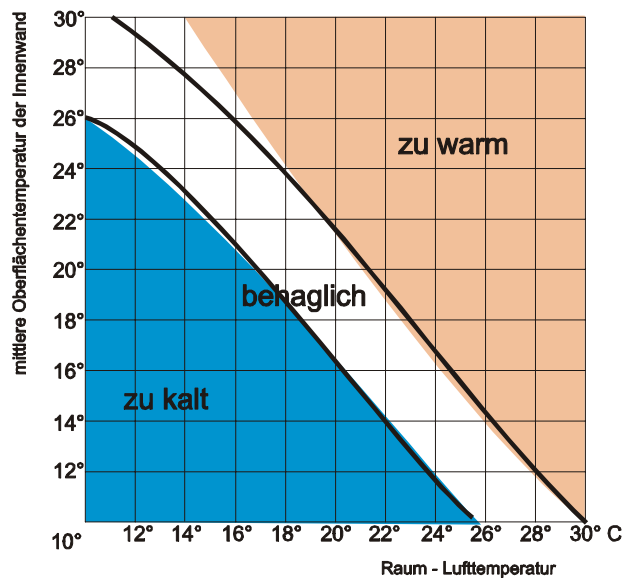


Abbildung 5-1: Behaglichkeit in Abhängigkeit von Raumlufttemperatur und mittlerer Oberflächentemperatur umschließender Flächen (Seitz, 1993)

Luftfeuchtigkeit

Der Mensch reguliert seinen Wärmehaushalt auch über die Atmung und Verdunstung. Bei normalen Raumtemperaturen um die 20°C spielt die Verdunstung allerdings eine untergeordnete Rolle. Im Allgemeinen wird eine relative Luftfeuchtigkeit bei 22°C Raumtemperatur von 30-70% als angenehm empfunden. Vermehrte Aufwirbelung von Staub durch Konvektion und auch verschwelender Staub durch hohe Oberflächentemperaturen von Radiatoren, Glühheizkörpern, etc. wird auch als trockene Luft empfunden, auch wenn die gemessene relative Luftfeuchtigkeit nicht besonders niedrig ist. Staub verschwelt ab einer Temperatur von etwa 55°C und setzt dabei Ammoniak und andere Gase frei (Recknagel 2001). Damit ist auch Geruchsbelästigung verbunden.

Hohe Luftfeuchtigkeit bindet Staub und hält ihn am Boden. Zur Reduzierung von Staub ist ein Zentralstaubsauger und ein Lüftungssystem mit Filter sicher die bessere Alternative als die Luftfeuchtigkeit durch Luftbefeuchter zu erhöhen.

5.1.2 Eigenschaften gängiger Wärmeabgabesysteme

Es gibt unterschiedliche Systeme, Wärme in den Raum abzugeben. Konventionell sind Heizkörper (sogenannte Radiatoren) in jedem Raum. Alternativ gibt es Flächenheizungen wie Fußboden-, Wandheizungen. Eine ganz andere Form der Wärmezufuhr sind Luftheizsysteme.

Luftheizung

Bei Luftheizsystemen wird die Wärmeversorgung des Raumes über das Lüftungssystem gewährleistet. Ein Lüftungsgerät bringt erwärmte Frischluft in die Räume ein und saugt die belastete Luft wieder ab. Damit wird auch der hygienisch notwendige Luftwechsel sichergestellt.

Die Zuluft wird, bevor sie in dem Raum zugeführt wird, durch Wärmerückgewinnung aus der Abluft und anschließend mit Elektro- oder Wasserheizregistern (oder auch dem Kondensator einer Wärmepumpe) erwärmt. Bei Wärmerückgewinnung kann die Abluft hierbei so stark abgekühlt werden, dass an kalten Tagen Vereisungsgefahr besteht. Dieses Problem kann mit einem vorgeschalteten Erdreichwärmetauscher auf der Zuluftseite oder einer Abtauschaltung, die allerdings

zusätzlich Energie verbraucht, gelöst werden. Die Zuluft in den Raum darf nicht zu heiß eingeblasen werden ($<55^{\circ}\text{C}$), um die Behaglichkeit nicht zu beeinträchtigen und um Staubverschmelzung zu vermeiden (Margreiter, 1987). Bei Elektroheizregistern kann die Oberflächentemperatur über 200°C liegen, so dass Staubverschmelzung eintritt, wenn auch in geringerem Maße, da die Luft gefiltert wird. Außerdem müssen die Luftauslässe und Lüftungsrohre so dimensioniert sein, dass eine mittlere Luftgeschwindigkeit im Raum von $0,15 - 0,24 \text{ m/s}$ nicht überschritten wird, um Zegerscheinungen im Raum zu vermeiden DIN 1946-2 (1994). Die Heizleistung, die sich unter diesen Bedingungen in den Raum einbringen lässt, ist relativ gering, wobei die Lüftungsheizlast bei einer Einblasetemperatur gleich der Raumtemperatur vollständig abgedeckt ist und ein Einblasen mit Übertemperatur dann auch die Transmissions- und Infiltrationsverluste abdecken kann.

Beispiel Luftheizung:

Bei einer Netto-Wohnungsgröße von 100 m^2 und einem Standardluftwechsel von $0,4 \text{ h}^{-1}$ ergibt sich bei einer Raumhöhe von $2,5 \text{ m}$ ein Luftvolumenstrom von $100 \text{ m}^3/\text{h}$. Bei einer Zulufttemperatur von 50°C und einer Ablufttemperatur von 20°C (T_{Raum}) bedeutet dies, dass 1080 W oder $10,8 \text{ W/m}^2$ Wohnfläche mit der Zuluft zur Abdeckung der Transmissions- und Infiltrationsverluste transportiert werden können. 50°C Zulufttemperatur bedeuten hierbei ca. 60°C Warmwassereintrittstemperatur in das Luftheizregister. Bei einem Luftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ steigt die spezifische Heizleistung auf knapp $13,5 \text{ W/m}^2$.

Generell kann man sagen, dass die maximal mögliche Heizlast aufgrund Transmission und Infiltration bei Luftheizsystemen bei Nichtüberschreiten des hygienisch erforderlichen Luftwechsels im Bereich von $10\text{-}14 \text{ W/m}^2$ Wohnfläche liegt. Höhere Luftwechselraten können, besonders im Winter, zu unangenehm geringen Luftfeuchtigkeiten in der Wohnung führen.

Aus diesem Grund ist es für Passivhäuser mit reinen Luftheizungssystemen sehr wichtig, den Wert von 10 W/m^2 für Transmission und Infiltration für alle zu beheizenden Räume (insbesondere der Eckräume mit hohem Außenflächenanteil) nicht zu überschreiten.

$$\dot{Q}_{\text{Lüftung}} = \dot{V}_{\text{Lüftung}} \cdot c_{p,\text{Luft}} \cdot (T_{\text{Raum}} - T_{\text{Zuluft}})$$

mit

$\dot{Q}_{\text{Lüftung}}$	[kW]	Wärmeleistung durch Luftheizung
$\dot{V}_{\text{Lüftung}}$	[m ³ /h]	Zuluftstrom
$c_{p,\text{Luft}}$	$0,000361 \text{ [kWh/(m}^3 \cdot \text{K)]}$	Spezifische Wärmekapazität von Luft bei 20°C
T_{Raum}	[$^{\circ}\text{C}$]	Raumtemperatur
T_{Zuluft}	[$^{\circ}\text{C}$]	Zulufttemperatur

Im Allgemeinen sind Luftheizungen als flinke Systeme eingestuft, da die Nachheizung der Luft sehr schnell geregelt werden kann und keine Speichermassen des Heizungssystems aufgeheizt werden müssen. Allerdings ist durch die limitierte Heizleistung durch die begrenzte Einblasetemperatur nur eine langsame Reaktion des gesamten Gebäudes gegeben. Daher reagiert das Luftheizungssystem im Anwendungsfall der reinen Luftheizung mit begrenzter Luftwechselzahl sehr träge in der Wiederaufheizung aber schnell in der Abkühlung (siehe Kap. 6.3).

Wasserheizungssysteme

Bei Wasserheizungssystemen dient Wasser als Wärmeträgermedium. Wasser zirkuliert hier vom Wärmeerzeuger (z.B. Kessel, Wärmepumpe, Fernwärme-Übergabestation) zu den Radiatoren bzw. Fußboden- oder Wandheizungsflächen in den einzelnen Räumen.

Im Vergleich zu Luft kann Wasser durch seine höhere Dichte und Wärmekapazität wesentlich mehr Wärme transportieren. Dadurch sind wesentlich kleinere Rohrdurchmesser für die Verteilungen notwendig und es kann auch mit einer geringeren Vorlauftemperatur wesentlich mehr Wärme eingebracht werden.

$c_{p,Wasser} | 1,16 \text{ kWh}/(m^3 \text{ (K)})$ spez. Wärmekapazität von Wasser bei 20°C

Radiator

Bei einer Radiatorheizung sind in jedem Raum ein oder mehrere Heizkörper angebracht, die typischerweise über Thermostatventile einzeln den Massenstrom regeln. Die Vorlauftemperatur wird meist in Abhängigkeit von der Außentemperatur geregelt, das heißt, wenn es draußen kalt ist, steigt die Radiatoroberflächentemperatur. Die Vorlauftemperaturen lagen bei alten Systemen und schlecht gedämmten Gebäuden bei bis zu 90°C, heute sind maximale Vorlauftemperaturen zwischen 40 - 60°C üblich. Die Vorlauftemperatur hängt allerdings stark von der Art und der Fläche der verwendeten Heizkörper ab.

Heiße Luft steigt vom Heizkörper auf, sinkt auf der anderen Seite des Raumes wieder nach unten und kehrt von unten zum Heizkörper zurück. Diese Luftbewegung nennt man Konvektion. Sie führt zu ungleichmäßiger Temperaturverteilung im Raum. Die Wandflächen erwärmen sich bei dieser Wärmeabgabe nur langsam, da sie erst über Wärmeübergang von der Luft erwärmt werden müssen. Der Strahlungsanteil ist je nach Bauart und Fläche des Heizkörpers unterschiedlich, im allgemeinen allerdings relativ gering.

Die Heizkörper werden meist unterhalb der Fenster angeordnet, um so die kalte Abwärtsströmung der Luft am Fenster umzudrehen und einen „Warmluftvorhang“ zu erzeugen. Dadurch wird die als „Kältestrahlung“ empfundene verstärkte Wärmeabgabe des Menschen durch Strahlung an das kältere Fenster reduziert. Gleichzeitig wird aber auch das Glas erwärmt und damit die Transmissionsverluste nach außen erhöht.

Auf Radiatorheizungen setzt sich leicht Staub ab, außerdem sind Heizkörper häufig schlecht zu reinigen. Ab ca. 55°C Oberflächentemperatur am Radiator setzt die Staubverschmelzung ein. Der Staub wird zudem durch die Konvektion aufgewirbelt (Margreiter, 1987). Durch Einsatz von großflächigen Strahlungs- oder auch Plattenheizkörpern mit niedrigen Vorlauftemperaturen, kann der Anteil der Strahlungswärme erhöht und die Staubverschmelzung reduziert werden. Bei Niedrigenergie- und Passivhäusern ist das, bedingt durch die geringen Heizungsvorlauftemperaturen kein Thema.

Fußbodenheizung

Bei der Fußbodenheizung werden in Teilen oder im gesamten Fußboden Rohre verlegt, durch die das Heizungswasser fließt. Die Vorlauftemperatur wird entweder nach der Außentemperatur geregelt oder fix eingestellt und die Heizungspumpe bzw. der Wärmeerzeuger entsprechend ein/aus geregelt, um eine gewünschte Wärmeabgabe zu erreichen. Die Vorlauftemperatur liegt typischerweise bei gut gedämmten Häusern bei maximal 30-40 °C. Der Fußboden fungiert als Speichermasse, daher ist das System je nach Auslegung relativ träge, das heißt nicht schnell regelbar. Die maximale Fußbodenoberflächentemperatur liegt bei Niedrigenergie- und Passivhäusern aufgrund der großen zur Verfügung stehende Fläche und der geringen notwendigen Heizlast meist nur 2-3 °C über der Raumtemperatur. Damit können spezifische Heizlasten von 20-30 W/m²_{Fußbodenfläche} abgedeckt werden (Recknagel, 2001). Bei Passivhäusern kann daher die Heizungs-Vorlauftemperatur weiter abgesenkt werden oder es braucht nur ein Teil des Fußbodens beheizt werden. Durch die niedrigen Fußbodenoberflächentemperaturen kommt es bei Sonneneinstrahlung zu einem Selbstregelleffekt. Der Raum wärmt sich durch die Sonnenstrahlung auf. Das bewirkt gleichzeitig, dass die Wärmeabgabe des Heizsystems bei einer Erhöhung der Raumtemperatur über die Fußbodentemperatur auf Null zurückgeht. In diesem Sinn ist das System als schnell reagierend auf sich ändernde Raumtemperaturen bedingt durch innere Wärmequellen oder solare Einstrahlung anzusehen.

Der Strahlungsanteil einer Fußbodenheizung ist aufgrund der großen Wärmeabgabefläche hoch. Sie erzeugt eine gleichmäßige Raumtemperatur. In Fußbodennähe kann sich bei Übertemperaturen größer 9°C allerdings ebenfalls eine Konvektionsströmung bilden, die zu Staubaufwirbelungen führt (Recknagel, 2001). Dieser Effekt ist aber wesentlich geringer als bei Radiatorheizungen und für Niedrigenergie- und Passivhäuser kein Thema (siehe oben).

Die Wandtemperatur ist bei Fußbodenheizung geringer als die Raumtemperatur, da die Wand nicht direkt beheizt wird. Der Mensch regelt seinen Wärmehaushalt zu einem großen Anteil über die Wärmeabfuhr an den Fußboden. Hohe Oberflächentemperaturen von Fußbodenheizungen führen zu reduzierter Wärmeabgabe und dadurch zu Gefäßverengung an den Beinen. Moderne Fußbodenheizungen arbeiten aber mit sehr niedrigen Oberflächentemperaturen. Nach der Europäischen Norm EN 1264 (1997) ist eine maximale Fußbodentemperatur von 29°C in Aufenthaltszonen gestattet. Nach Recknagel (2001) werden Fußbodentemperaturen über 27°C als unangenehm empfunden, als nur gelegentlich auftretende Auslegungstemperatur sind 29°C zugelassen. Solche Temperaturen führen normalerweise nicht zu gesundheitlichen Problemen. Wegen der niedrigen Vorlauftemperaturen treten bei Niedrigenergie- und Passivhäusern nur Übertemperaturen von 2-3°C auf. Daher sind diese Effekte ebenso wie eine Staubverschmelzung für Niedrigenergie- und Passivhäuser kein Thema bei der Fußbodenheizung.

Um die Fußbodenheizung effektiv nutzen zu können, sind verklebte oder durchgängige Fußbodenaufbauten (Fliesen, Klebparkett, Linoleum) und keine dickeren Teppiche (bzw. möglichst gar keine Teppiche) zu verwenden.

Wandflächenheizung

Bei Wandflächenheizungen sind die Heizungsrohre in den Wänden verlegt. Dies führt zu gleichmäßigen Wandtemperaturen und einer gleichmäßigen Temperaturverteilung im Raum. Die Vorlauftemperaturen werden ebenfalls in Abhängigkeit von der Außentemperatur geregelt und liegen üblicherweise bei 25-30°C, aber auch Temperaturen bis 40°C sind ohne Probleme realisierbar. Es gibt, wie bei der Fußbodenheizung, kaum Konvektion im Raum. Analog zur Fußbodenheizung liegt bei der Wandheizung die Fußbodentemperatur unter der Raumtemperatur.

Bei gut gedämmten Gebäuden (k -Wert $< 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$, beim Neubau ist dies der Standard) können die Rohre ohne zusätzliche Wärmedämmung nahe der Innenoberfläche der Wand angebracht werden. Auf diese Art und Weise kann die Wand in Abhängigkeit von Ihrem Aufbau als Speichermasse dienen, was das System relativ träge machen kann. Um ein flinkes Heizsystem zu bekommen, kann eine zusätzliche Dämmschicht zwischen Wand und Heizungsrohren angebracht werden.

Ein Nachteil der Wandheizung ist, dass die Wandflächen nicht komplett mit Möbeln zugestellt werden sollten und auch dass Befestigungen an den Wänden nur mit Vorsicht möglich sind.

Deckenheizung

Sind die Heizflächen in der Decke verlegt spricht man von einer Deckenheizung. Auch hier ist zwar eine große Fläche gegeben, jedoch bewirken die (geringen) konvektiven Anteile des Wärmeübergangs, dass die Temperatur an der Decke etwas höher als am Fußboden ist. Bis zu einer spezifischen Heizleistung von $40 \text{ W}/\text{m}^2$ lassen sich aber auch Deckenheizungen ohne allzu große Unisometrien der Raumtemperatur einsetzen. Aus diesem Grund sind auch Deckenheizungen für Niedrigenergiehäuser gedämmt nach Passivhausstandard einsetzbar.

Bedingt durch die großen Flächen sind Deckenheizung ebenfalls Niedertemperaturheizungssysteme. Die Heizflächen können als Betonkernaktivierung in der Speichermasse oder als Matten außerhalb der Speichermasse (Trocken- oder Nassausbau) verlegt werden. Daher sind alle Varianten der Heizungs-trägheit und Speichermassennutzung denkbar. Ein Vorteil liegt in der für die Wärmeabgabeflächen meist freien Decken. Die Deckenheizung wird im Folgenden bei den verschiedenen Systemen nicht explizit angeführt, da sie sich ähnlich der Wand- und Fußbodenheizung verhält.

Vergleich der verschiedenen Wärmeabgabesysteme

Tabelle 5-1 zeigt eine Gegenüberstellung technischer und qualitativer Eigenschaften der oben beschriebenen Wärmeabgabesysteme.

Tabelle 5-1: Vergleich der verschiedenen Systeme zur Abgabe der Wärme an den Raum

	Luftheizsysteme	Wasserheizungssysteme			
	Luftwechselrate von $0,4 \text{ h}^{-1}$	Wandflächenheizung	Fußbodenheizung	Deckenheizung	Flächenheizkörper
Lüftung/Gebäude					
Zusätzliche Dämmung notwendig	Nein	normal Nein, für schnelles Heizsyst.: Ja	(Nein)	(Nein)	Nein
Wärmeabgabesystem entkoppelt Speichermassen	Nein	Ja	Nein	Nein	Nein
Luftdichtheit gefordert	Ja ($n_{50} < 0,6$)	Nein	Nein	Nein	Nein
Hygienischer Luftwechsel gesichert	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Luftwechsel unabh. von Außenlärm	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Abluftwärmerückgewinnung	Ja (>75 %)	Nein	Nein	Nein	Nein
Vermeidung von Feuchteschäden	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Staubbildung	reduziert	Keine Aufwirbelung	(Nein)	Nein	(Ja)
Heizung					
Heizleistung (bei T_{\max}) (Recknagel et al., 2001, http://tophaustechnik2000.de/auslegung-wandheizung.html)	11 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Wohnfl.}}$ (Transmission und Infiltration)	200 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	80 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	40 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	1300 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$
Vorlauf- T_{\max} Heizung	60°C	50°C	40°C	35°C	90°C
Spez. Wärmeabgabe bei 40°C Heizungsvorlauf	5 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Wohnfl.}}$	130 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	80 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	40 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	530 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$
Heizung ohne Lüftung möglich	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Fensterlüftung möglich	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Heizung bei Fensterlüftung	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja
Eigenlärm der Heizung	(Nein)	Nein	Nein	Nein	Nein
Kühlung					
Max. spez. Kühlleistung	3 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Wohnfl.}}$	50 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	20 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	80 $\text{W}/\text{m}^2_{\text{Heizfl.}}$	gering
Kühlung Sommer (Erdreichwt.)	bedingt (Luft)	Ja (Wasser)	bedingt	Ja (Wasser)	Nein
Nachtauskühlung Sommer (bei geschlossenem Fenster)	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Wärmeverteilung					
Flächenbedarf Wärmeverteilung	Mittel	Gering (Befestigungen nur mit Vorsicht)	Gering (Heizfläche Boden ist meist frei)	Gering (Heizfläche Decke ist meist frei)	Gering

Tabelle 5-1: (Fortsetzung) Vergleich der verschiedenen Systeme zur Abgabe der Wärme an den Raum

	Luftheizsysteme	Wasserheizungssysteme			
	Luftwechselrate von $0,4 \text{ h}^{-1}$	Wandflächenheizung	Fußbodenheizung	Deckenheizung	Flachheizkörper
Wärmeabgabesystem					
Anteil Strahlungswärme	Gering	Hoch	Hoch	Hoch	Mittel
Luftbewegung durch Wärmeabgabesystem	Gering (bei richtiger Auslegung)	Gering	Gering	Gering	Mittel
Gleichmäßige Raumtemperaturverteilung	Mittel	Gut	Gut	Mittel (Heizung)	Mittel
Zugluft bei Lüftung	Keine (bei richtiger Auslegung)	Hoch (Querlüftung)	Hoch (Querlüftung)	Hoch (Querlüftung)	Hoch (Querlüftung)
Regelung					
Schnell regelbares Heizungssystem	Ja (aber Leistung ist gering)	Ja, wenn Dämmung zw. Wand und Heizschlangen	Nein	Ja, wenn nicht in Speicher masse	Ja
Freizuhaltender Flächenbedarf Wärmeabgabeflächen	Gering	Hoch	Gering	Gering	Mittel
Einzelraumregelung (im Passiv- und Niedrigenergiehaus durch Thermohülle außen grundsätzlich nur mäßig möglich)	Gering	Gut	Gut	Gut	Gut

5.1.3 Wärmeverteilung für zentrale Wärmeerzeugung in Mehrfamilienhäuser

Die Wärmeverteilung für Heizung und Brauchwarmwasser in Mehrfamilienhäusern ist aufgrund der Rohrleitungen mit Wärmeverlusten behaftet, welche absolut um so größer werden, je länger, je schlechter sie gedämmt und je höher die Temperaturen in den Leitungen sind. Ein Teil der Verluste kann in der Heizperiode als Heizwärme genutzt werden, ein Teil der Rohre ist jedoch oft in unbeheizten Bauteilen geführt und die Wärmeverluste somit verloren. Bezogen auf den Gesamtwärmebedarf steigen die relativen Verluste zudem, je geringer dieser Wärmebedarf ist. Daher ist besonders bei Niedrigenergie- und Passivhäusern auf ein effizientes Wärmeverteilsystem zu achten.

Im Folgenden werden drei verschiedene Systeme, unterschieden nach der Anzahl der Versorgungsrohre, mit Ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt. Eine umfassende Studie zu diesen Netzen wurde im Forschungsprojekt „Solare Wärmenetze“ im Rahmen der Forschungsinitiative „Haus der Zukunft“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie durchgeführt (Streicher et al. 2001, <http://www.hausderzukunft.at>).

Vier-Leiter-Netze

Als Vier-Leiter-Netze bezeichnet man Verteilsysteme, die neben der Vor- und Rücklaufleitung für die Raumwärmeversorgung auch noch zwei (meist) trinkwasserführende Stränge für die Brauchwarmwasserverteilung aufweisen (Brauchwarmwasserverteilung und Zirkulationsleitung). Das Brauchwarmwasser wird mit einer Umwälzpumpe über die Hauptverteilungen bis kurz vor die Zapfstellen und dann über eine möglichst klein dimensionierte „Zirkulationsleitung“ zum Speicher umgewälzt. Dadurch wird das Verteilnetz ständig auf Temperatur gehalten. Der damit verbundene Energieverbrauch einer Zirkulationsleitung kann allerdings sehr groß sein. Je nach Betriebsweise, Temperatur, Leitungslänge, Umlaufmenge und Dämmgüte der Rohrleitungen ergeben sich Verluste von 20 bis über 100% des eigentlichen Energiebedarfes für die Brauchwarmwasserbereitung. Diese Wärmeverluste stellen den größten Nachteil für ein Vier-Leiter-Netz dar. Als Vorteil für das Vier-Leiter-Netz kann der Platzgewinn in den Wohnungen durch den Wegfall der dezentralen Brauchwarmwasserspeicher gesehen werden. Für das Brauchwarmwasser wird zumeist ein Bereitschaftsspeicher zum Ausgleich der Lastschwankungen eingesetzt. Eine mögliche Schaltung mit optionaler Einbindung einer Solaranlage zeigt Abbildung 5-2.

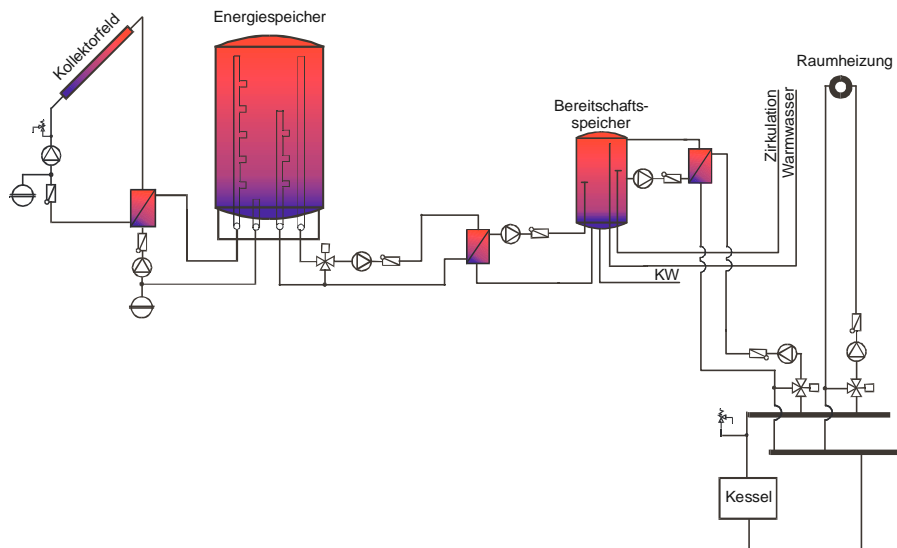


Abbildung 5-2: Vier-Leiter-Netz mit leistungsgeregeltem Wärmeerzeuger, Brauchwarmwasser-Bereitschaftsspeicher und optional angeschlossener Solaranlage (Streicher et al. 2001)

Drei Leiter-Netze

Als Drei-Leiter-Netze bezeichnet man Verteilsysteme, die für die Brauchwarmwassererwärmung und Raumwärmeversorgung drei Stränge aufweisen. Je nach Einsatzfall wird entweder eine gemeinsame Vorlaufleitung oder eine gemeinsame Rücklaufleitung gewählt. Der wesentliche Unterschied zum Vier-Leiter-Netz ist, dass die Brauchwarmwassererwärmung dezentral in den einzelnen Wohnungen erfolgt und die Verteilstränge somit Heizungswasser führen.

Drei-Leiter-Netze können überall dort sinnvoll eingesetzt werden, wo große Temperaturunterschiede zwischen den nötigen Versorgungstemperaturen (Brauchwarmwasser und Raumheizung) oder den Rücklauftemperaturen vorherrschen. Im allgemeinen bedeuten sie aufgrund des dritten Stranges bzw. aufgrund der dezentralen Brauchwarmwasserbereitung aber höhere Investitionskosten im Vergleich zu Zwei- und Vier-Leiternetzen. Abbildung 5-3 zeigt eine mögliche Schaltung für ein Drei-Leiter-Netz mit der optionalen Einbindung einer Solaranlage. Drei-Leiter Netze nutzen allfällige solare Erträge durch den zentralen Speicher immer für Brauchwarmwasser und Heizung. Durch den getrennten Rücklauf von Brauchwarmwasserbereitung und Heizung sind im Speicher unten immer niedrige Temperaturen garantiert, was hohe Solarerträge bringt.

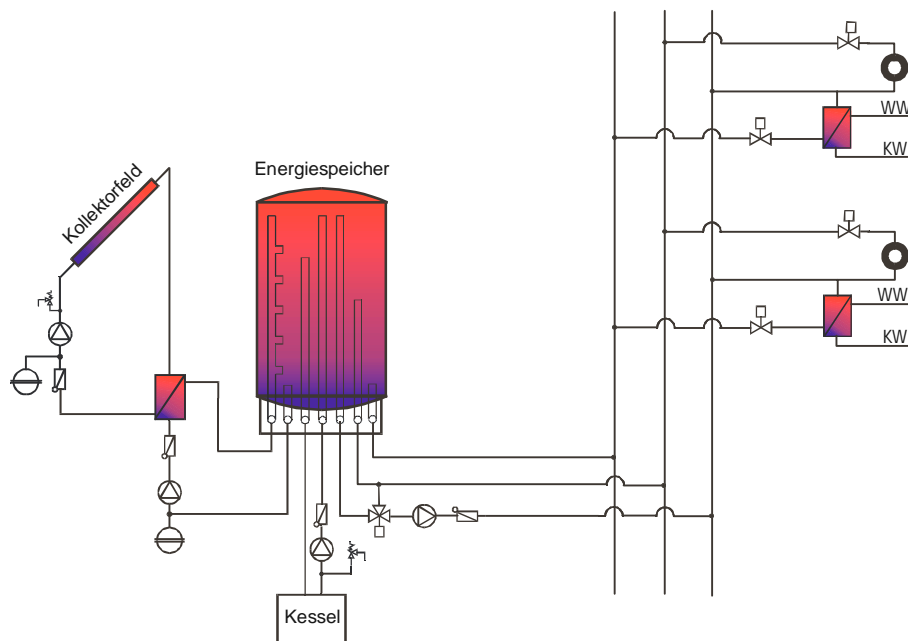


Abbildung 5-3: Drei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Brauchwarmwassererwärmung und optionaler Einbindung einer Solaranlage (Streicher et al. 2001)

Zwei-Leiter-Netze

Als Zwei-Leiter-Netze bezeichnet man Verteilsysteme, die für die Brauchwarmwassererwärmung und Raumwärmeversorgung zwei Stränge aufweisen (als Beispiel siehe Abbildung 5-4). Der wesentliche Unterschied zum Vier-Leiter-Netz ist, dass die Brauchwarmwassererwärmung dezentral in den einzelnen Wohnungen erfolgt und aufgrund der Systembeschaffenheit die solaren Erträge zur Brauchwarmwassererwärmung und Heizungsunterstützung verwendet werden können. Da nur ein gemeinsamer Versorgungsstrang sowie ein gemeinsamer Rücklaufstrang durch das Gebäude geführt wird, muss die Versorgungstemperatur immer den aktuell höheren Wert aus Raumwärmeversorgung und Brauchwarmwassererwärmung erreichen. Bei Niedrigenergie- und Passivhäusern wird dies zumeist durch die Brauchwarmwassertemperatur vorgegeben (55-60°C Vorlauftemperatur). Um die Temperatur zu senken können dezentrale Brauchwarmwasserspeicher eingesetzt werden, die innerhalb von gewissen Zeitfenstern mit höheren Temperaturen geladen werden; außerhalb der Zeitfenster wird nur die von der Heizung vorgegebene Temperatur im Vorlauf gefahren. Allerdings treten hier höhere Investitionskosten und Platzbedarf für die dezentralen Brauchwarmwasserspeicher auf. Die Zweileiter-Netze mit Durchlauferhitzer benötigen am Verbraucher immer eine Temperatur von ca. 55°C um die Brauchwarmwasserbereitung zu gewährleisten. Durch derzeit am Markt befindliche kompakte Übergabestationen ist der Platzbedarf jedoch sehr gering. Bei beiden Systemen kann die Rücklauftemperatur auf ca. 35-40°C gehalten werden, womit hohe Solarerträge erzielbar sind, Außerdem kann über eine Wärmemengenmessung der Wärmebedarf für Brauchwarmwasser und Heizung gemeinsam verrechnet werden.

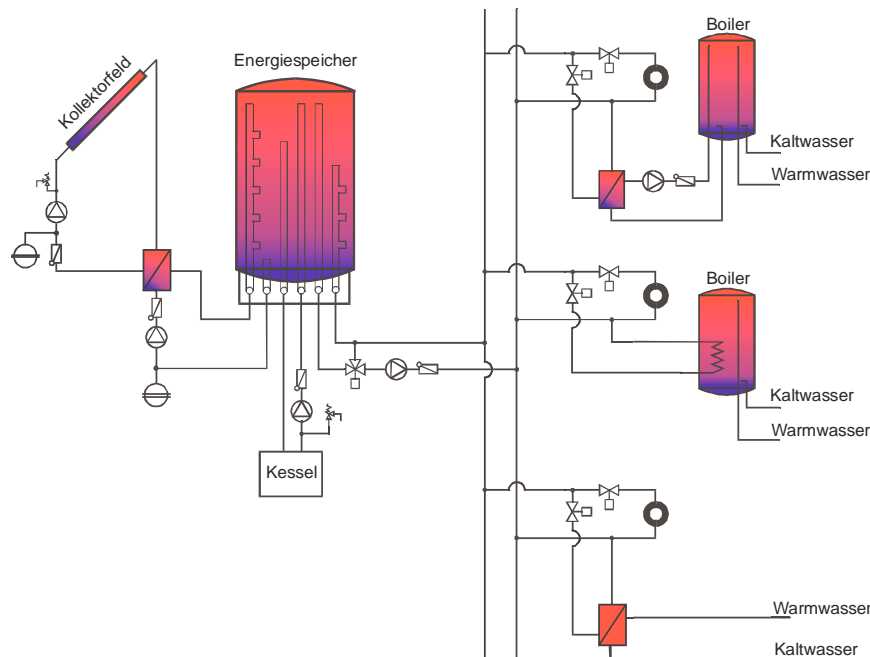


Abbildung 5-4: Zwei-Leiter-Netz mit zentralem Energiespeicher und dezentraler Brauchwarmwassererwärmung (verschiedene Varianten) und Einbindung einer Solaranlage. (Streicher et al. 2001)

5.1.4 Wärmeerzeuger und Pufferspeicher

Unabhängig davon, wie die Wärme an den Raum abgegeben wird, gibt es verschiedene Möglichkeiten, diese Wärme zu erzeugen. Die Bandbreite reicht von konventionellen Gas- und Ölkesseln zu Pelletskesseln, Pelletskaminöfen und Kachelöfen zu Wärmepumpen und direkter Verwendung von Strom. Eine Gegenüberstellung der Eigenschaften verschiedener Wärmeerzeuger zeigt Tabelle 5-2.

Emissionen von Heizkesseln

Die maximalen Emissionen von Heizkesseln im Stationärbetrieb sind in diversen Normen festgelegt und sind in den letzten Jahrzehnten deutlich gesunken. Beim Anfahren und Abschalten haben sie aber deutlich höhere Emissionen als im stationären Betrieb, wie in Abbildung 5-5 qualitativ zu sehen ist.

Die Höhe der Start- und Stoppemissionen hängt stark von der Bauart des Brenners und des Kessels ab. Gaskessel haben typischerweise bei einem Anfahr- und Stopvorgang 4-fach höhere CO- und 6-10-fache CH-Emissionen als im kontinuierlichen Betrieb (Pfeiffer et al., 1999). Biomassekessel haben im Taktbetrieb, (Anfahren, Laufzeit, Abschalten, Gluterhaltung) 3 – 20 mal höhere CO- und bis zu 26 mal höhere CH-Emissionen als im kontinuierlichen Betrieb (Baumbach, et al., 1995). Diese Werte können aber je nach Bauart auch höher oder tiefer liegen.

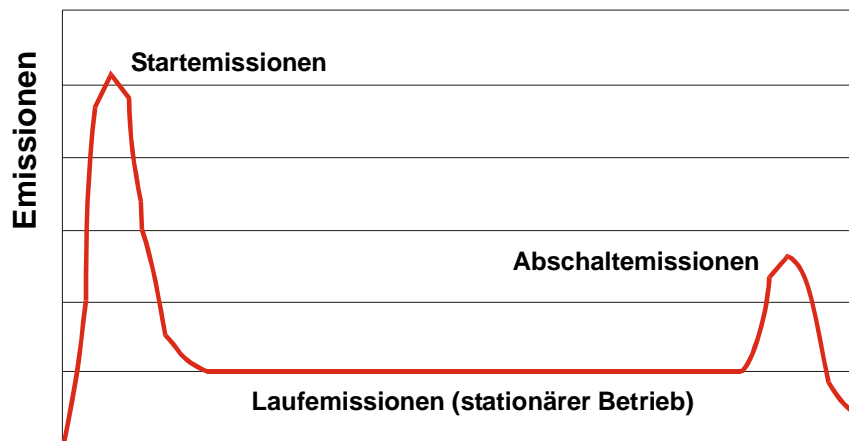


Abbildung 5-5: Start- und Stoppemissionen von Heizkesseln (Buderus, 1994)

Durch den niedrigen Heizwärmebedarf von Niedrigenergie- und Passivhäusern sind handelsübliche Gas-, Öl- oder Pelletskessel bzw. -thermen meist überdimensioniert. Das heißt, dass die Leistung des Kessels wesentlich höher liegt, als zur Deckung des Heizbedarfs (auch an einem sehr kalten Wintertag) notwendig ist. Der Kessel würde daher immer anfahren, bis er nach kurzer Zeit die maximal erlaubte Temperatur erreicht, und dann wieder abschalten. Daher ist es sinnvoll, einen Pufferspeicher zu verwenden. So kann der Kessel über einen längeren Zeitraum den Kessel laden und braucht dann, solange der Speicher entladen wird, nicht wieder anzuspringen. Das folgende Beispiel zeigt die Auswirkung eines Pufferspeichers.

Beispiel: Laufzeit Gastherme mit und ohne Pufferspeicher

Eine Gas-Therme liefert zum Beispiel auf niedrigster Stufe 5 kW. Ohne Pufferspeicher ist die Speichermasse (Therme, Leitungen und Wärmetauscher) sehr gering, daher ist die Brennerlaufzeit, bis die erlaubte Maximaltemperatur erreicht ist, meist unter einer Minute. Das bedeutet, dass der Kessel jeweils nach weniger als einer Minute abschaltet und kurze Zeit später wieder einschaltet, wenn die Temperatur entsprechend gesunken ist. Bei solchem Taktverhalten sind 30 000 Brennerstarts oder mehr pro Jahr und damit wesentlich höhere Emissionen als im Stationärbetrieb zu beobachten.

Durch Einsatz eines Pufferspeichers wird ein größeres Wasservolumen aufgeheizt, so dass der Brenner längere Zeit am Stück laufen kann und dann längere Zeit ausgeschaltet bleibt, bis der Speicher entladen ist. Mit einem Pufferspeicher von 200 l würde die Therme beispielsweise 28 Minuten brauchen, um den Speicher um 10 K zu erwärmen. Die Anzahl der Anfahrvorgänge wird also durch den Pufferspeicher stark reduziert. Der 200 l-Puffer kann damit im oberen Bereich bei vernünftigen Laufzeiten über 20 Minuten zwischen 50 und 60°C gehalten werden (siehe folgende Berechnung).

$$Q = \frac{V \cdot c_p \cdot \Delta T}{t}$$

$$t = \frac{0,2 \text{ m}^3 \cdot 1,16 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \cdot \text{K}} \cdot 10 \text{ K}}{5 \text{ kW}} = 0,464 \text{ h} = 28 \text{ Minuten}$$

Generelle technische Hinweise für Pufferspeicher

Für Puffer- und Brauchwarmwasserspeicher ist eine gute Wärmedämmung ohne Wärmebrücken wichtig. Aus diesem Grund muss die Wärmedämmung fest am Speicher anliegen, da ein Luftspalt zwischen Dämmung und Speicher zu Naturzirkulation der Luft und damit einer vergrößerten Wärmeabfuhr führen kann. Trotzdem ist auch bei guten Speichern eine Verdoppelung der Speicherverluste gegenüber einer idealen Berechnung der vorhandenen Wärmedämmung festzustellen (z.B. Vajen, 1996).

Rohrleitungen, die vom Speicher wegführen, sollten zudem immer zuerst nach unten geführt werden. Dadurch wird verhindert, dass warmes Wasser vom Speicher in die Rohrleitungen aufsteigt. Dieses warme Wasser wird an den Rohrwänden gekühlt. Dies passiert vornehmlich an schlecht oder gar nicht wärmegeprägten Stellen wie Pumpen oder Armaturen, jedoch auch abgeschwächt bei gut wärmegeprägten Leitungen. Das gekühlte Wasser sinkt an den Rohrwänden nach unten und horizontal in den Speicher, wo es sich mit dem dort befindlichen Wasser mischt und dieses kühlt. Warmes Wasser wird aus dem Speicher abgezogen und fließt in der Rohrmitte nach oben. Über solche Leitungen können beträchtliche Energiemengen verloren gehen. Abhilfe kann ein so genannter Thermosiphon schaffen. Wird die Leitung zuerst nach unten verlegt, so sammelt sich das kalte Wasser am Grund des Siphons und kann nicht weiter in den Speicher fließen. Abbildung 5-6 zeigt den zugehörigen Mechanismus.

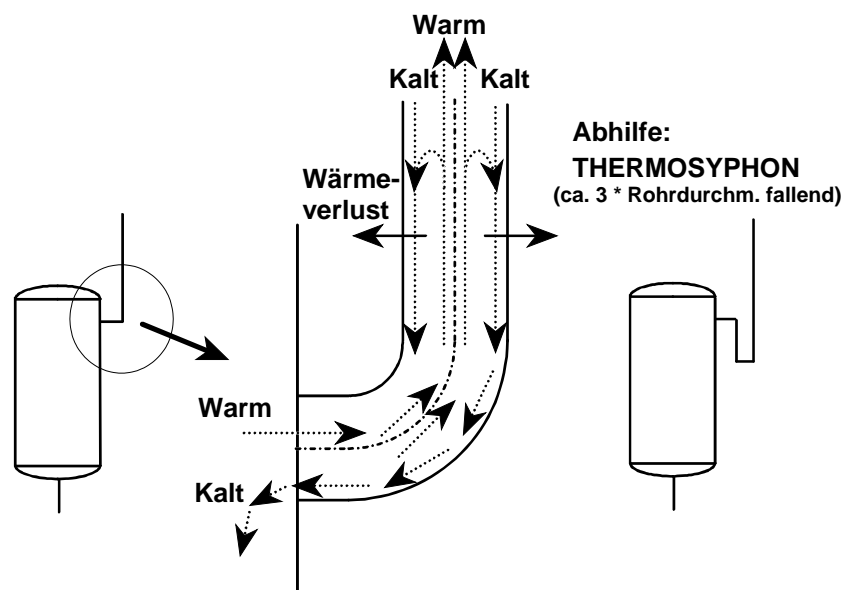


Abbildung 5-6: Naturzirkulation innerhalb eines Rohres und Vermeidung durch Thermosiphon (Streicher, 2003)

Detaillierte Informationen über das Verhalten von Wasserspeichern können z.B. Streicher, 2003 entnommen werden.

Tabelle 5-2: Vergleich verschiedener Systeme zur Wärmeerzeugung

	Öl	Gas		Pellets		Holz	Strom					Sonne
	Ölkessel zentral	Gastherme dezentral	Gaskessel Zentral	Pelletsessel (zentral)	Pellets-Kaminofen (dezentral)	Kachelofen-Ganzhausheizung (dezentral)	Kleinstwärmepumpe (Abluft, dezentral)	Sole-Wärmepumpe, dezentral)	E-Heizstab (Lüftung, dezentral))	E-Heizstab (WW), (dezentral)	el. Untertischboiler (WW) (nicht weiter behandelt)	Solaranlage
Energiequelle												
erneuerbar?	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Strom-mix	Strom-mix	Strom-mix	Strom-mix	Strom-mix	Ja
Rauchfang nötig?	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Brennstofflager nötig?	Ja	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Staub, Lärm?	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
importabhängig?	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	teilw.	teilw.	teilw.	teilw.	teilw.	Nein
Hohe Emissionen bei Taktbetrieb?	Mittel	Mittel	Mittel	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	--
Explosiv?	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Geeignet für Einsatzgebiete												
Luftheizungssystem	X	X	X	X	X		gut	Schlecht	X			
Wandflächenheizung	X	X	X	X	X	X	--	Sehr gut	--	--		X
Fußbodenheizung	X	X	X	X	X	X	--	Sehr gut	--			X
Radiator	X	X	X	X	X	X	--	Sehr gut	--			

Tabelle 5-2 (Fortsetzung): Vergleich verschiedener Systeme zur Wärmeerzeugung

	Öl	Gas		Pellets			Holz	Strom				Sonne
	Ölkessel zentral	Gastherme dezentral	Gaskessel zentral	Pelletsessel (zentral)	Pellets-Kaminofen (dezentral)	Kachelofen-Ganzhausheizung (dezentral)	Kleinstwärmepumpe (Abluft, dezentral)	Sole-Wärmepumpe (zentral)	E-Heizstab (Lüftung, dezentral)	E-Heizstab (WW), (dezentral)	el. Untertischboiler (WW) (nicht ehandelt)	Solaranlage
Eigenschaften der Erzeuger												
Wirkungsgrad/Leistungszahl (Heizbetrieb nach Jungmeier et al. 1995)	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	0,60	3,5	4,0	1			
Wirkungsgrad/Leistungszahl (Warmwasserbetrieb) Heizbetrieb nach Jungmeier et al. 1995)	0,80	0,80	0,80	0,75	0,75	0,60	2,5	3,5	1	1	1	
Erhältlich im Leistungsbereich...[kW]	>4,5	>3	>3	>3			>0,5	>3	>0,5	>0,5	>0,5	
Pufferspeicher notwendig	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	--	--	Ja
Brauchwarmwasserspeicher notwendig	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	--	Ja	klein	Ja
Kältemittelproblematik	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
Platzbedarf	Hoch (Tankraum)	Gering	Gering	Hoch	Hoch	Hoch	Mittel	Gering, Garten :	Mittel	Gering	Gering	Dach: Mittel Haus: Mittel
Aufstellung im Wohnbereich möglich	Nein	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	--
Systemverluste	Gering	Gering	Hoch	Hoch	Gering	Gering	Gering	Hoch	Gering	Gering	Gering	mittel
Kompakte Systemtechnik							ja					
Probleme bei Warmwasserbereitung im Sommer	Nein	Nein	Nein	Nein	Aufheizung des Aufstellraumes	Aufheizung des Aufstellraumes	Aufheizung der Zuluft	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Erfahrungsschatz bei der Planung von Anlagen	Sehr gut	Sehr gut	Sehr gut	mittel	mittel	Gering	Gering	mittel	mittel	Sehr gut	Sehr gut	Gut

5.2 Qualitativer Vergleich ausgewählter Systemvarianten

Im Folgenden werden nun verschiedene Heizsysteme, die für Niedrigenergie- und Passivhäuser geeignet sind, mit ihren Vor- und Nachteilen beschrieben. In Kapitel 4 werden die Referenzgebäude beschrieben, anhand derer vier dieser Systeme verglichen werden. In Kapitel 6 werden dann diese Ergebnisse der Vergleichsrechnungen dieser vier Systeme dargestellt und verglichen.

Es gibt eine große Anzahl von Möglichkeiten, Niedrigenergie- und Passivhäuser mit Wärme zu versorgen. Die folgenden Systemvarianten wurden aufgrund der in den im EU-Projekt CEPHEUS untersuchten Gebäude, den Ergebnissen eines Workshops mit Experten im Bereich Heizungssysteme vom 4. Oktober 2001 am Institut für Wärmetechnik, den am Projekt beteiligten Firmen ausgewählt. Zudem wurde das österreichische Spezifikum des Pelletskaminofens berücksichtigt, welcher sich durch die Entwicklungen der Warmwasserauskopplung für Heizung und Brauchwarmwasser zunehmender Beliebtheit in Österreich erfreut. Ölheizungen wurden nicht berücksichtigt, sie haben aber sehr ähnliche Charakteristiken wie die Gaskessel, benötigen jedoch einen Tankraum ähnlich wie Pelletskessel. Für dezentrale Systeme sind die Ölkessel vom Leistungsbereich her zu groß.

Die folgenden Kombinationen wurden in diese Studie aufgenommen und in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt und bewertet:

- € Kleinstwärmepumpe – Luftheizung – dezentral
(detailliert in Kap. 6 behandelt)
- € Gastherme – Luftheizung – dezentral
- € Gastherme – Wasserheizung – dezentral
- € Pelletskaminofen – Luftheizung – dezentral
- € Pelletskaminofen – Wasserheizung – dezentral
- € Sole-Wärmepumpe – Wasserheizsystem – zentral (mit Speicherbeladung)
(detailliert in Kap. 6 behandelt)
- € Pellets- oder Gaskessel – Luftheizsystem – zentral
- € Pellets- oder Gaskessel – Wasserheizsystem – zentral
(detailliert als Gas- und Pelletskessel in Kap. 6 behandelt)
- € Kachelofen – Wasserheizung – dezentral

Unter dezentral werden Systeme verstanden, bei denen in jeder Wohneinheit separate Systeme eingesetzt werden, zentrale Systeme hingegen bestehen aus einem zentralen gemeinsamen Teil für alle Wohneinheiten und dezentralen Übergabestationen.

5.2.1 Kleinstwärmepumpe – Luftheizung – dezentral

Systembeschreibung

Bei diesem System handelt es sich um ein speziell für Passivhäuser entwickeltes Kompaktsystem mit kontrollierter Wohnungslüftung, bei der die Heizung ausschließlich durch erwärmte Frischluft erfolgt. Ein Luftwechsel durch die Lüftungsanlage ist daher zwingend erforderlich, um Heizen zu können. Voraussetzung ist eine maximale Heizlast von 10 bis 12 W/m², damit mit dem hygienisch notwendigen Luftwechsel und einer Zulufttemperatur unter 50°C der Heizbedarf gedeckt werden kann. Dafür muss die Infiltration in das Gebäude auf ein Minimum reduziert sein. Daher ist es wichtig, die Infiltrationsbegrenzung bautechnisch zu planen und bei der Ausführung durch Qualitätsbegleitmaßnahmen sicherzustellen. Dies ist besonders bei Lüftungssystemen, welche in den Wohnräumen die vorgewärmte Luft einblasen und in den Feuchträumen absaugen notwendig. Gewünscht wird bei diesen Systemen, dass von den Räumen mit leichtem Überdruck (Einblasräume)

die Luft im Gebäude zu den Räumen mit leichtem Unterdruck (Absaugerräumen) gelangt und nicht durch Undichtigkeiten von den Räumen mit Überdruck ins Freie geblasen und in die Räume mit Unterdruck aus der Umgebung angesaugt wird. Um diesen Effekt möglichst gering zu halten sollten Überströmöffnungen zwischen Zuluft-, Überström- und Abluftzonen so beschaffen sein, dass sie keinen relevanten Druckverlust darstellen und der Druckunterschied zwischen den Räumen gering bleibt. Bei Lüftungssystemen mit Einblase- und Absaugstellen in jedem Raum, wird das Gebäude tatsächlich drucklos betrieben. Die Undichtigkeiten bewirken hier „nur“ zusätzliche Infiltrationsverluste.

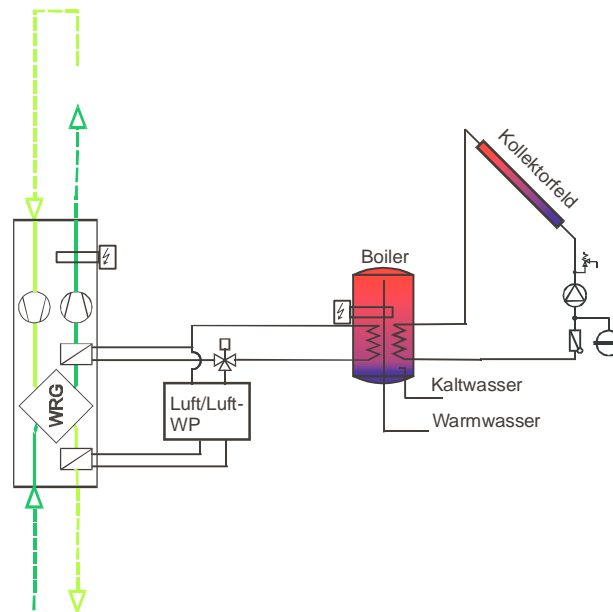


Abbildung 5-7: System 1 – Kleinstwärmepumpe mit Luftheizung – dezentral (Kollektorfeld und EWT empfohlen)

Über einen Luft/Luft-Wärmetauscher wird der Abluft aus den Räumen Wärme entzogen und der Zuluft zugeführt. Üblicherweise wird dabei eine Wärmerückgewinnung von 75-90 % realisiert. Dies kann zu einer Abkühlung der Abluft an den Wärmetauscherflächen unter Null Grad führen, was eine Vereisung des Wärmetauschers bewirkt. Wird hier keine Abtauschaltung vorgesehen, so „wächst“ der Wärmetauscher zu, es kann keine Abluft mehr strömen, die Zuluft kann nicht mehr vorgewärmt werden und die Heizung kann nicht mehr funktionieren. Die Außenluft sollte daher bei Reihenhäusern über einen Erdreichwärmetauscher angesaugt und dadurch (bei richtiger Auslegung des Erdreichwärmetauschers) immer über 0°C vorgewärmt werden. Damit wird ein Vereisen des Wärmerückgewinnungswärmetauschers komplett vermieden. Trotzdem muss der Verdampfer der Abluftwärmepumpe, welcher die Abluft weiter abkühlt, mit einer Abtauschaltung versehen sein. Die Abluft-Zuluftwärmepumpe heizt entweder über ein Luft-Heizregister die Zuluft nach Vorwärmung durch den Abluftwärmetauscher oder einen Brauchwarmwasserspeicher. Der Kompressor der Abluftwärmepumpe verbraucht dabei elektrische Energie. Er ist im Zuluftstrom angeordnet, so dass seine Abwärme ebenfalls der Zuluft zugute kommt. Im Sommerbetrieb ist dies allerdings ein unerwünschter Effekt. Für extrem kalte Tage, an denen mehr als 10 bis 12 W/m² Heizleistung für Transmission und Infiltration nötig ist, kann zusätzlich elektrisch nachgeheizt werden. Diese Nachheizung muss dann aber nur einen sehr geringen Anteil des Heizwärmebedarfs decken. Der Brauchwarmwasserspeicher kann ebenfalls mit einem Elektroheizstab nachgeheizt werden. Die Einbindung einer Solaranlage zur Brauchwarmwasserbereitung ist möglich. Erdreichwärmetauscher eignen sich besonders für Reihenhäuser, im Geschosswohnbau führt die Luftvorwärmung über Erdreichwärmetauscher zu unnötigen Verlängerungen der Rohrleitungen im Gebäude.

Im Sommer kann der Luft/Luft-Wärmetauscher umgangen werden, so dass die Zuluft nicht erwärmt wird. Der Luft/Luft-Wärmetauscher wird dafür manuell oder automatisch durch zwei aneinander vorbeiführende Rohrleitungen ersetzt. Wenn ein Erdreichwärmetauscher vorhanden ist, kann die angesaugte Luft zusätzlich leicht gekühlt werden. Dies ist keine Klimaanlage, aber eine unnötige Erwärmung der Zuluft wird so vermieden. Alternativ kann im Sommer tagsüber auch nur der Zuluftventilator betrieben werden. Die Abluft wird dann über die Fenster abgeführt. Auf diese Art und Weise findet auch keine Wärmerückgewinnung statt und die Zuluft wird über den Erdreichwärmetauscher gekühlt. Die Nachheizung des Brauchwarmwasserspeichers sollte im Sommer möglichst nachts stattfinden. Die Abluft erfolgt dann über das Lüftungsgerät, so dass die Wärmepumpe arbeiten kann, die Luft wird über die Fenster zugeführt, so dass eine Beheizung durch die Abwärme des Kompressors vermieden wird.

Die Wärmepumpe arbeitet um so effizienter, um so kleiner die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle (Abluft) und der gewünschten Vorlauftemperatur ist. Für den Heizbetrieb reichen Vorlauftemperaturen von 35-40°C an den meisten Tagen aus. Typische Leistungszahlen liegen bei etwa 3,5. Das heißt, dass, wenn der Kompressor 1 kWh Strom verbraucht, 2,5 kWh aus der Abluft genutzt und 3,5 kWh der Zuluft zugeführt werden können (Maico, 1999). Zur Brauchwarmwasserbereitung ist dagegen eine Temperatur von mindestens 45°C nötig. Bei dieser Temperaturspreizung arbeitet die Wärmepumpe nur mit einer reduzierten Leistungszahl von etwa 2,5 (Sommerbetrieb), im Winter liegt die Leistungszahl bei etwa 3, da die Abwärme des Kompressors für die Heizung der Zuluft genutzt werden kann (Bühning, 2001).

Typische Jahresarbeitszahlen (Leistungszahl über ein Jahr gemittelt, einschließlich Verluste durch Anfahrvorgänge etc.) liegen bei knapp über 3 (Bühning, 2001).

Das System wird dezentral verwendet. Das heißt, jede Wohneinheit hat ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmepumpe, einen eigenen Brauchwarmwasserspeicher und ggf. eine eigene Solaranlage. Das Lüftungsgerät mit Wärmepumpe und Brauchwarmwasserspeicher kann auch im Wohnbereich, z.B. in einem Abstellraum oder im Vorraum installiert werden.

Der Platzbedarf für dieses Kompaktgerät mit Abluftwärmerückgewinnung, Ventilatoren und Wärmepumpe sowie einem Brauchwarmwasserspeicher von etwa 200 l liegt bei etwa 1 m². Zusätzlich ist schon bei der Bauplanung zu berücksichtigen, dass Platz für Zu- und Abluftrohre vorhanden sein muss. Rohrdurchmesser liegen für Wohnungen und Einfamilienhäuser aus Geräuschgründen typischerweise zwischen DN 80 und DN 160, je nach Luftvolumenstrom und Rohrleitungslänge. Die Rohre werden üblicherweise unter der Fußbodenkonstruktion oder unter einer in Teilbereichen abgehängten Decke verlegt. Dadurch verliert der Raum (bspw. Flure, Bad, WC) etwa 15-20 cm an Raumhöhe. Als Variante kommt auch eine offene oder kaschierte Führung der Rohrleitungen im Raum zum Einsatz. Bei Einsatz einer Solaranlage (mit 6-8 m² Kollektorfläche) ist etwa 0,4 m² zusätzlicher Platzbedarf für einen größeren Brauchwarmwasserspeicher (ca. 400 l) und eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile

- € Wärmepumpe
 - š Kompakte Systemtechnik
 - š Einfache Energieversorgung durch Strom
 - š Relativ geringe Systemverluste (Kompaktgerät, Verluste gehen in die Wohneinheit)
 - š Kein Rauchfang nötig
 - š Kein Brennstofflager nötig
 - š Kein Staub, Geruch,...
 - š Aufstellung des Systems auch im Wohnbereich möglich.

≠ Luftheizsystem

- § Permanent frische Luft in allen Räumen
- § Energiesparen durch Wärmerückgewinnung
- § Keine kalte Zugluft durch Fensterlüften
- § kein Arbeitsaufwand bzw. keine Notwendigkeit für regelmäßiges Fensterlüften
- § Gefilterte Luft für Pollenallergiker
- § Lärmschutz durch geschlossene Fenster
- § Keine Heizkörper oder Heizflächen notwendig
- § Über einen Erdreichwärmetauscher ist im Sommer ein Luftwechsel möglich, der keinen zusätzlichen Energieeintrag ins Gebäude bringt.

Nachteile

≠ Wärmepumpe

- § Treibhausgasproblematik (bei Einsatz von Fluor-Kohlenwasserstoffe als Kältemittel)
- § Gefahr der Aufheizung der Zuluft während Brauchwarmwasserbereitung (Sommerproblem, kann durch Einsatz einer Solaranlage minimiert werden)

≠ Luftheizsystem

- § Kleine Heizleistung (max. 10-14 W/m² für Transmission und Infiltration) bei Luftwechselraten von 0,4 - 0,5 h⁻¹ und begrenzter Einblasetemperatur. Daher reagiert das Luftheizungssystem in diesem Anwendungsfall sehr träge in der Wiederaufheizung aber schnell in der Abkühlung.
- § Luftkanäle und Lüftungsgerät haben für Wohnungen rel. große Dimensionen
- § Lärmbelästigung bei unsachgemäßer Planung bzw. Ausführung (durch zu enge Rohrquerschnitte, schlechte Dämmung des Zentralgeräts, falsches Design der Luftauslässe, etc)
- § Zumeist gleiche Temperatur in allen Räumen (kann auch positiv gesehen werden)
- § Fensteröffnung im Winter kann zu Problemen bei der Beheizung des Gebäudes führen (Wärmerückgewinnung wird umgangen)
- § Keine Heizung bei abgeschalteter Lüftungsanlage
- § Dichte Gebäudehülle erforderlich damit Abluftwärmerückgewinnung funktioniert.
- § Funktioniert nur zufrieden stellend bei einwandfreier Planung des Gesamtgebäudes; Fehler und dadurch zu hohe Luftwechselraten etc. wirken sich negativ auf die Wohnqualität aus

Einsatzbereiche

Mit Luftheizungen lassen sich nur sehr geringe Heizleistungen (etwa 10-14 W/m² Netto-Wohnfläche) realisieren. Die Heizleistung von Kompaktgeräten mit Abluftwärmepumpe ist ebenfalls sehr gering, so dass diese Geräte nur für Passivhäuser geeignet sind.

Im Brauchwarmwasserbetrieb arbeiten Wärmepumpen durch die höheren Temperaturen mit niedrigeren Leistungszahlen.

Das System kann bei Mehrfamilienhäusern sowohl im Reihenhaus als auch im Geschosswohnungsbau (hier jedoch eher ohne Erdreichwärmetauscher mit Luftvorwärmung) eingesetzt werden.

5.2.2 Gastherme – Luftheizung – dezentral

Systembeschreibung

Bei diesem System handelt es sich um eine kontrollierte Wohnungslüftung, bei der die Heizung ausschließlich durch erwärmte Zuluft erfolgt. Ein Luftwechsel durch die Lüftungsanlage ist daher zwingend erforderlich, um heizen zu können. Voraussetzung ist eine maximale Heizlast von 10 bis 14 W/m². Dafür muss die Infiltration in das Gebäude auf ein Minimum reduziert sein. Das kann durch ein Gebäude mit geringer Infiltration und eine gut ausbalancierte Lüftungsanlage erreicht werden.

Über einen Luft/Luft-Wärmetauscher wird der Abluft aus den Räumen Wärme entzogen und der Zuluft zugeführt. Üblicherweise wird dabei eine Wärmerückgewinnung von 75-90 % realisiert. Die Außenluft kann bei Reihenhäusern über einen Erdreichwärmetauscher angesaugt und damit auf über 0°C vorgewärmt werden. Dadurch wird ein Zufrieren des Wärmerückgewinnungswärmetauschers vermieden. Im Geschosswohnbau führt ein Erdreichwärmetauscher oft zu relativ langen Rohrleitungen bis zu den Wohnungen führen.

Im Sommer kann der Luft/Luft-Wärmetauscher umgangen werden, so dass die Zuluft nicht erwärmt wird. Der Luft/Luft-Wärmetauscher wird dafür manuell oder automatisch durch zwei aneinander vorbeiführende Rohrleitungen ersetzt. Wenn ein Erdreichwärmetauscher vorhanden ist, kann die angesaugte Luft zusätzlich leicht gekühlt werden. Dies ist keine Klimaanlage, aber eine unnötige Erwärmung der Zuluft wird so vermieden. Alternativ kann im Sommer auch nur der Zuluftventilator betrieben werden. Die Abluft wird dann über die Fenster abgeführt. Auf diese Art und Weise findet auch keine Wärmerückgewinnung statt.

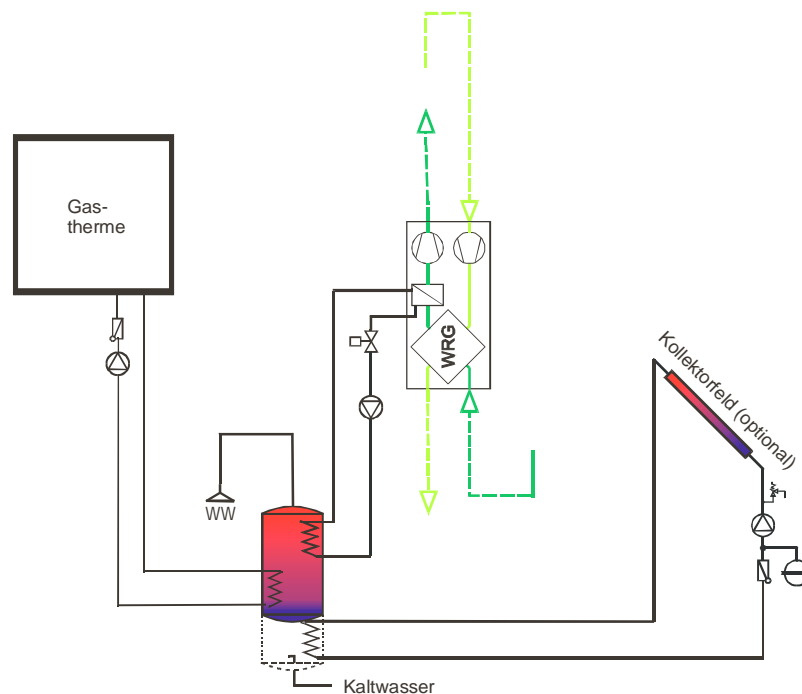


Abbildung 5-8: System 2 – Gastherme mit Luftheizung - dezentral (Kollektorfeld und EWT optional).

Eine Gastherme beheizt einen Brauchwarmwasserspeicher, aus dem sowohl warmes Wasser gezapft als auch die Zuluft über ein Wasser/Luft-Heizregister beheizt wird. Optional kann an den Brauchwarmwasserspeicher auch eine Solaranlage angeschlossen werden.

Dieses System wird dezentral verwendet, das heißt jede Wohneinheit hat ein eigenes Lüftungsgerät, einen eigenen Brauchwarmwasserspeicher und eine eigene Gastherme. Der Platzbedarf für dieses System ist etwas höher als für das Lüftungskompaktgerät, da zwar die Wärmepumpe im Lüftungsgerät eingespart jedoch zusätzlich noch die Gastherme untergebracht werden muss. Eine wandhängende Brennwert-Gastherme hat einen Platzbedarf an der Wand von etwa 0,5 m², so dass man auf etwa 1,5 m² kommt. Zusätzlich ist schon bei der Bauplanung zu berücksichtigen, dass Platz für Zu- und Abluftrohre vorhanden sein muss. Rohrdurchmesser liegen für Wohnungen und Einfamilienhäuser aus Geräuschgründen typischerweise zwischen DN 80 und DN 160, je nach Luftvolumenstrom und Rohrleitungslänge. Die Rohre werden üblicherweise unter der Fußbodenkonstruktion oder unter einer in Teilbereichen abgehängten Decke verlegt. Dadurch verliert der Raum (bspw. Flure, Bad, WC) etwa

15-20 cm an Raumhöhe. Als Variante kommt auch eine offene oder kaschierte Führung der Rohrleitungen im Raum zum Einsatz. Bei Einsatz einer Solaranlage (mit 6-8 m² Kollektorfläche) ist etwa 0,4 m² zusätzlicher Platzbedarf für einen größeren Brauchwarmwasserspeicher und eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile

- € Luftheizung
 - § Permanent frische Luft in allen Räumen
 - § Energiesparen durch Wärmerückgewinnung
 - § Keine kalte Zugluft durch Fensterlüften
 - § kein Arbeitsaufwand bzw. keine Notwendigkeit für regelmäßiges Fensterlüften
 - § Gefilterte Luft für Pollenallergiker
 - § Lärmschutz durch geschlossene Fenster
 - § Keine Heizkörper oder Heizflächen notwendig
 - § Über einen Erdreichwärmetauscher ist im Sommer ein Luftwechsel möglich, der keinen zusätzlichen Energieeintrag ins Gebäude bringt.
- € Gastherme
 - § Viel Erfahrung bei Installateuren mit dieser Technik
 - § Hohe Leistung im Brauchwarmwasserbetrieb möglich

Nachteile

- € Luftheizung
 - § Kleine Heizleistung (max. 10-14 W/m² für Transmission und Infiltration) bei Luftwechselraten von 0,4 - 0,5 h⁻¹ und begrenzter Einblasetemperatur. Daher reagiert das Luftheizungssystem in diesem Anwendungsfall sehr träge in der Wiederaufheizung aber schnell in der Abkühlung.
 - § Luftkanäle und Lüftungsgerät haben für Wohnungen rel. große Dimensionen
 - § Lärmbelästigung bei unsachgemäßer Planung bzw. Ausführung (durch zu enge Rohrquerschnitte, schlechte Dämmung des Zentralgeräts, falsches Design der Luftauslässe, etc)
 - § Zumeist gleiche Temperatur in allen Räumen (kann auch positiv gesehen werden)
 - § Fensteröffnung im Winter kann zu Problemen bei der Beheizung des Gebäudes führen (Wärmerückgewinnung wird umgangen)
 - § Keine Heizung bei abgeschalteter Lüftungsanlage
 - § Dichte Gebäudehülle erforderlich damit Abluftwärmerückgewinnung funktioniert
 - § Funktioniert nur zufrieden stellend bei einwandfreier Planung des Gesamtgebäudes; Fehler und dadurch zu hohe Luftwechselraten etc. wirken sich negativ auf die Wohnqualität aus.
- € Gastherme
 - § Niedrige Leistung (0,5 – 5 kW) nicht am Markt verfügbar
 - § Für die Gastherme ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Brauchwarmwasserspeicher gegeben).
 - § Fossiler Energieträger
 - § Kamin
 - § Explosionsgefahr
 - § Importabhängig
 - § Anschluss an Gasleitung notwendig oder Gastank
 - § Spezielle Anforderungen im Passivhausbereich nur bei wenigen Installateuren bekannt (siehe Kapitel 5.1.4)

Einsatzbereiche

Da für die Brauchwarmwasserbereitung im Durchlaufverfahren etwa 25 kW Spitzenleistung erforderlich sind und auf dem Markt erhältliche Gasthermen nur bis etwa 30% Leistung heruntermodulieren können, wäre eine solche Gastherme ohne Pufferspeicher immer noch stark überdimensioniert, da für die Luftheizung nur sehr geringe Leistungen benötigt werden. Dies würde zu sehr häufigem Takten und daher hohen Emissionswerten führen. Daher ist ein Speicher von etwa 200 l pro Wohneinheit vorzusehen. Bei Einsatz einer Solaranlage sollte der Speicher entsprechend größer sein. Verringertes Takten kann auch die Lebensdauer der Zündeinrichtung verlängern.

Das System kann bei Mehrfamilienhäusern sowohl im Reihenhaus als auch im Geschößwohnungsbau (hier allerdings eher ohne Erdreichwärmetauscher für die Luftvorwärmung) eingesetzt werden.

5.2.3 Gastherme – Wasserheizung – dezentral

Systembeschreibung

In diesem System wird ein Pufferspeicher mit einer Gastherme beheizt. Aus diesem Pufferspeicher werden dann die Radiatoren oder auch Fußboden- oder Wandheizung mit warmem Wasser versorgt. Außerdem kann aus diesem Speicher mit unterschiedlichen Verfahren Brauchwarmwasser gezapft werden. Hier ist beispielhaft ein innen liegender Wellrohrwärmetauscher dargestellt, in dem eine bestimmte Menge Wasser auf Temperatur gehalten wird. Andere Alternativen zur Brauchwarmwasserbereitung sind in Abschnitt 5.2.4 und 5.2.5 beschrieben.

Optional kann an den Pufferspeicher auch eine Solaranlage angeschlossen werden.

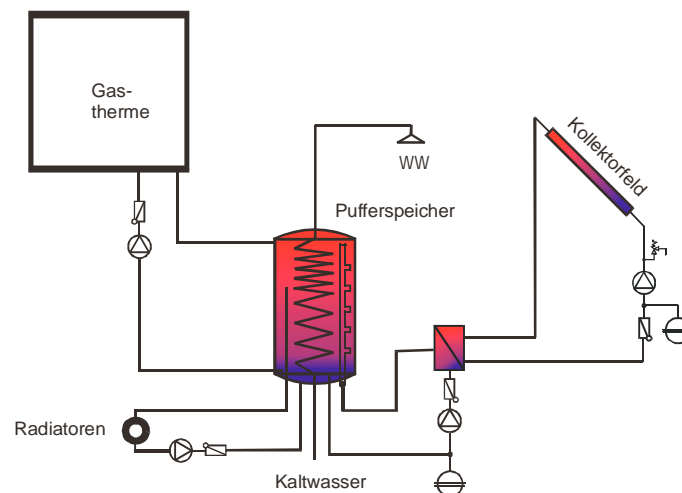


Abbildung 5-9: System 3 – Gastherme mit Wasserheizung - dezentral (Kollektorfeld optional)

Das System wird dezentral verwendet. Das heißt, jede Wohneinheit hat eine eigene Gastherme und einen eigenen Pufferspeicher. Der Platzbedarf für Therme und einen Pufferspeicher von etwa 400 l beträgt etwa 1 m². Die Rohrleitungen zu den Radiatoren verbrauchen im Gegensatz zu Luftheizsystemen kaum Platz, für die Radiatoren selbst hingegen muss in den Räumen ein Aufstellungsort (möglichst unter Fenstern) vorgesehen werden. Auch bei Einsatz einer Solaranlage (mit 6-8 m² Kollektorfläche) reicht ein 400 l Pufferspeicher aus. Daher ist nur ein geringfügig größerer Platzbedarf für eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- € Gastherme
 - § Viel Erfahrung bei Installateuren mit dieser Technik
 - § Hohe Wiederaufheizleistung
- € Wasserheizung mit Radiatoren
 - § Flexible schnelle Regelmöglichkeit mit Raumthermostaten
 - § Einzelraumregelung möglich
 - § Radiatoren als „Warmplatz“ in der Wohnung
 - § Hohe Wiederaufheizleistung (abhängig von Radiatorfläche und möglicher Vorlauftemperatur)
- € Wandheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Gute Raumtemperaturverteilung
 - § Schnell regelbar (je nach Wandaufbau)
- € Fußbodenheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Große Speicherkapazität (Dämpfung der Raumtemperaturschwankung)
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Heizfläche Boden ist meist frei
 - § Selbstregelungseffekt bei Sonnenstrahlung bei richtiger Dimensionierung (Oberflächentemperatur max. 2 K über Raumtemperatur)
 - § Gute Raumtemperaturverteilung

Nachteile:

- € Gastherme
 - § Niedrige Leistung derzeit nicht am Markt verfügbar
 - § Für die Gastherme ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
 - § Fossiler Energieträger
 - § Kamin
 - § Explosionsgefahr
 - § Importabhängig
 - § Anschluss an Gasleitung notwendig oder Gastank
 - § Spezielle Anforderungen im Passivhausbereich nur bei wenigen Installateuren bekannt (siehe Kapitel 5.1.4)
- € Wasserheizung mit Radiatoren
 - § Höhere Luft- und Heizflächentemperaturen, Oberflächentemperatur von Wand und Boden unter Lufttemperatur
 - § Höherer Konvektionsanteil als Strahlung
 - § Platzbedarf in jedem Raum
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap.1.5)
 - § Lärmbelästigung bei falscher Rohrdimensionierung
 - § Durch Konvektionsströmung kann Staub aufgewirbelt werden.
- € Wandheizung
 - § Heizwand muss im wesentlichen frei bleiben
 - § Befestigungen an einer Heizwand nur mit Vorsicht (mit Thermopapier kann die Lage der Rohre ermittelt werden)
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)

- ≠ Fußbodenheizung
 - § Große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
 - § Je nach Auslegung eher träges System
 - § Eingeschränkte Auswahl von Bodenbelägen
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)

Einsatzbereiche

Es gibt kaum Gasthermen im für Niedrigenergiehäuser notwendigen niedrigen Leistungsbereich. Daher wird die Gastherme ganz besonders in der Übergangszeit meist überdimensioniert sein. Das wiederum führt zu häufigem Takten und daher hohen Emissionswerten. Die Einbindung eines Pufferspeichers sollte daher unbedingt vorgesehen werden. Verringertes Takten kann die Lebensdauer der Zündeinrichtung verlängern.

Das System kann bei Mehrfamilienhäusern sowohl im Reihenhaus als auch im Geschößwohnungsbau eingesetzt werden.

5.2.4 Pelletskaminofen – Luftheizung – dezentral

Systembeschreibung

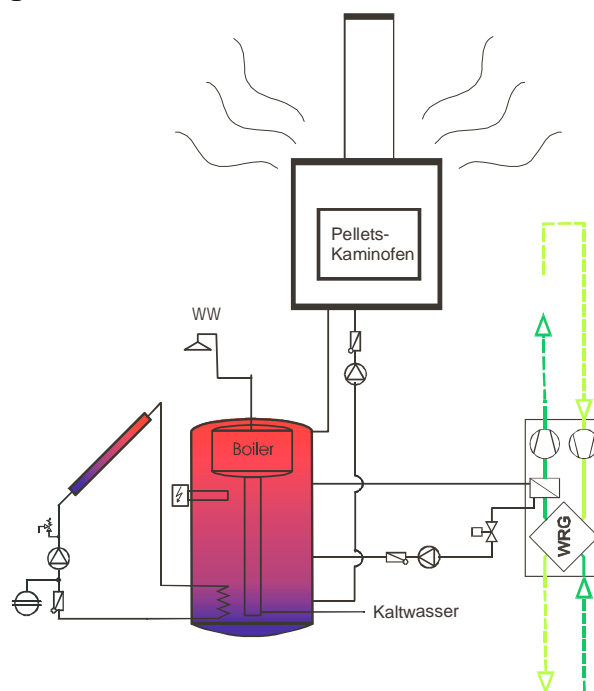


Abbildung 5-10: System 4 – Pelletskaminofen mit Luftheizung – dezentral (Kollektorfeld und EWT optional)

Bei diesem dezentralen Heizsystem bildet ein Pelletskaminofen im Wohnbereich das Kernstück. Der Pelletskaminofen gibt typischerweise etwa 20-30% seiner Leistung an die Luft im Aufstellraum ab. Es sollte jedenfalls weniger als 30% der Leistung über die Luft abgegeben werden, um Überhitzung im Aufstellraum zu vermeiden. Der Rest wird über einen Wärmetauscher ausgekoppelt und in einem Pufferspeicher gespeichert. Aus dem Pufferspeicher wird dann die Brauchwarmwasserbereitung und auch das Wasser/Luft-Heizregister der Lüftungsanlage versorgt. Es gibt verschiedene Methoden der Brauchwarmwasserbereitung aus einem Pufferspeicher. Hier ist beispielhaft ein Tank in Tank System dargestellt, bei dem ein innenliegender Tank Brauchwarmwasser auf Temperatur hält. Andere Alternativen zur Brauchwarmwasserbereitung sind in Abschnitt 5.2.3 und 5.2.5 beschrieben.

Die Außenluft kann bei Reihenhäusern über einen Erdreichwärmetauscher angesaugt und vorgewärmt werden. Dadurch wird ein Zufrieren des Luft/Luft-Wärmetauschers der Wärmerückgewinnung vermieden. Über einen Luft/Luft-Wärmetauscher wird dann der Abluft aus den Räumen Wärme entzogen und der Zuluft zugeführt. Üblicherweise wird dabei eine Wärmerückgewinnung von 75-90 % erreicht. Im Geschosswohnbau führt die Luftvorwärmung über Erdreichwärmetauscher oft zu sehr langen Rohrleitungen im Gebäude.

Der Speicher kann zusätzlich über eine Solaranlage bzw. mit einer Elektroheizpatrone beheizt werden (nur Brauchwarmwassernachheizung im Sommer).

Dieses System wird dezentral verwendet. Das heißt, jede Wohneinheit hat ein Lüftungsgerät, einen Pufferspeicher und einen Pelletskaminofen im Wohnraum. Idealerweise befindet sich der Pufferspeicher mit Übergabestation und Lüftungsgerät in einem direkt angrenzenden Abstellraum. Der Platzbedarf ist durch die drei Komponenten Kaminofen, Pufferspeicher und Lüftungsgerät relativ groß. Kaminofen und Lüftungsgerät benötigen jeweils etwa 0,5 m², ein Pufferspeicher von 400-600 l noch mal etwa 0,8 m². Die Pellets können entweder sackweise mit der Hand nachgefüllt werden oder über eine Fördereinrichtung automatisch. Für die Aufbewahrung der Pellets muss ebenfalls zusätzlicher Raum vorgesehen werden. Bei Handbefüllung reicht 1 m³ pro Heizsaison für ein Passivhaus mit Wärmerückgewinnung aus. Zusätzlich ist schon bei der Bauplanung zu berücksichtigen, dass Platz für Zu- und Abluftrohre vorhanden sein muss. Rohrdurchmesser liegen typischerweise zwischen DN 80 und DN 160, je nach Luftvolumenstrom und Rohrleitungslänge. Die Rohre werden üblicherweise unter der Fußbodenkonstruktion oder unter einer in Teilbereichen abgehängten Decke verlegt. Dadurch verliert der Raum (bspw. Flure, Bad, WC) etwa 15-20 cm an Raumhöhe. Als Variante kommt auch eine offene oder kaschierte Führung der Rohrleitungen im Raum zum Einsatz. Auch bei Einsatz einer Solaranlage (mit 6-8 m² Kollektorfläche) reicht ein 400-600 l Pufferspeicher aus. Daher ist nur ein geringfügig größerer Platzbedarf für eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- ≠ Pelletskaminofen
 - š Erneuerbare Energie
 - š Heimischer, krisensicherer Energieträger
 - š Ungefährlicher Brennstoff
 - š Hohe Leistung im Brauchwarmwasserbetrieb, schnell regelbar
 - š Außer Abgasverlusten keine Systemverluste, da innerhalb der gedämmten Hülle
 - š Notheizung bei nicht arbeitender Lüftungsanlage
 - š Gemütliche Atmosphäre, „Warmplatz“ in der Wohnung
- ≠ Luftheizung
 - š Permanent frische Luft in allen Räumen
 - š Energiesparen durch Wärmerückgewinnung
 - š Keine kalte Zugluft durch Fensterlüften
 - š kein Arbeitsaufwand bzw. keine Notwendigkeit für regelmäßiges Fensterlüften
 - š Gefilterte Luft für Pollenallergiker
 - š Lärmschutz durch geschlossene Fenster
 - š Außer dem Pelletsgerät selbst keine Heizkörper oder Heizflächen notwendig
 - š Über einen Erdreichwärmetauscher ist im Sommer ein Luftwechsel möglich, der keinen zusätzlichen Energieeintrag ins Gebäude bringt.

Nachteile:

- € Pelletskaminofen
 - § Für den Pelletskaminofen ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben)
 - § Platzbedarf durch Rauchfang, Brennstofflager
 - § Nachfüllen der Pellets händisch (Staub) oder automatisch (Laut)
 - § Geräusch der Schnecke ist akustisch wahrnehmbar
 - § Warmwasserbereitung nur bei gleichzeitigem Aufheizen des Aufstellraumes des Pelletskaminofens (Einsatz einer Solaranlage ist daher für den Sommer sinnvoll, alternativ kann ein Elektro-Heizstab eingesetzt werden)
- € Luftheizung
 - § Kleine Heizleistung (max. 10-14 W/m² für Transmission und Infiltration) bei Luftwechselraten von 0,4 - 0,5 h⁻¹ und begrenzter Einblasetemperatur. Daher reagiert das Luftheizungssystem in diesem Anwendungsfall sehr träge in der Wiederaufheizung aber schnell in der Abkühlung.
 - § Luftkanäle und Lüftungsgerät haben für Wohnungen rel. große Dimensionen
 - § Lärmbelästigung bei unsachgemäßer Planung bzw. Ausführung (durch zu enge Rohrquerschnitte, schlechte Dämmung des Zentralgeräts, falsches Design der Luftauslässe, etc)
 - § Zumeist gleiche Temperatur in allen Räumen (kann auch positiv gesehen werden)
 - § Fensteröffnung im Winter kann zu Problemen bei der Beheizung der nicht direkt durch das Pelletsgerät beheizten Räume führen (Wärmerückgewinnung wird umgangen)
 - § Eingeschränkte Heizung bei abgeschalteter Lüftungsanlage (nur im Aufstellraum des Pelletskaminofens)
 - § Dichte Gebäudehülle erforderlich damit Abluftwärmerückgewinnung funktioniert.
 - § Funktioniert in den luftbeheizten Räumen nur zufrieden stellend bei einwandfreier Planung des Gesamtgebäudes; Fehler und dadurch zu hohe Luftwechselraten etc. wirken sich negativ auf die Wohnqualität aus

Einsatzbereiche

Bei einer den Räumen mit reiner Luftheizung ist der max. Leistungseintrag bei einer Luftwechselrate von 0,4 - 0,5 h⁻¹ etwa 10-14 W/m² Netto-Wohnfläche. In die Räume, welche direkt über den Pelletskaminofen und die Luftheizung beheizt werden liegen die Werte höher.

Der Pelletskaminofen kann nur in der Heizsaison zur Brauchwarmwasserbereitung verwendet werden, sonst wird der Aufstellort (zumeist Wohnraum) mitbeheizt. Deshalb ist eine Solaranlage für die Brauchwarmwasserbereitung im Sommer notwendig, wenn der Brauchwarmwasserbedarf nicht über den E-Heizstab gedeckt werden soll.

Ein Pufferspeicher ist unbedingt notwendig, um das Takten zu minimieren. Biomassekessel haben beim Takten (Anfahren, Laufzeit, Abschalten, Gluterhaltung) 3 – 20 mal höhere CO- und bis zu 26 mal höhere CH-Emissionen als im kontinuierlichen Betrieb (Baumbach, et al., 1995). Verringertes Takten kann die Lebensdauer der Zündeinrichtung verlängern.

Die Verbrennungsluft sollte nicht aus dem Wohnraum sondern extern zugeführt werden, z.B. durch ein doppelwandiges Abgasrohr (innen Abgas, außen Frischluft, Achtung: Kondensation im Abgasrohr durch Kesseltemperaturerhöhung im Wasserkreis vermeiden).

Pelletskaminöfen werden bei Mehrfamilienhäusern typischerweise in Reihenhäusern und weniger im Geschoßwohnbau eingesetzt.

5.2.5 Pelletskaminofen – Wasserheizung – dezentral

Systembeschreibung

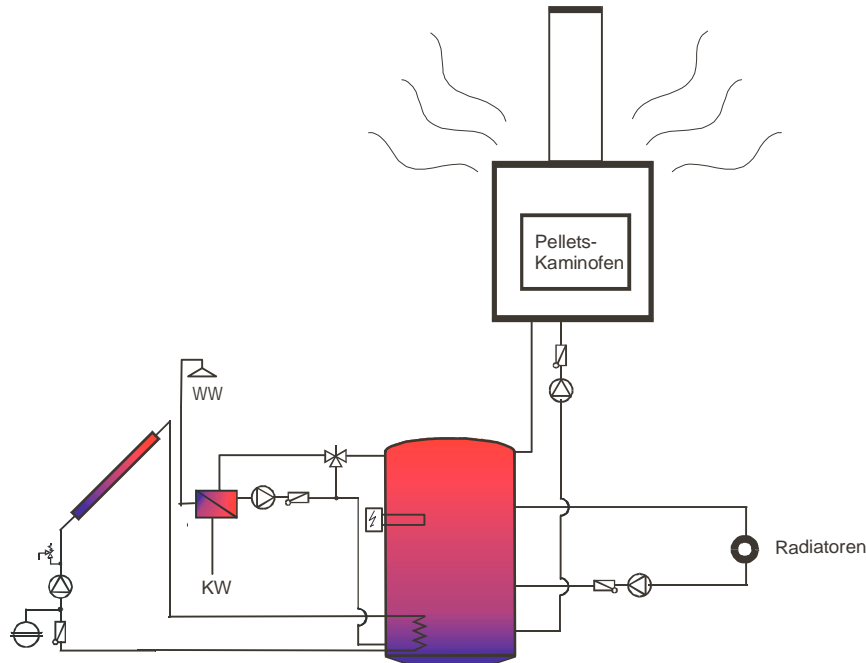


Abbildung 5-11: System 5 – Pelletskaminofen mit Wasserheizung - dezentral (Kollektorfeld empfohlen)

Bei diesem dezentralen Heizsystem bildet ein Pelletskaminofen im Wohnbereich das Kernstück. Der Pelletskaminofen gibt typischerweise etwa 20-30% seiner Leistung an die Luft im Aufstellraum ab. Es sollte jedenfalls weniger als 30% der Leistung über die Luft abgegeben werden, um Überhitzung im Aufstellraum zu vermeiden. Der Rest wird über einen Wärmetauscher ausgekoppelt und in einem Pufferspeicher gespeichert. Aus diesem Pufferspeicher wird dann die Brauchwarmwasserbereitung und auch der Heizkreis mit Radiatoren oder auch Fußboden- oder Wandheizung mit Wärme versorgt. Es gibt verschiedene Verfahren, aus einem Pufferspeicher Brauchwarmwasser zu bereiten. Beispielhaft ist in dieser Zeichnung ein externer Plattenwärmetauscher dargestellt. Die primärseitige Pumpe wird drehzahlregelt, so dass das gezapfte Wasser die gewünschte Temperatur erreicht. Andere Alternativen zur Brauchwarmwasserbereitung sind in Abschnitt 5.2.3 und 5.2.4 beschrieben.

Der Speicher kann zusätzlich über eine Solaranlage bzw. mit einer Elektroheizpatrone beheizt werden.

Dieses System wird dezentral verwendet. Das heißt, jede Wohneinheit hat einen Pufferspeicher und einen Pelletskaminofen im Wohnraum. Idealerweise befindet sich der Pufferspeicher mit Übergabestation in einem direkt angrenzenden Abstellraum. Der Kaminofen benötigt etwa 0,5 m² Stellfläche, ein Pufferspeicher von 400-600 l benötigt noch einmal etwa 0,8 m². Zusätzlich benötigen die Radiatoren in den einzelnen Räumen (möglichst unter Fenstern) Platz. Die Pellets können entweder sackweise mit der Hand nachgefüllt werden oder über eine Fördereinrichtung automatisch. Für die Aufbewahrung der Pellets muss ebenfalls zusätzlicher Raum vorgesehen werden. Bei Handbefüllung reicht 1,5 m³ für eine Heizsaison für ein Niedrigenergiehaus ohne Wärmerückgewinnung aus. Auch bei Einsatz einer Solaranlage (mit 6-8 m² Kollektorfläche) reicht ein 400-600 l Pufferspeicher aus. Daher ist nur ein geringfügig größerer Platzbedarf für eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- € Pelletskaminofen
 - § Erneuerbare Energie
 - § Heimischer, krisensicherer Energieträger
 - § Ungefährlicher Brennstoff
 - § Hohe Leistung, schnell regelbar
 - § Außer Abgasverlusten keine Systemverluste, da innerhalb der gedämmten Hülle
 - § Notheizung bei nicht arbeitender Lüftungsanlage
 - § Gemütliche Atmosphäre, „Warmplatz“ in der Wohnung
- € Wasserheizung mit Radiatoren
 - § Flexible schnelle Regelmöglichkeit mit Raumthermostaten
 - § Einzelraumregelung möglich
 - § Radiatoren als „Warmplatz“ in der Wohnung
 - § Hohe Wiederaufheizleistung (abhängig von Radiatorfläche und maximaler Vorlauftemperatur)
- € Wandheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Gute Raumtemperaturverteilung
 - § Schnell regelbar (je nach Wandaufbau)
- € Fußbodenheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Große Speicherkapazität (Dämpfung der Raumtemperaturschwankung)
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Heizfläche Boden ist meist frei
 - § Selbstregelungseffekt bei Sonnenstrahlung bei richtiger Dimensionierung (Oberflächentemperatur max. 2 K über Raumtemperatur)
 - § Gute Raumtemperaturverteilung

Nachteile:

- € Pelletskaminofen
 - § Braucht Puffer, um Takten niedrig zu halten
 - § Für den Pelletskaminofen ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
 - § Nachfüllen der Pellets händisch (Staub) oder automatisch (Laut)
 - § Geräusch der Schnecke ist akustisch wahrnehmbar
 - § Warmwasserbereitung nur bei gleichzeitigem Aufheizen des Aufstellraumes des Pelletskaminofens (Einsatz einer Solaranlage ist sinnvoll, alternativ kann ein Elektro-Heizstab eingesetzt werden)
- € Wasserheizung mit Radiatoren
 - § Höhere Luft- und Heizflächentemperaturen, Oberflächentemperatur von Wand und Boden unter Lufttemperatur
 - § Höher Konvektionsanteil als Strahlung
 - § Platzbedarf in jedem Raum
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)
 - § Lärmbelästigung bei falscher Rohrdimensionierung
 - § Durch Konvektionsströmung kann Staub aufgewirbelt werden.

- ∄ Wandheizung
 - š Heizwand muss im wesentlichen frei bleiben
 - š Befestigungen an einer Heizwand nur mit Vorsicht (mit Thermopapier kann die Lage der Rohre ermittelt werden)
 - š Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)
- ∄ Fußbodenheizung
 - š Große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
 - š Je nach Auslegung eher träges System
 - š Eingeschränkte Auswahl von Bodenbelägen
 - š Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)

Einsatzbereiche

Der Pelletskaminofen kann nur in der Heizsaison zur Brauchwarmwasserbereitung verwendet werden, sonst wird der Aufstellort (zumeist Wohnraum) mitbeheizt. Deshalb ist eine Solaranlage für die Brauchwarmwasserbereitung im Sommer notwendig, wenn der Brauchwarmwasserbedarf nicht über den E-Heizstab gedeckt werden soll.

Ein Pufferspeicher ist unbedingt notwendig, um das Takten zu minimieren. Biomassekessel haben beim Takten (Anfahren, Laufzeit, Abschalten, Gluterhaltung) 3 – 20 mal höhere CO- und bis zu 26 mal höhere CH-Emissionen als im kontinuierlichen Betrieb (Baumbach, et al., 1995). Verringerter Takt kann die Lebensdauer der Zündeinrichtung verlängern.

Die Verbrennungsluft sollte nicht aus dem Wohnraum sondern extern zugeführt werden, z.B. durch ein doppelwandiges Abgasrohr (innen Abgas, außen Frischluft, Achtung: Kondensation im Abgasrohr durch Kesseltemperaturerhöhung im Wasserkreis vermeiden).

Pelletskaminöfen werden bei Mehrfamilienhäusern typischerweise in Reihenhäusern und weniger im Geschosswohnbau eingesetzt.

5.2.6 Sole-Wärmepumpe – Wasserheizsystem – zentral (mit Speicherbeladung)

Systembeschreibung

In diesem System gibt es eine zentrale Sole-Wärmepumpe, die Niedertemperatur-Energie über einen Solekreis aus dem Erdreich entnimmt und, auf nutzbares Temperaturniveau angehoben, in ein Zweileiterteilsystem einspeist. Der Kompressor der Sole-Wärmepumpe verbraucht dabei elektrische Energie. Für den Solekreis gibt es verschiedene Ausführungsvarianten:

1. Erdsonden (Bohrloch): Die Wärme wird dem Erdreich hier über ein oder mehrere Bohrungen bis zu 100 m Tiefe mit 5 bis 10 m Abstand entzogen. Nach VDI 4640 , Blatt 2, (2001) kann für Erdwärmesonden in kleineren Anlagen zwischen 20 W/m (schlechter Untergrund, trockene Lockergesteine) und 84 W/m (Festgestein mit hoher Wärmeleitfähigkeit) Wärme entzogen werden.
2. Grundwasser: zwei Brunnen müssen gegraben werden (einer, um das Grundwasser zu fördern, und einer, um das abgekühlte Grundwasser wieder dem Grundwasserkreislauf zuzuführen). Bei einer Leistungszahl von 4 und einer Abkühlung des Grundwassers um 3 K müssen etwa 220 l Grundwasser pro Stunde je kW Heizleistung der Wärmepumpe gefördert werden (Vaillant 2000).
3. Flächenkollektor: Die erforderliche Fläche ist einerseits vom Wärmebedarf des Wohnhauses abhängig, andererseits aber auch von der Zusammensetzung und Feuchtigkeit des Erdreichs. Nach VDI 4640 , Blatt 2, (2001) kann dem Boden durchschnittlich zwischen 10 -15 W/m² (trockener sandiger Boden) und 30 – 40 W/m² (wassergesättigter Sand/Kies) Wärme entzogen werden. Die

Wärmeentnahme erfolgt über kunststoffummantelte Kupferrohre oder Kunststoffrohre aus einer Tiefe von 1 bis 1,5 Meter, der Rohrabstand beträgt ca. 80 cm.

4. Grabenkollektor: Die erforderliche Grabenlänge ergibt sich aus der berechneten Heizlast des Gebäudes und hängt ebenfalls von der Zusammensetzung und Feuchtigkeit des Bodens ab. Als Richtwert kann 2,5 m pro kW Heizlast verwendet werden. Der Verlegeabstand der Rohre beträgt hier nur 5-10 cm. Diese Methode ist platzsparend, sollte aber vermieden werden, da z.B. Flächenkollektoren durch die größere Speichermasse dem Erdreich wesentlich mehr Energie entziehen können (Vaillant, 2000).

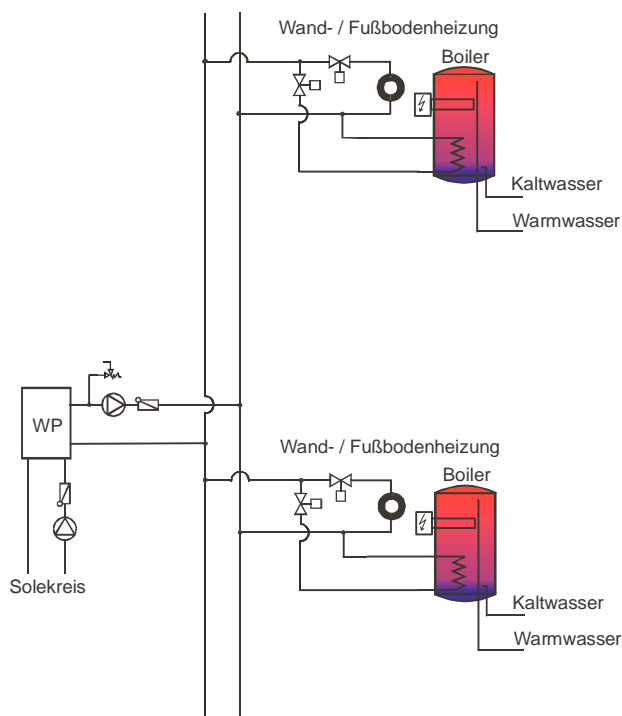


Abbildung 5-12: System 6: Solewärmepumpe -zentral mit Zweileiternetz

Ein Zweileitersystem verbindet die Wärmepumpe mit den einzelnen Wohneinheiten und versorgt die Wand- bzw. Fußbodenheizungen mit Wärme. Der Fußboden bzw. die Wandheizung muss hierfür mit thermischen Massen ausgeführt sein, um eine Speicherfunktion zu gewährleisten, so dass die Wärmepumpe nicht häufig taktet und die Räume, wenn die Wärmepumpe die Brauchwarmwasserspeicher nachlädt, nicht auskühlen. In jeder Wohneinheit gibt es außerdem einen eigenen Brauchwarmwasserspeicher. In bestimmten Zeitfenstern (z.B. nachts) wird dann das Zweileitersystem nicht mehr für die Heizkreise verwendet, sondern um die dezentralen Brauchwarmwasserspeicher zu beladen. Aus diesen Brauchwarmwasserspeichern kann dann jederzeit Brauchwarmwasser entnommen werden. Zur Nachheizung der Brauchwarmwasserspeicher gibt es außerdem jeweils einen Elektroheizstab als Spitzenabdeckung bzw. falls außerhalb der Ladezeiten eine größere Menge Brauchwarmwasser gebraucht wird.

Für eine Sole-Wärmepumpe mit bis zu 50 kW Heizleistung reicht 1 m² Platz in einem zentralen Technikraum. Zusätzlich wird im Garten je nach Ausführung entsprechend Platz für den Solekreis benötigt. In jeder Wohneinheit braucht man außerdem etwa 0,5 m² Standfläche für den Brauchwarmwasserspeicher bzw. Wandfläche bei einem Hängespeicher. Eine Fußbodenheizung hat keinen zusätzlichen Platzbedarf, bei einer Wandflächenheizung muss berücksichtigt werden, dass die Heizwände nicht komplett mit Möbeln zugestellt werden dürfen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- ∄ Sole-Wärmepumpe
 - § Geringer Platzbedarf
 - § Einfachste Energieversorgung durch Strom
 - § Kein Rauchfang nötig
 - § Kein Brennstofflager
 - § Kein Staub, Geruch,...
- ∄ Zweileiterteilsystem mit Brauchwarmwasserspeicher
 - § Durch Beladung der Speicher keine zusätzliche Zirkulationsleitung nötig bzw. niedrige VL-Temperatur bei Heizbetrieb möglich (hohe Leistungszahl der Wärmepumpe)
 - § Kleine Verteilverluste im Vergleich zu 4-Leiternetz wegen Beladung in Zeitfenstern
 - § Brauchwarmwasserspeicherverluste sind in der Heizperiode nicht verloren sondern dienen zur Raumheizung (besonders positiv bei Platzierung im Bad)
 - § Warmwasserversorgung ist durch Elektroheizpatrone unabhängig vom zentralen Heizungssystem (z.B. bei Wartungsarbeiten)
- ∄ Wandheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Gute Raumtemperaturverteilung
 - § Schnell regelbar (je nach Wandaufbau)
- ∄ Fußbodenheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Große Speicherkapazität (Takten der Wärmepumpe wird minimiert, Dämpfung der Raumtemperaturschwankung)
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Heizfläche Boden ist meist frei
 - § Selbstregelungseffekt bei Sonnenstrahlung bei richtiger Dimensionierung (Oberflächentemperatur max. 2 K über Raumtemperatur)
 - § Gute Raumtemperaturverteilung

Nachteile:

- ∄ Sole-Wärmepumpe
 - § Warmwasserbereitung auf über 50°C reduziert die Leistungszahl stark
 - § Treibhausgasproblematik (bei Einsatz von Fluor-Kohlenwasserstoffe als Kältemittel)
 - § Braucht Puffer (=verstärkter Fußboden, Speichermasse des Gebäudes), um Takten niedrig zu halten
- ∄ Zweileiterteilsystem
 - § Erhöhte Verteilverluste durch lange Leitungen im Vergleich zu dezentralen Systemen (wenn im unbeheizten Bereich)
 - § Nachheizung der Brauchwarmwasserspeicher nur in bestimmten Zeitfenstern sinnvoll möglich
 - § Warmwassermenge durch Brauchwarmwasserspeichergröße begrenzt
- ∄ Wandheizung
 - § Heizwand muss im wesentlichen frei bleiben
 - § Befestigungen an einer Heizwand nur mit Vorsicht (mit Thermopapier kann die Lage der Rohre ermittelt werden)
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)
 - § Für diesen Fall ohne Heizungspuffer ähnlich träges System wie Fußbodenheizung da die Wand eine thermische Speicherkapazität aufweisen muss, um ein Takten der Wärmepumpe zu verringern (Wiederaufheizen)
- ∄ Fußbodenheizung

- § Große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
- § Je nach Auslegung eher träges System
- § Eingeschränkte Auswahl von Bodenbelägen
- § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)

Einsatzbereiche

Während der Beladung der Brauchwarmwasserspeicher ist kein Heizbetrieb möglich. Die Wärmepumpe, Speichergröße und die Zeitfenster müssen so aufeinander abgestimmt sein, dass die Beladung der dezentralen Speicher innerhalb der Zeitfenster möglich ist. Die Verteilleitungen zwischen den einzelnen Abnehmern sollten nicht zu lang sein, um die Verteilverluste gering zu halten.

Die Leistungszahl einer Sole-Wärmepumpe liegt bei 0°C Soletemperatur und 35°C Wassertemperatur bei 4,3-4,7, bei 50°C Wassertemperatur bei 2,8-3,1 (Vaillant 2001). Im Brauchwarmwasserbetrieb liegt die Vorlauftemperatur bei 60°C, das heißt, dass die Leistungszahl dann noch niedriger liegen wird. Typische Jahresarbeitszahlen (Leistungszahl über ein Jahr gemittelt, einschließlich Verluste durch Anfahrvorgänge etc.) liegen bei 3,5 – 4.

Diese Systeme können bei Mehrfamilienhäusern in Reihenhäusern und im Geschosswohnbau eingesetzt werden.

5.2.7 Pellets- oder Gaskessel zentral – Luftheizsystem dezentral

Systembeschreibung

Dieses System besteht aus einem zentralen Pellets- oder Gaskessel, der einen Pufferspeicher lädt. Jede Wohneinheit verfügt außerdem über ein Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Die Außenluft kann bei Reihenhäusern über einen Erdreichwärmetauscher angesaugt und vorgewärmt werden. Dadurch wird ein Abtauen des Luft/Luft-Wärmetauschers der Wärmerückgewinnung vermieden. Im Geschosswohnbau lässt sich ein Erdreichwärmetauscher nur schwer einsetzen, da es zu langen Rohrleitungen bis in die Wohnungen kommt. Dann wird mit einem Luft/Luft-Wärmetauscher die Wärme der Abluft an die Zuluft übertragen. Zur Nachheizung gibt es dann ein Wasser/Luft-Heizregister in der Zuluft, das aus dem Pufferspeicher über ein Zweileiterverteilsystem gespeist wird. Außerdem gibt es in jeder Wohneinheit eine Frischwasserstation, wo im Durchlaufverfahren aus dem Zweileiterverteilsystem Brauchwarmwasser bereitet wird. An den Frischwasserstationen kann jederzeit Brauchwarmwasser gezapft werden, ohne durch die Größe des Brauchwarmwasserspeichers limitiert zu sein. Dafür muss das Verteilnetz auf mindestens 60-65°C gehalten werden.

An den Pufferspeicher kann optional eine Solaranlage angeschlossen werden.

Für ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten reicht ein zentraler Pelletskessel bis etwa 40 kW Heizleistung, der einen Platzbedarf von ca. 1,5 m² hat. Dazu kommt das Pelletslager, das für ein Passivhaus mit Wärmerückgewinnung inklusive Fördereinrichtungen etwa 3 m³ bei zweimaliger Beladung pro Jahr pro Wohneinheit braucht. Bei Einsatz eines Gaskessels reicht 1 m² aus. Der Pufferspeicher hat für 12 Wohneinheiten ohne Solaranlage ein Volumen von etwa 1 m³ mit etwa 1 m² Platzbedarf.

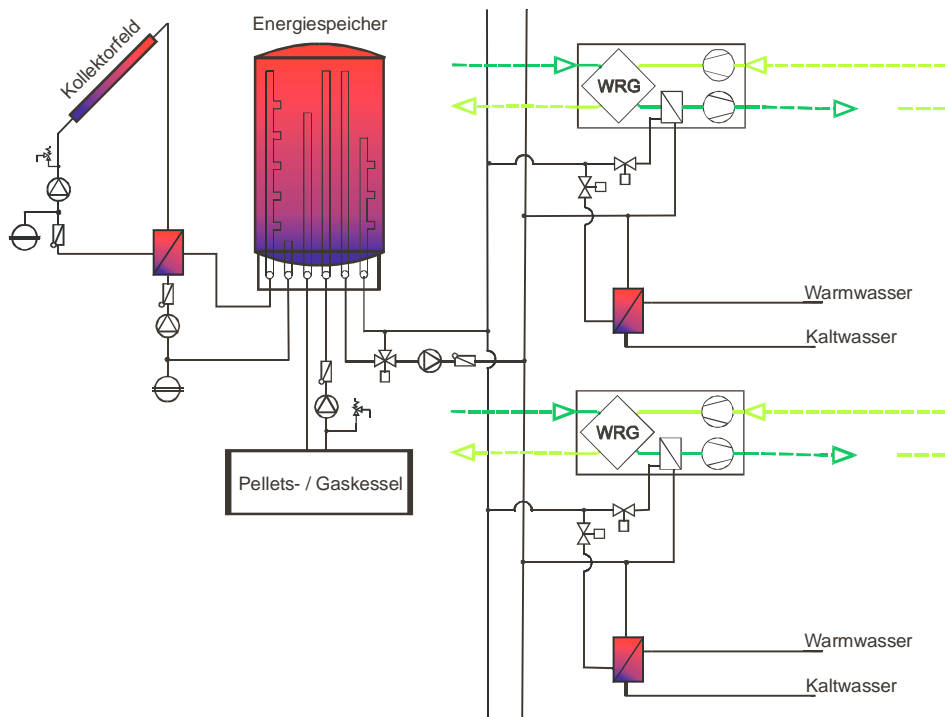


Abbildung 5-13: System 7 – Pellets- oder Gaskessel -zentral mit Zweileiternetz und Luftheizung – dezentral (Kollektorfeld optional)

In jeder Wohneinheit gibt es außerdem das Lüftungsgerät mit etwa 0,5 m² Platzbedarf und die Übergabestation mit etwa 0,5 m² Wandfläche. Zusätzlich ist schon bei der Bauplanung zu berücksichtigen, dass Platz für Zu- und Abluftrohre vorhanden sein muss. Rohrdurchmesser liegen für Wohnungen und Einfamilienhäuser aus Geräuschgründen typischerweise zwischen DN 80 und DN 160, je nach Luftvolumenstrom und Rohrleitungslänge. Die Rohre werden üblicherweise unter der Fußbodenkonstruktion oder unter einer in Teilbereichen abgehängten Decke verlegt. Dadurch verliert der Raum (bspw. Flure, Bad, WC) etwa 15-20 cm an Raumhöhe. Als Variante kommt auch eine offene oder kaschierte Führung der Rohrleitungen im Raum zum Einsatz.

Bei Einsatz einer Solaranlage (mit 3-4 m² Kollektorfläche pro Wohneinheit) vergrößert sich der Pufferspeicher um 150 – 200 Liter/Wohneinheit. Daher ist nur ein geringfügig größerer Platzbedarf für eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- ∄ Pelletskessel
 - š Erneuerbare Energie
 - š Heimischer, krisensicherer Energieträger
 - š Ungefährlicher Brennstoff
 - š Hohe Leistung bei der Brauchwarmwasserbereitung, schnell regelbar
- ∄ Gaskessel
 - š Viel Erfahrung bei Installateuren mit dieser Technik
 - š Hohe Leistung bei der Brauchwarmwasserbereitung, schnell regelbar
- ∄ Zweileiterteilsystem mit Frischwasserstationen
 - š Hygienische Brauchwarmwasserbereitung im Direktdurchlauf
 - š Warmwassermenge nicht durch Brauchwarmwasserspeichervolumen begrenzt

- ∄ Luftheizsystem
 - š Permanent frische Luft in allen Räumen
 - š Energiesparen durch Wärmerückgewinnung
 - š Keine kalte Zugluft durch Fensterlüften
 - š Kein Arbeitsaufwand bzw. keine Notwendigkeit für regelmäßiges Fensterlüften
 - š Gefilterte Luft für Pollenallergiker
 - š Lärmschutz durch geschlossene Fenster
 - š Keine Heizkörper oder Heizflächen notwendig
 - š Über einen Erdreichwärmetauscher ist im Sommer ein Luftwechsel möglich, der keinen zusätzlichen Energieeintrag ins Gebäude bringt.

Nachteile:

- ∄ Pelletskessel
 - š Für den Pelletskessel ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
 - š Platzbedarf durch Kamin, Brennstofflager Das Brennstofflager kann mittlerweile auch mit Außenlagerung (z.B. PE-Erdtanks) also raumschonend realisiert werden.
- ∄ Gaskessel
 - š Für den Gaskessel ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren ((in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
 - š Fossiler Energieträger
 - š Kamin
 - š Explosionsgefahr
 - š Importabhängig
 - š Anschluss an Gasleitung notwendig oder Gastank
 - š Spezielle Anforderungen im Passivhausbereich nur bei wenigen Installateuren bekannt (siehe Abschnitt 5.1.4)
- ∄ Zweileiterteilsystem mit Frischwasserstationen
 - š Erhöhte Verteilverluste durch lange Leitungen im Vergleich zu dezentralen Systemen
 - š Erhöhte Verteilverluste durch hohes Temperaturniveau im Verteilnetz, Vorlauf mindestens 60°C, Rücklauf 50-55°C im Heizbetrieb und 40-45°C im Brauchwarmwasserbetrieb
- ∄ Luftheizsystem
 - š Kleine Heizleistung (max. 10-14 W/m² für Transmission und Infiltration) bei Luftwechselraten von 0,4 - 0,5 h⁻¹ und begrenzter Einblasetemperatur. Daher reagiert das Luftheizungssystem in diesem Anwendungsfall sehr träge in der Wiederaufheizung aber schnell in der Abkühlung.
 - š Luftkanäle und Lüftungsgerät haben für Wohnungen rel. große Dimensionen
 - š Lärmbelästigung bei unsachgemäßer Planung bzw. Ausführung (durch zu enge Rohrquerschnitte, schlechte Dämmung des Zentralgeräts, falsches Design der Luftauslässe, etc)
 - š Zumeist gleiche Temperatur in allen Räumen (kann auch positiv gesehen werden)
 - š Fensteröffnung im Winter kann zu Problemen bei der Beheizung des Gebäudes führen (Wärmerückgewinnung wird umgangen)
 - š Keine Heizung bei abgeschalteter Lüftungsanlage
 - š Dichte Gebäudehülle erforderlich damit Abluftwärmerückgewinnung funktioniert.
 - š Funktioniert nur zufrieden stellend bei einwandfreier Planung des Gesamtgebäudes; Fehler und dadurch zu hohe Luftwechselraten etc. wirken sich negativ auf die Wohnqualität aus

Für ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten reicht ein zentraler Pelletskessel bis etwa 40 kW Heizleistung, der einen Platzbedarf von ca. 1,5 m² hat. Dazu kommt das Pelletslager, das für ein Passivhaus mit Wärmerückgewinnung inklusive Fördereinrichtungen etwa 3 m³ bei zweimaliger Beladung pro Jahr pro Wohneinheit braucht. Bei Einsatz eines Gaskessels reicht 1 m² aus. Der Pufferspeicher hat bei einem Volumen von etwa 1 m³ etwa 1 m² Platzbedarf.

In den einzelnen Wohneinheiten gibt es nur eine Übergabestation, die etwa 0,5 m² Platz an der Wand benötigt. Außerdem muss in jedem Raum Platz für Radiatoren (möglichst unter Fenstern) vorgesehen werden.

Bei Einsatz einer Solaranlage (mit 3-4 m² Kollektorfläche pro Wohneinheit) vergrößert sich der Pufferspeicher um 150 – 200 Liter/Wohneinheit. Daher ist ein geringfügig größerer Platzbedarf für eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- ∄ Pelletskessel
 - § Erneuerbare Energie
 - § Heimischer, krisensicherer Energieträger
 - § Ungefährlicher Brennstoff
 - § Hohe Leistung, schnell regelbar
- ∄ Gaskessel
 - § Viel Erfahrung bei Installateuren mit dieser Technik
 - § Hohe Leistung, schnell regelbar
- ∄ Zweileiterteilsystem mit Frischwasserstationen
 - § Hygienische Brauchwarmwasserbereitung im Direktdurchlauf
 - § Warmwassermenge nicht durch Brauchwarmwasserspeichervolumen begrenzt
 - § Rücklauftemperatur niedriger als bei Luftheizsystem (ca. 30-40°C), wenn gut einreguliert, daher weniger Verluste
- ∄ Wasserheizsystem mit Radiatoren
 - § Flexible schnelle Regelmöglichkeit mit Raumthermostaten
 - § Einzelraumregelung möglich
 - § Radiatoren als „Warmplatz“ in der Wohnung
 - § Hohe Wiederaufheizleistung (abhängig von Radiatorfläche und möglicher Vorlauftemperatur)
- ∄ Wandheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Gute Raumtemperaturverteilung
 - § Schnell regelbar (je nach Wandaufbau)
- ∄ Fußbodenheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Große Speicherkapazität (Takten der Wärmepumpe wird minimiert, Dämpfung der Raumtemperaturschwankung)
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Heizfläche Boden ist meist frei
 - § Selbstregelungseffekt bei Sonnenstrahlung bei richtiger Dimensionierung (Oberflächentemperatur max. 2 K über Raumtemperatur)
 - § Gute Raumtemperaturverteilung

Nachteile:

- ∄ Pelletskessel
 - § Für den Pelletskessel ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
 - § Kamin
 - § Platzbedarf durch Kamin, Brennstofflager Das Brennstofflager kann mittlerweile auch mit Außenlagerung (z.B. PE-Erdtanks) also raumschonend realisiert werden.
- ∄ Gaskessel
 - § Für den Gaskessel ist ein Lastausgleichsspeicher notwendig, um das Takten und damit die Emissionen zu minimieren (in der vorliegenden Schaltung ist dies durch den Pufferspeicher gegeben).
 - § Fossiler Energieträger
 - § Kamin
 - § Explosionsgefahr
 - § Importabhängig
 - § Anschluss an Gasleitung notwendig oder Gastank
 - § Spezielle Anforderungen im Passivhausbereich nur bei wenigen Installateuren bekannt (siehe Abschnitt 5.1.4)
- ∄ Zweileiterteilsystem mit Frischwasserstationen
 - § Erhöhte Verteilverluste durch lange Leitungen im Vergleich mit dezentralen Systemen
 - § Erhöhte Verteilverluste durch hohes Temperaturniveau im Verteilnetz, Vorlauf mindestens 60°C
- ∄ Wasserheizsystem mit Radiatoren
 - § Höhere Luft- und Heizflächentemperaturen, Oberflächentemperatur von Wand und Boden unter Lufttemperatur
 - § Höherer Konvektionsanteil als Strahlung
 - § Platzbedarf in jedem Raum
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)
 - § Lärmbelästigung bei falscher Rohrdimensionierung
 - § Durch Konvektionsströmung kann Staub aufgewirbelt werden..
- ∄ Wandheizung
 - § Heizwand muss im wesentlichen frei bleiben
 - § Befestigungen an einer Heizwand nur mit Vorsicht (mit Thermopapier kann die Lage der Rohre ermittelt werden)
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)
- ∄ Fußbodenheizung
 - § Große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
 - § Je nach Auslegung eher träges System
 - § Eingeschränkte Auswahl von Bodenbelägen
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)

Einsatzbereiche

Ein Pufferspeicher ist unbedingt notwendig, um das Takten zu minimieren. Biomassekessel haben beim Takten (Anfahren, Laufzeit, Abschalten, Gluterhaltung) 3 – 20 mal höhere CO- und bis zu 26 mal höhere CH-Emissionen als im kontinuierlichen Betrieb (Baumbach, et al., 1995). Beim Gaskessel sind die Emissionen etwa 6-10-mal höher (Pfeiffer, 1999). Verringertes Takten kann die Lebensdauer der Zündeinrichtung verlängern. Die Leitungslänge zwischen den Abnehmern sollte nicht zu groß sein, um die Verteilverluste gering zu halten.

Das System ist bei Mehrfamilienhäusern sowohl im Reihenhaus- als auch im Geschößwohnbau einsetzbar.

5.2.9 Kachelofen – Wasserheizung – dezentral

Systembeschreibung

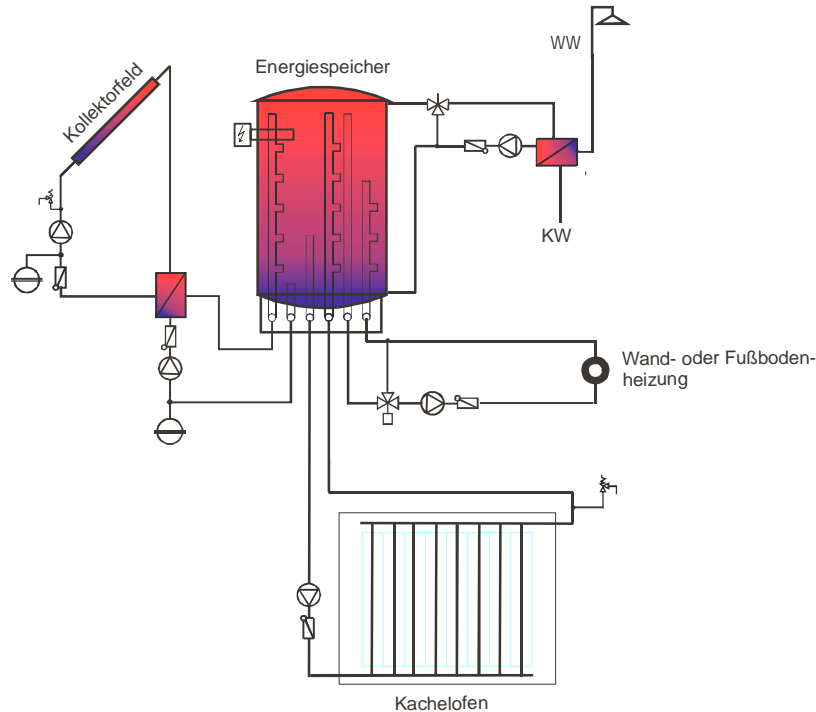


Abbildung 5-15: System 9 – Kachelofen als Ganzhausheizung – dezentral (Kollektorfeld empfohlen)

Zentraler Bestandteil dieses Systems ist ein Kachelofen, der als Ganzhausheizung ausgeführt ist. In jeder Wohneinheit steht ein Kachelofen im Wohnraum, der über Strahlung den Wohnraum auch beheizt. Der Kachelofen hat einen Wärmetauscher integriert, über den Wärme an einen Pufferspeicher abgeführt werden kann. Der Temperaturverlauf und die Energieabgabe beim Kachelofen ist während des Betriebes nicht konstant. Die Temperatur steigt nach dem Abbrand sehr rasch (1 bis 2 Stunden) auf ein Maximum an und sinkt nach überschreiten der Maximaltemperatur (abhängig von der Brennstoffmenge) dann kontinuierlich (6 bis 12 Stunden) ab. Um die Temperatur bzw. Energie aus dem Kachelofen maximal zu nutzen, wird er über eine Schichtladeeinheit in den Pufferspeicher eingebunden. Es können bis zu 50% der Energie an den Pufferspeicher abgeführt werden.

Zusätzlich ist an den Pufferspeicher eine Solaranlage angeschlossen, die die Brauchwarmwasserbereitung im Sommer sicherstellt, da der Kachelofen nicht betrieben werden kann, ohne die Wohnung zu heizen. Für die Tage, an denen nicht genug Solarenergie zur Verfügung steht, ist in den Speicher außerdem eine Elektroheizpatrone integriert. In der Übergangszeit, wenn der Pufferspeicher durch die Solaranlage beladen ist, kann auch der Kachelofen als Wärmeabgabesystem genutzt werden, in dem Wasser aus dem Pufferspeicher in den Wärmetauscher des Kachelofens gepumpt wird.

Dieses System wird dezentral verwendet. Das heißt jede Wohneinheit hat einen Pufferspeicher und einen Kachelofen im Wohnraum. Der Platzbedarf der Komponenten Kachelofen und Pufferspeicher von 400-600 l beträgt etwa 2 m². Der Kachelofen wird mit Holz befeuert. Für die Lagerung des Brennholzes wird zusätzlicher Raum benötigt (ca. 2 m³). Auch bei Einsatz einer Solaranlage (mit 3-4 m² Kollektorfläche pro Wohneinheit) reicht ein 400-600 l Pufferspeicher aus. Daher ist nur ein geringfügig größerer Platzbedarf für eine Solarstation zu berücksichtigen. Zusätzlich zu den angegebenen Quadratmetern ist um die Geräte herum genügend Platz für Anschlüsse und Rohrleitungen vorzusehen.

Vor- und Nachteile

Vorteile:

- € Kachelofen
 - § Erneuerbare Energie
 - § Heimischer, krisensicherer Energieträger
 - § Ungefährlicher Brennstoff
 - § Außer Abgasverlusten keine Systemverluste, da innerhalb der gedämmten Hülle
 - § Notheizung bei Stromausfall
 - § Gemütliche Atmosphäre, „Warmplatz“ in der Wohnung
- € Wandheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Schnell regelbar (je nach Wandaufbau)
- € Fußbodenheizung
 - § Gleichmäßig niedriges Temperaturniveau, daher keine Aufwirbelung durch Konvektion
 - § Große Speicherkapazität (Dämpfung der Raumtemperaturschwankung)
 - § Geringe Vorlauftemperaturen, daher ideal für erneuerbare Energiesysteme (WP, Solarenergie)
 - § Langwellige Strahlungswärme
 - § Heizfläche Boden ist meist frei
 - § Selbstregelungseffekt bei Sonnenstrahlung bei richtiger Dimensionierung (Oberflächentemperatur max. 2 K über Raumtemperatur)
 - § Gute Raumtemperaturverteilung
- € Wasserheizsystem mit Radiatoren
 - § Flexible schnelle Regelmöglichkeit mit Raumthermostaten
 - § Einzelraumregelung möglich
 - § Hohe Wiederaufheizleistung (abhängig von Radiatorfläche und möglicher Vorlauftemperatur)

Nachteile:

- € Kachelofen
 - § Braucht Pufferspeicher
 - § Platzbedarf durch Rauchfang, Brennstofflager
 - § manuelle Befuerung, Staub, Schmutz
 - § Warmwasserbereitung nur bei gleichzeitigem Aufheizen des Aufstellraumes (nur mit Solaranlage sinnvoll)
 - § Höchste Emissionen aller betrachteten Systeme
 - § Trägheit, geringe Regelbarkeit
- € Wasserheizsystem mit Radiatoren
 - § Höhere Luft- und Heizflächentemperaturen, Oberflächentemperatur von Wand und Boden unter Lufttemperatur
 - § Höherer Konvektionsanteil als Strahlung
 - § Platzbedarf in jedem Raum
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)
 - § Durch Konvektionsströmung kann Staub aufgewirbelt werden
 - § Wandheizung
 - § Heizwand muss im wesentlichen frei bleiben
 - § Befestigungen an einer Heizwand nur mit Vorsicht (mit Thermopapier kann die Lage der Rohre ermittelt werden)
 - § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)
- € Fußbodenheizung
 - § Große Speicherkapazität (Wiederaufheizen)
 - § Je nach Auslegung eher träges System

- § Eingeschränkte Auswahl von Bodenbelägen
- § Kein kontrollierter Luftwechsel mit Wärmerrückgewinnung (nach Definition Kap. 1.5)

Einsatzbereiche

Der Kachelofen kann nur in der Heizsaison zur Brauchwarmwasserbereitung verwendet werden, sonst wird der Aufstellort (zumeist Wohnraum) mitbeheizt. Deshalb ist eine Solaranlage für die Brauchwarmwasserbereitung im Sommer notwendig, wenn der Brauchwarmwasserbedarf nicht über den E-Heizstab gedeckt werden soll.

Da nur etwa 50% der Energie des Kachelofens über den Wärmetauscher abgeführt werden können, muss die Wohnung zu einem großen Teil über den Kachelofen direkt beheizt werden können (offene Architektur).

Die Verbrennungsluft sollte nicht aus dem Wohnraum sondern extern zugeführt werden, z.B. durch ein doppelwandiges Abgasrohr (innen Abgas, außen Frischluft, Achtung: Kondensation im Abgasrohr durch Kesseltemperaturerhöhung im Wasserkreis vermeiden).

Kachelöfen zur Ganzhausheizung werden bei Mehrfamilienhäusern typischerweise in Reihenhäusern und weniger im Geschoßwohnbau eingesetzt.

5.3 Zusammenfassung der qualitativen Bewertung

Tabelle 5-3 zeigt eine Zusammenfassung der oben qualitativ beschriebenen Heizungssysteme. Hierbei wurden die Kriterien Einsatzgebiet, Wärmequelle, Platzbedarf, mögliche Wärmeabgabesysteme, Wärmeträger für die Heizung sowie einige Vor- und Nachteile aufgenommen, um einen schnellen Vergleich zwischen den Systemen zu ermöglichen. Der Platzbedarf für zentrale Systeme bezieht sich auf ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten (siehe Kapitel 4).

Tabelle 5-3: Übersicht der Eigenschaften der qualitativ beschriebenen Systeme

	Kleinwärmepumpe – Luftheizung – dezentral	Gastherme – Luftheizung – dezentral	Gastherme – Wasserheizung – dezentral	Pelletskaminofen – Luftheizung – dezentral	Pelletskaminofen – Wasserheizung – dezentral	Sole-Wärmepumpe – Wasserheizsyst. – zentral (mit Speicherbeladung)	Pellets- oder Gaskessel zentral – Luftheizsystem dezentral	Pellets- oder Gaskessel – Wasserheizsystem – zentral	Kachelofen – Wasserheizung – dezentral
<i>Einsatzgebiete</i>									
Einfamilienhäuser	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Reihenhäuser	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Geschosswohnbau	b	b	x	b	b	x	x	x	
<i>Wärmequelle</i>									
Außenluft	x	x		x			x		
Abluft	x	x		x			x		
Erdreich						x			
Biomasse				x	x		x(o)	x(o)	x
Fossil (Gas, Öl)		x	x				x(o)	x(o)	
Strom	x					x			
Solar	e	o	o	o	o	b	o	o	e
<i>Ca. Platzbedarf (Wärmeerzeuger und Speicher ohne Rohrleitungen)*) [m²]</i>	1,0 (+0,4) /WE	1,5 (+0,4) /WE	1,0 (+0,4) /WE	2,8 (+0,1) /WE	2,5 (+0,1) /WE	0,5 /WE 1,0 /Geb.	0,8 /WE 3,0 /Geb.	0,5 /WE 3,0 /Geb.	4 (+0,1) /WE
<i>Mögliche Wärmeabgabe:</i>									
Radiator			x		x	b		x	x
Fußbodenheizung			x		x	x		x	x
Wandheizung			x		x	x		x	x
Deckenheizung			x		x	x		x	x
Luftheizung	x	x		x			x		
<i>Wärmeträger Heizung</i>									
Luft	x	x		x			x		x
Wasser			x		x	x		x	
<i>Vorteile</i>									
Lüftung durch Heizsyst. Heizung stromunabh.	x	x		x			x		b
<i>Nachteile</i>									
Kleine Heizlast notw. Pufferspeicher notwendig Fläche für Erdkollektor	x	x	e	x	x	x	x	x	x

x: trifft zu; b: trifft bedingt zu

e: empfohlen; o: optional

*)WE: Wohneinheit, Geb. Gebäude, Werte in Klammern für Solaranlage

6. Quantitativer Vergleich ausgewählter Systeme

Von den in Kapitel 5 beschriebenen Systemen wurden 4 ausgewählt und für die Referenzgebäude mit dem Simulationsprogramm TRNSYS (2000) detailliert simuliert. Die Auswahl erfolgte aufgrund bisher eingesetzter Systeme im Mehrfamilienhausbau sowie zur Erfassung einer Bandbreite von verschiedenen Möglichkeiten.

Die Pellets-Kaminöfen wurden in diesem Projekt nicht betrachtet, da es keine ausreichenden Unterlagen und Simulationsmodelle darüber gibt. Die detaillierte Betrachtung weiterer Systeme könnte bei Bedarf in Folgeprojekten durchgeführt werden. Die für diese Studie ausgewählten Systeme sind:

- € Kleinstwärmepumpe – Luftheizung – dezentral (ohne und mit Solaranlage) (Kap. 5.2.1), System 1 (nur für Referenzgebäude 1, da mit Erdreichwärmetauscher im Geschosswohnbau schwierig anwendbar). Dieses System stellt das „klassische“ Passivhausheizungskonzept dar, wie es vom Passivhausinstitut Darmstadt vorgestellt wird. Das Lüftungsgerät mit Brauchwarmwasserbereitung wurde in Österreich entwickelt.
- € Sole-Wärmepumpe – Wasserheizsystem – zentral (nur ohne Solaranlage) mit dezentralen Brauchwarmwasserspeichern mit Zweileiternetz (Kap. 5.2.6), System 6. Erdreich-Wärmepumpen benötigen aufgrund ihrer hohen Jahresarbeitszahlen wenig Strom. Sie stellen in der hier vorgestellten Konfiguration eine energetische Alternative (bei gleichem Endenergeträger Strom) zur klassischen Passivhausvariante dar, wenn auf die Abluftwärmerückgewinnung verzichtet wird.
- € Pelletskessel – Wasserheizsystem – zentral (ohne und mit Solaranlage) mit Zweileiternetz und Brauchwarmwasserdurchlauferhitzer (Kap. 5.2.8), System 8. Dieses System bringt den erneuerbaren Energieträger Biomasse in das Niedrigenergie- und Passivhaus. Somit ist diese Variante als ökologische Vergleichsvariante von großem Interesse. Biomasse-Pellets Kessel werden zudem in Österreich entwickelt und gefertigt (und auch nach Deutschland exportiert). Durch den geringen Wartungsaufwand stellen sie eine Alternative zu konventionellen fossilen Energieträgern dar.
- € Gaskessel – Wasserheizsystem – zentral (ohne und mit Solaranlage), mit Zweileiternetz und Brauchwarmwasserdurchlauferhitzer als konventionelles Referenzsystem (Kap. 5.2.8), System 8. Dieses System ist das konventionelle Referenzsystem, wobei bewusst der Gaskessel mit etwas höherem Wirkungsgrad und geringeren CO₂-äquivalent Emissionen verglichen mit einem Ölkessel gewählt wurde, um ein sehr günstiges Referenzsystem basierend auf fossilen Energieträgern zu wählen.

In den folgenden Tabellen werden die untenstehenden Abkürzungen für die betrachteten Systeme verwendet:

- | | |
|-----------------------|---|
| € PmS – System 8, | zentraler Pelletskessel mit Solaranlage |
| € PoS – System 8, | zentraler Pelletskessel ohne Solaranlage |
| € GmS – System 8, | zentraler Gaskessel mit Solaranlage |
| € GoS – System 8, | zentraler Gaskessel ohne Solaranlage |
| € SWP – System 6, | zentrale Solewärmepumpe mit dezentralen Brauchwarmwasserspeichern |
| € Luft oS - System 1, | Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral ohne Solaranlage |
| € Luft mS – System 1, | Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage |

Diese Systeme wurden mit jeweils drei verschiedenen Varianten jeweils für die beiden Referenzgebäude untersucht:

- ≠ **Standardvariante** mit dem in den Referenzgebäuden in Kap. 4.1 vorgegebenem Benutzerverhalten
- ≠ Zwei **Extremszenarien** mit
 - Randbedingungen für eine hohe Heizlast (hohe Raumtemperatur und Luftwechsel sowie ein Brauchwarmwasserbedarf mit höherer Temperatur) und geringe interne Gewinne
 - Randbedingungen für eine niedrige Heizlast (niedrigere Raumtemperatur, geringer Luftwechsel und Brauchwarmwasserbedarf) und hohe interne Gewinne
 wurden definiert, um auszuloten, wie flexibel die Systeme auf unterschiedliche Nutzeranforderungen reagieren
- ≠ Zwei **Winter - „Härtetests“**, die
 - eine Wiederaufheizung nach zweiwöchiger Absenkung (Urlaubssituation) und
 - eine Wiederaufheizung nach für vier Stunden geöffnetem Fenster simulieren und zeigen, wie die Systeme auf Nutzungsfehler reagieren.

Somit ergeben sich die folgenden Berechnungsvarianten

Tabelle 6-1: Darstellung aller Berechnungsvarianten

	Referenzgebäude 1 (3 Wohneinheiten)								Referenzgebäude 1 (12 Wohneinheiten)				
	Pellets System 1		Gas System 1		SWP Syst. 6	Luft Syst. 8		Pellets System 1		Gas System 1		SWP Syst. 6	
Szenario	oS	mS	oS	mS	oS	oS	mS	oS	mS	oS	mS	oS	
Standard	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Extrem 1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Extrem 2	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
14 Tage Urlaub	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Fenster offen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

oS: ohne Solaranlage

mS: mit Solaranlage

Im Folgenden werden die Ergebnisse dieser Simulationen dargestellt und analysiert.

Zur einfacheren Handhabung des Simulationsprogramms TRNSYS wurde eine Benutzeroberfläche geschaffen (siehe Abbildung 6-1)

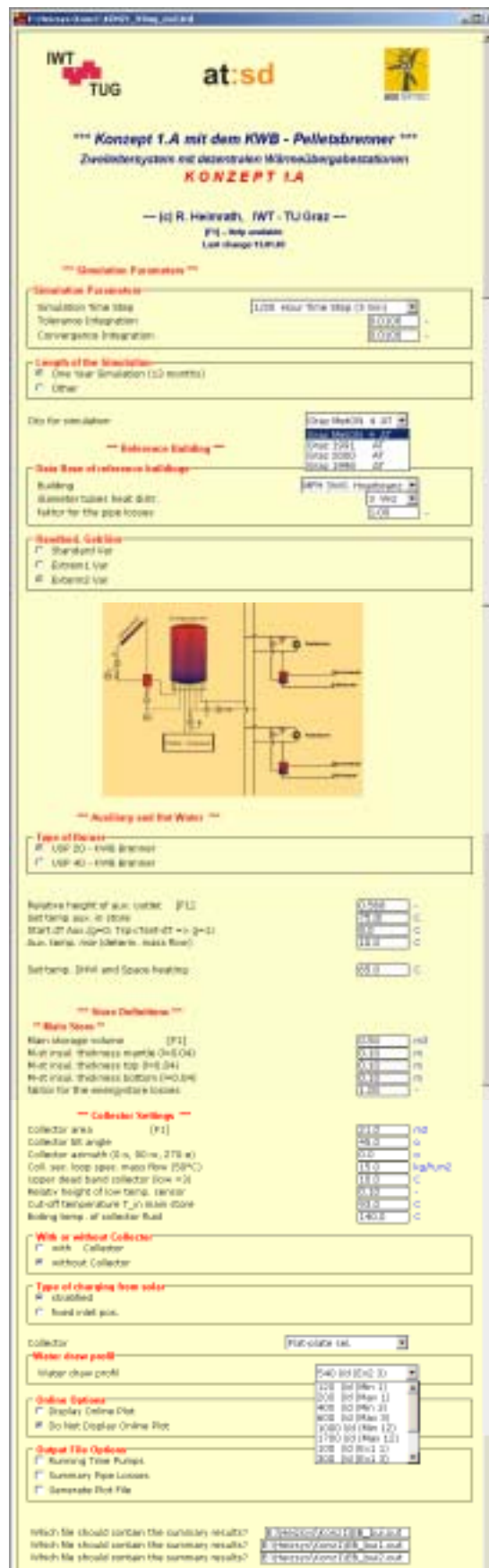


Abbildung 6-1: Benutzeroberfläche zur leichteren Bearbeitung der Eingabedaten für die TRNSYS-Simulation

6.1 Standardvariante

Die Standardvariante wird für alle 5 Systeme mit den folgenden Randbedingungen gerechnet:

- € Raumtemperatur: 22,5°C
- € Luftwechsel normal: 0,4 h⁻¹ (im Mittel)
- € Interne Lasten normal: 4 Personen pro WE, 9,6 kWh pro Tag Stromverbrauch (60 % hiervon wärmewirksam)
- € Warmwasserbedarf normal: 50 l/(d Person 45°C)

Tabelle 6-2 zeigt die für die Berechnung gewählte Dimensionierung der Wärmespeicher sowie Größe und Art der verwendeten thermischen Solaranlage. Der Anlagentyp 4 wurde hierbei nach Herstellerangaben gewählt. Für Anlagentyp 1 und 3 wurden die technischen Daten für die Wärmeerzeuger (Biomassekessel, Wärmepumpe) ebenfalls nach Herstellerangaben gewählt. Die restliche Anlagendimensionierung erfolgte nach Erfahrungswerten bzw. vorangegangenen Forschungsprojekten (z.B. Streicher et al. 2002, Könighofer et al. 2001).

Tabelle 6-2: Dimensionierung von Sonnenkollektoren und Wärmespeichern für alle Berechnungsvarianten

	Kollektorgröße [m ²]	Kollektortyp	Speichergröße zentral [m ³]	Speichergröße dezentral [m ³]
System 1 ohne Solar				
je Wohneinheit	-	-	-	0,19
System 1 mit Solar				
je Wohneinheit	7	Selektiv beschichteter Flachkollektor	-	0,4
System 6 und 8 ohne Solar				
Referenzgebäude 1	-		0,5 System 8	0,25 System 6
Referenzgebäude 2	-		0,9 System 8	0,25 System 6
System 8 solar				
Referenzgebäude 1	30	Selektiv beschichteter Flachkollektor	2	-
Referenzgebäude 2	70		3,5	-

6.1.1 Energiebilanz des Systems im Gebäude (Referenzgebäude 1)

Für jedes System werden alle Energielieferanten (Gas, Pellets, Solar etc.) sowie die Hilfsenergieverbräuche von Pumpen, Ventilatoren, Regelungen, Brenner etc. gelistet und die Betriebskosten erfasst. Dabei werden jeweils alle 4 Systeme für das gesamte Gebäude gegenübergestellt.

Abbildung 6-2 zeigt beispielhaft für das System 1 den in der Simulation berücksichtigten Energiefluss. Der umrandete Bereich stellt hierbei die Systemgrenze des Gebäudes dar. Ähnliche Energieflüsse wurden für die anderen Systeme aufgestellt. Bei diesem System gibt es folgende Energiequellen, die den Brauchwarmwasserbedarf und die Lüftungs- und Transmissionsverluste decken:

- € Wärmepumpenstrom (Stromaufnahme des Kompressors und des Zuluftventilators)
- € Wärmepumpe (Verdampfer) – Energie, die die Wärmepumpe am Verdampfer aus der Fortluft aufnimmt (enthält einen latenten und einen sensiblen Anteil)
- € Wärmerückgewinnung (WRG)
- € Ggf. aktive Solaranlage (für die Brauchwarmwassererwärmung)
- € Erdreichwärmetauscher (EWT)

- € E-Patronen (in der Zuluft und im Brauchwarmwasserspeicher)
- € Passive solare Gewinne
- € Interne Gewinne (durch Personen und Haushaltsstrom)

Die eingetragene Energie wird folgendermaßen genutzt:

- € Brauchwarmwasserverbrauch
- € Transmissions- und Infiltrationsverluste: Diese werden gedeckt durch die solaren und internen Gewinne und die Luftheizung (Zuluft wird wärmer als mit Raumtemperatur dem Raum zugeführt)
- € Reine Lüftungsverluste (ohne Infiltration): Der Großteil der Energie in der Abluft wird über die Wärmerückgewinnung (WRG) bzw. über den Verdampfer der Wärmepumpe wieder zurück gewonnen. Am Verdampfer kann aber nur im Winter Energie zurück gewonnen werden, da im Sommer die Lüftungsanlage nicht in Betrieb ist. Die für die Brauchwarmwasserbereitung notwendige Verdampfungsenergie wird im Sommer aus der Umgebungsluft gewonnen. Ebenso wird der latente Anteil der Verdampfungsenergie nicht zurück gewonnen, da er nicht über die Zuluft dem Raum zugeführt wurde sondern über latente interne Gewinne, die in den rein sensiblen internen Gewinnen in der Bilanz nicht enthalten sind.
- € Die Systemverluste sind zusammengesetzt aus den Anteilen Speicherverluste, Verluste der Zuluftleitung, im Sommer nicht nutzbare Abwärme des Kompressors und Fortluftverluste, da die Fortluft, über die Heizperiode gemittelt, mit leicht über der Außentemperatur liegender Temperatur abgegeben wird.

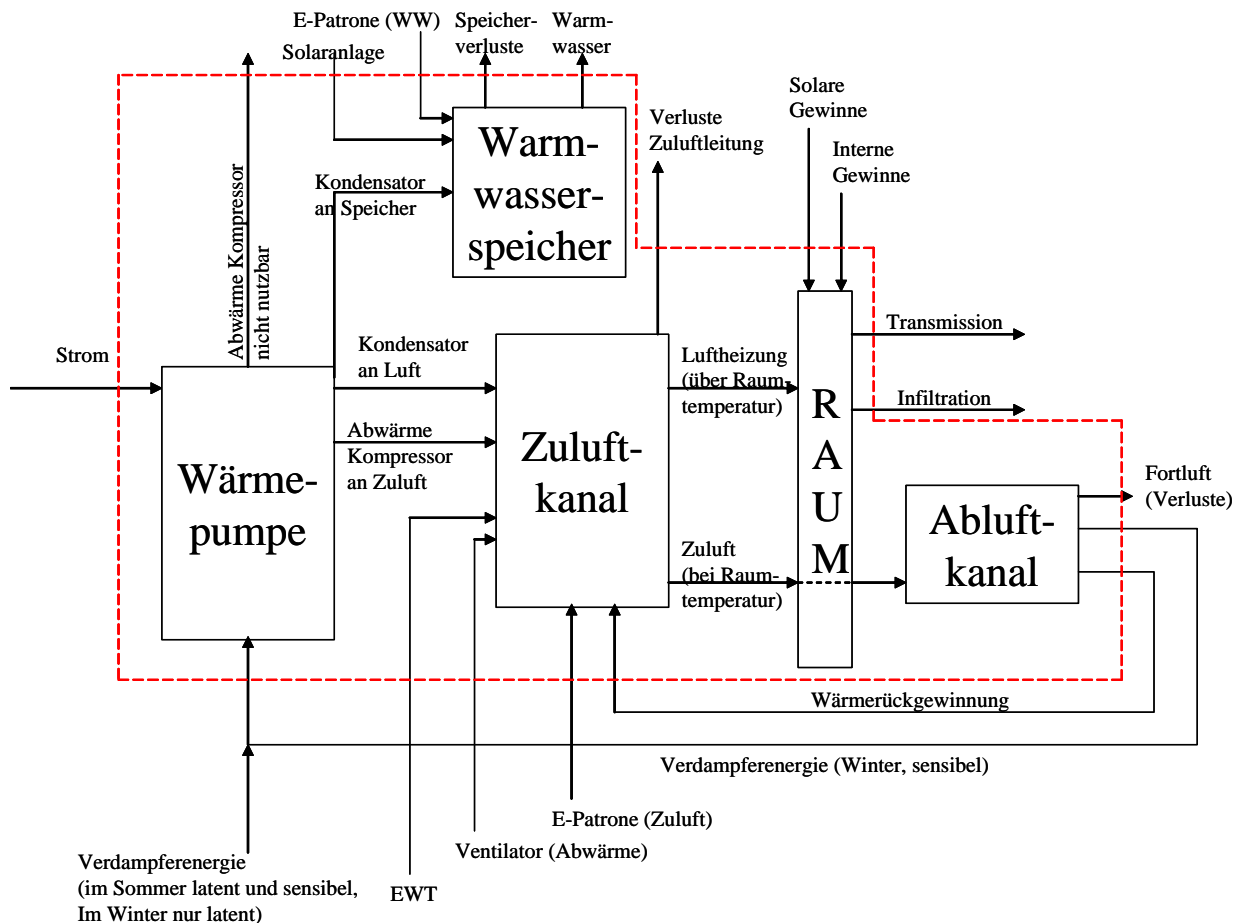


Abbildung 6-2: Energieflussbild für Kleinstwärmepumpe – Luftheizung – dezentral (Kap. 5.2.1), System 1

Das Flussdiagramm in Abbildung 6-2 zeigt, wie die verschiedenen Energieströme ineinander umgewandelt werden. Die Abwärme des Kompressors kommt in der Heizsaison der Zuluft zugute, im Sommer wird sie als Verlust in die Bilanz aufgenommen. In der Abbildung ist die Energie des Zuluftstromes in zwei Anteile aufgespalten: der Anteil von der Außenlufttemperatur zur Raumtemperatur und der Anteil über der Raumtemperatur. Der Anteil bis zur Raumlufttemperatur ist der reine Luftwechsel, der bis auf die Fortluftverluste durch WRG und Verdampfer wieder zurück gewonnen wird. Der Anteil über der Raumtemperatur ist die Luftheizung, die zusammen mit den internen und solaren Gewinnen die Transmissions- und Infiltrationsverluste deckt.

Tabelle 6-3 zeigt die Energiebilanz für die Standardvariante für das System 1 Pelletskessel – Wasserheizsystem – zentral für das Referenzgebäude 1 mit 30 m² Solaranlage. Der Energiebedarf stellt den Bedarf des Gebäudes an sich dar. Unter der Spalte Pellets-Wasser+ Solar+Strom Eintrag sind alle Energieflüsse in das System zusammengefasst. In der Spalte Pellets-Wasser + Solar Verbrauch sind die Abgaben der Systeme (sowohl an das Haus, wie die Verluste) aufgeführt. Die Wärmeverluste werden in wärmewirksam und nicht wärmewirksam unterschieden. Wärmewirksam wird der Teil der Wärmeverluste bezeichnet, welcher bei Heizbedarf im Gebäude anfällt.

Tabelle 6-3: Jahres-Energiebilanz, Standardvariante für das System 8 Pelletskessel – Wasserheizsystem – zentral Referenzgebäude 1 (Kap. 5.2.8) mit Solaranlage, 30 m²

	Energiebedarf	Wärme Eintrag durch Pellets-Wasser+ Solar+Strom	Pellets-Wasser + Solar Wärmeverbrauch
	kWh/a	kWh/a	kWh/a
Strombilanz			
Haustechnikstrom gesamt, nicht wärmewirksam, hiervon		1464	
Pumpe Solaranlage (120+31 W)		(277)	
Pumpe Wärmeverteilung (83 W)		(366)	
Pumpe Pelletskessel (65 W)		(287)	
Strom Pelletsk. (120 W + Zündung)		(535)	
Haushaltsstrom	10440		
Haushaltsstrom nicht wärmewirksam		6802	6802
Thermische Bilanz			
Pellets		29709	
Solaranlage		13150	
Interne Gewinne Summe, hiervon		6381	6381
Personen		(2743)	(2743)
Haushaltsstrom (wärmewirksam)		(3638)	(3638)
Solare Gewinne		5794	5794
Wärmeverluste (wärmewirksam)			3021
Radiatoren/Flächenheizung			13510
Brauchwarmwasser	8956		8956
Systemverluste (nicht wärmewirksam)			8898
Kesselverluste			8499
Transmission	14408		
Lüftung	14299		
Summe thermisch (ohne Strom)	37663	55034	55060
Summe gesamt	48103	63300	63325

Der Haustechnikstrom wird als nicht wärmewirksam für das Gebäude angenommen (die Wärme wird im Haustechnikraum, der nicht zur Wohnnutzfläche zählt und unbeheizt ist, abgegeben). Ein Teil der Wärmeverluste der Verteilleitungen wird als wärmewirksam für das Gebäude angesehen. Der

Heizwärmebedarf des gesamten Gebäudes beträgt 28707 kWh/a. Dieser Wert unterscheidet sich etwas vom Wert des reinen Referenzgebäudes, da hier systembedingte Raumtemperaturschwankungen auftreten. Auch die Summenwerte der Spalten der Bilanz stimmen nicht ganz exakt überein, da in der Simulation mit dem Programmpaket TRNSYS kleine Iterationsungenauigkeiten auftreten.

Der Haushaltsstrom macht fast ein Viertel des Wärmebedarfs aus. Er ist nur zu etwa einem Drittel wärmewirksam in der Heizperiode. Der Haustechnikstrom für die Heizungsanlage liegt bei 14 % des Haushaltsstroms. Die nicht wärmewirksamen Wärmeverluste liegen in der gleichen Größenordnung wie der Brauchwarmwasserbedarf.

Abbildung 6-3 schlüsselt die Wärmeverluste von Speicher, Rohrleitungen und Wärmetauscher desselben Heizungssystems, beginnend mit den Wärmeeinträgen von Kessel und Solaranlage in den Wärmespeicher, für die Heizperiode auf. Der Brauchwarmwasserbedarf ist hier auch nur für die Heizperiode angegeben. Die größten Wärmeverluste entstehen somit in der Wärmeverteilung im Gebäude. Nur ein Teil dieser Verluste kann während der Heizperiode genutzt werden. Dies zeigt, wie wichtig die hydraulische Verteilungsstrategie im Gebäude für den Energiebedarf ist.

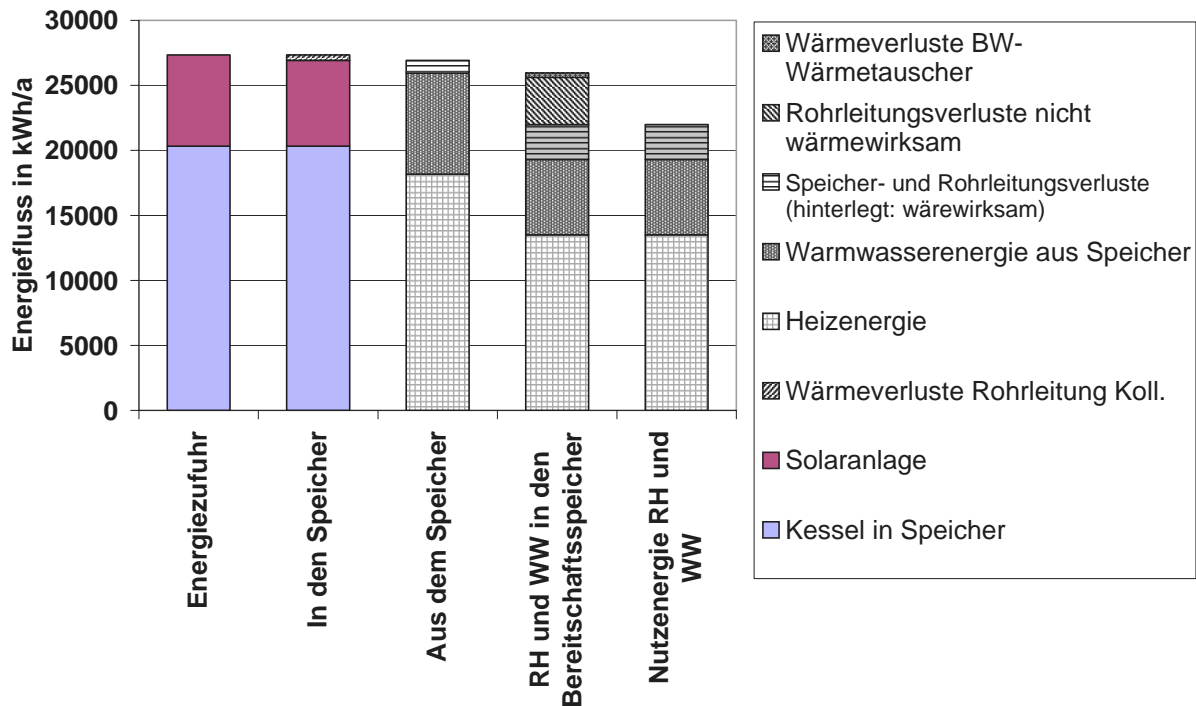


Abbildung 6-3: Energiebilanz für die Heizperiode, Standardvariante für das System 8 Pelletskessel – Wasserheizungssystem – zentral Referenzgebäude 1 (Kap. 5.2.8) mit Solaranlage, 30 m²

Abbildung 6-4 zeigt die spezifische Energiebilanz aller simulierten Systeme. Die Säule ganz links zeigt die Lasten, die durch das Heizsystem zu decken sind. Diese bestehen aus dem Brauchwarmwasserbedarf, den Lüftungsverlusten, die auch die Infiltrationsverluste enthalten, und den Transmissionsverlusten. Im Folgenden sind die Energiebilanzen der Systeme mit jeweils Energieeintrag und Energieverbrauch im Gebäude aufgeführt. Wärmerückgewinnung (WRG) und Erdreichwärmetauscher (EWT), die in gewissem Sinne die Lüftungsverluste reduzieren gehen wie aktive Systeme in die Bilanz ein. Sie tragen ihren Anteil dazu bei, die Lüftungsverluste des Gebäudes zu decken. Das heißt, dass die Lüftungsverluste auf der Eintragsseite mitbilanziert werden und auf der Lastseite des Gebäudes keine Änderung bewirken. Auf der anderen Seite wird die Energie der WRG direkt im Gebäude verwendet und scheint somit auch auf der Verbrauchsseite auf. Ebenso scheinen interne Gewinne und solare Gewinne sowohl auf der Eintrags- wie auf der Verbrauchsseite auf.

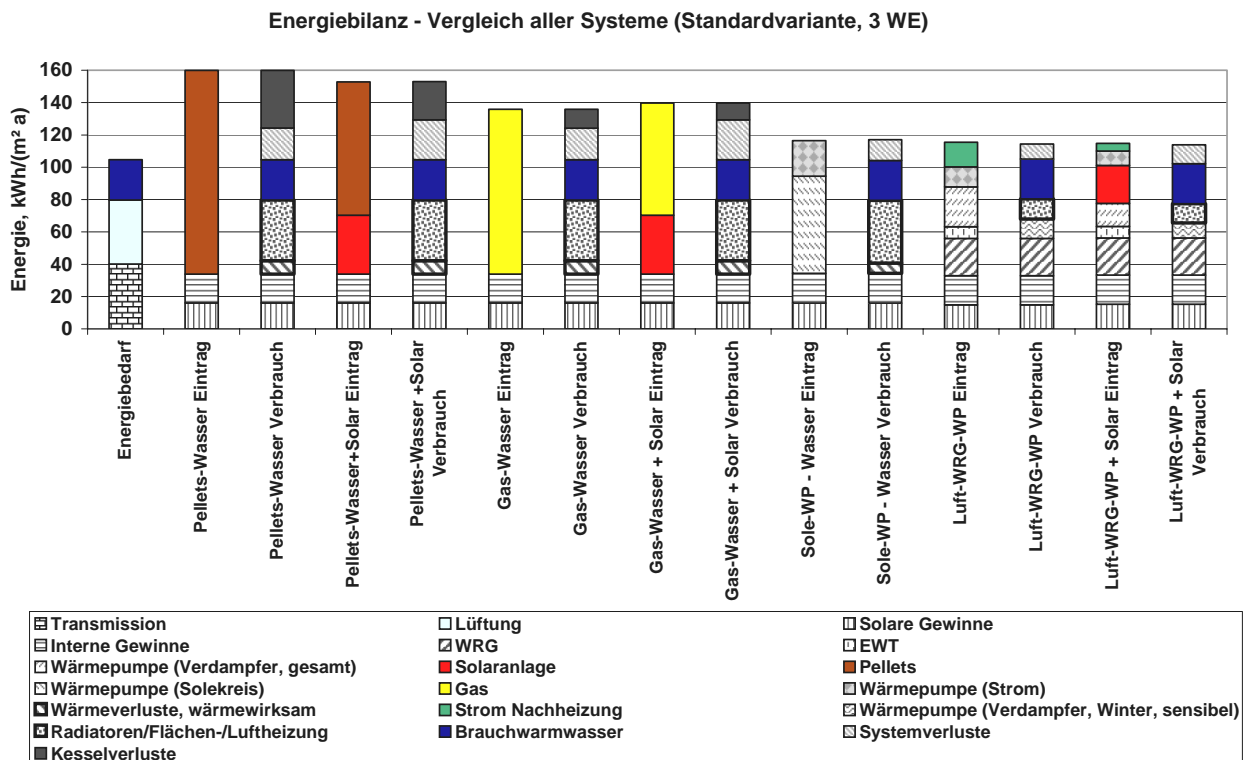


Abbildung 6-4: Energiebilanz aller simulierten Systeme (Standardvariante, Referenzgebäude 1, 3 WE) ohne Haustechnik- und Haushaltsstrom

Die Säulen der verschiedenen Systeme in Abbildung 6-4 sind nicht alle gleich hoch. Gründe dafür sind die unterschiedlichen System- und Wärmeerzeugerverluste, die zusätzlich zu den Lasten gedeckt werden müssen sowie die nicht vollständig gleichen Raumtemperaturen aufgrund der verschiedenen Charakteristiken der Wärmeabgabesysteme (Radiator, Fußbodenheizung, Luftheizung). Solaranlagen bewirken z.B. aufgrund höherer Speichertemperaturen höhere Systemverluste, demgegenüber sinken die Kesselverluste aufgrund der längeren Stillstandszeiten des Kessels im Sommer aufgrund der Solaranlage. Von den zentralen Systemen hat die Sole-Wärmepumpenanlage die geringsten Systemverluste, da das Wärmeverteilnetz außer beim Nachladen der dezentralen Speicher nur mit den niedrigen Heizungstemperaturen betrieben wird. Die beiden anderen zentralen Systeme mit der Erzeugung von Brauchwarmwasser im Durchlauferhitzerprinzip müssen dahingegen den Vorlauf des Wärmeverteilnetzes immer auf ca. 60°C halten. Der höhere Endenergiebedarf des Pellets-Kessels gegenüber dem Gaskessel ergibt sich aufgrund dessen geringeren Jahresnutzungsgrades von 72 % gegenüber 89 %. Die Sole-Wasser Wärmepumpe hat eine Jahresarbeitszahl von 3,41 (inklusive des Strombedarfs der Solepumpe). Das System Kleinstwärmepumpe – Luftheizung – dezentral hat ebenfalls geringe Systemverluste (hauptsächlich Wärmeverluste des Brauchwasserspeichers). Trotz der Abluftwärmerückgewinnung (WRG) und des Erdreichwärmetauschers (EWT) ist der Strombedarf des Gesamtsystems ohne Solaranlage etwas höher als beim Sole-System, da die Nachheizung im Brauchwasserspeicher und in der Zuluft elektrisch erfolgt und die Abwärme des Zuluftventilators vollständig als elektrische Nachheizung mitgerechnet wird. Mit Solaranlage wird dieser Strombedarf wesentlich kleiner. Dann hat das System den geringsten Energiebedarf aller untersuchten Systeme, obwohl die Jahresarbeitszahl der Luft-Luft(Wasser)-Wärmepumpe dann auf 3,05 sinkt. Die Solaranlage liefert nämlich dann Energie, wenn die Wärmepumpe auch mit hoher Leistungszahl betrieben würde.

Der spezifische Solarertrag der gewählten Solaranlagen liegt bei den zentralen Systemen bei ca. 440 kWh/(m²a) bezogen auf die Kollektorfläche, was durch die geringen Rücklauftemperaturen des Wärmeverteiler- und -abgabesystems erreicht wird. Der solare Deckungsgrad liegt bei 35 % [(Energie-Bedarf ohne Solaranlage minus Energie-Bedarf mit Solaranlage) dividiert durch (Energie-Bedarf ohne Solaranlage)] und ohne Berücksichtigung des Mehrstrombedarfs der Solaranlage). Beim dezentralen System Kleinstwärmepumpe – Luftheizung sinkt der spezifische Ertrag geringfügig auf 400 kWh/(m²a), da nur die Brauchwarmwasserzeugung von der Solaranlage bedient wird.

Vergleicht man die Systeme mit dem Passivhaus-Kriterium Gesamt-Endenergiebedarf unter 42 kWh/m²a (vgl. Kap. 1.1) und berücksichtigt man den mit 3,3 W/m² (29 kWh/(m²a)) eher hoch angenommenen Strombedarf, so erkennt man, dass nur die Wärmepumpensysteme (sowohl zentrale Sole WP mit einem Strombedarf von 22 kWh/(m²a) als auch die dezentrale Luft-WRG-WP mit einem Strombedarf von 27,5 kWh/(m²a) ohne und 13,7 kWh/(m²a) mit Solaranlage) dieses Kriterium bei einem geringeren Strombedarf für Haustechnik, Beleuchtung und Elektrogeräte erfüllen könnten. Die zentralen Pellets- und Gasvarianten liegen bei dem Endenergiebedarf rein für die Heizung auch bei Einbindung der hier angenommenen Solaranlage deutlich über diesem Kriterium.

Allerdings wird in diesem Bericht eine Raumtemperatur von 22,5°C gegenüber 20°C für die Passivhaus-Berechnungen angenommen.

6.1.2 Ökonomische Randbedingungen

Einleitung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde nach der dynamischen Annuitätenmethode nach VDI 2067:1999 durchgeführt. Diese Norm gilt unter anderem für die Berechnung der Kosten von Zentralheizungsanlagen. Es werden bei dieser Berechnungsmethode mehrere Kostengruppen unterschieden:

- € kapitalgebundene Kosten
- € verbrauchsgebundene Kosten
- € betriebsgebundene Kosten

Der Zweck dieser Berechnung ist, die Kosten von verschiedenen Wärmeversorgungsanlagen zu berechnen und den daraus resultierenden Preis für die gelieferte Wärme zu vergleichen. Der Wärmepreis ist wie folgt definiert:

$$WP = \frac{\text{Kapitalkosten} + \text{Betriebskosten} + \text{verbrauchsgebundene Kosten}}{Q_{\text{Nutz}}}$$

In den folgenden Tabellen werden die einzelnen Kostengruppen für die betrachteten Heizsysteme für beide Referenzgebäude dargestellt. In den letzten Tabellen (Tabelle 6-11 und Tabelle 6-12) steht der jeweilige Wärmepreis pro gelieferter kWh, der sowohl Investitionskosten als auch Betriebs- und verbrauchsgebundene Kosten des Heizsystems enthält.

In den Tabellen werden die folgenden Abkürzungen für die betrachteten Systeme verwendet:

- PmS – System 8, zentraler Pelletskessel mit Solaranlage
- PoS – System 8, zentraler Pelletskessel ohne Solaranlage
- GmS – System 8, zentraler Gaskessel mit Solaranlage
- GoS – System 8, zentraler Gaskessel ohne Solaranlage
- SWP – System 6, zentrale Solewärmepumpe mit dezentralen Brauchwarmwasserspeichern
- Luft mS – System 1, Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage
- Luft oS – System 1, Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral ohne Solaranlage

Im oberen Teil von Tabelle 6-4 und Tabelle 6-5 sind für jedes System die solaren Erträge (wenn vorhanden), die benötigte Nachheizenergie (Energiegehalt von Pellets, Gas, Strom) und der Warmwasser- und Heizwärmebedarf eingetragen. Die Werte wurden den Ausgabefiles der Simulation des jeweiligen Systems entnommen.

Investitionskosten

Die Investitionskosten in Tabelle 6-4 und Tabelle 6-5 beziehen sich auf folgende Komponenten inklusive Montagekosten exklusive Mehrwertsteuer ohne Berücksichtigung von Förderungen oder bei dachintegrierten Kollektoren Minderkosten für den Dachanteil, der durch die Kollektoren ersetzt wird:

- 1) Solaranlage:
 - a) Dachintegrierte Kollektoren
 - b) Verrohrung: Solarrohrleitungen, Pumpen, Wärmetauscher, Armaturen, Wärmeträgermedium, Ausdehnungsgefäß, Regelung
- 2) Verteilnetz
 - a) Vor- und Rücklaufleitungen des 2-Leiternetzes
 - b) Pumpen, Ventile, Armaturen, Regelung
- 3) Wohnung
 - a) Wärmeübergabestation
 - b) dezentrale Boiler mit Wärmetauscher
 - c) Heizkörper oder Fußbodenheizung
 - d) Rohrleitungen mit Armaturen in den Wohnungen
- 4) Wärmemessung: Erstausrüstung der Wärmezähler
- 5) Wärmeerzeuger
 - a) Anschlusskosten (Leitung geht direkt am Haus vorbei) bei Gaskesseln
 - b) Rauchfang für Heizkessel
 - c) Kessel bzw. Wärmepumpe, bei Pellets mit Pelletsförderanlage und Lagerraum, bei Solewärmepumpe mit Solekreis
- 6) Pufferspeicher bzw. Trinkwasserspeicher mit Isolierung

Die Investitionskosten für die Verteilnetze, Wärmeübergabestationen, dezentralen Boiler, Wärmemessung, Heizkörper, Solarkollektoren mit Verrohrung, Pufferspeicher mit Isolierung und die Anschlusskosten für Gaskessel wurden dem Haus der Zukunft Projekt ‚Solarunterstützte Wärmenetze‘ (Streicher et al. 2001) entnommen.

Für die Kosten für Fußbodenheizung wurde aufgrund von Angeboten von 5 Ein- und Mehrfamilienhäusern mit etwa 40 €/m² angesetzt. Abbildung 6-5 zeigt die vorhandenen Quellen für Kosten von Gaskesseln verschiedener Leistung. Die Daten stammen einerseits aus dem Projekt ‚Solarunterstützte Wärmenetze‘ (Streicher et al. 2001), andererseits aus Kaltschmitt et al. (2003) und aus einem vorliegenden Angebot für ein konkretes Bauvorhaben eines Passiv-Bürogebäudes (MIVA 2003). Die Kreise zeigen die interpolierten Kosten, die für die Kostenanalyse für die beiden Referenzgebäude verwendet wurden.

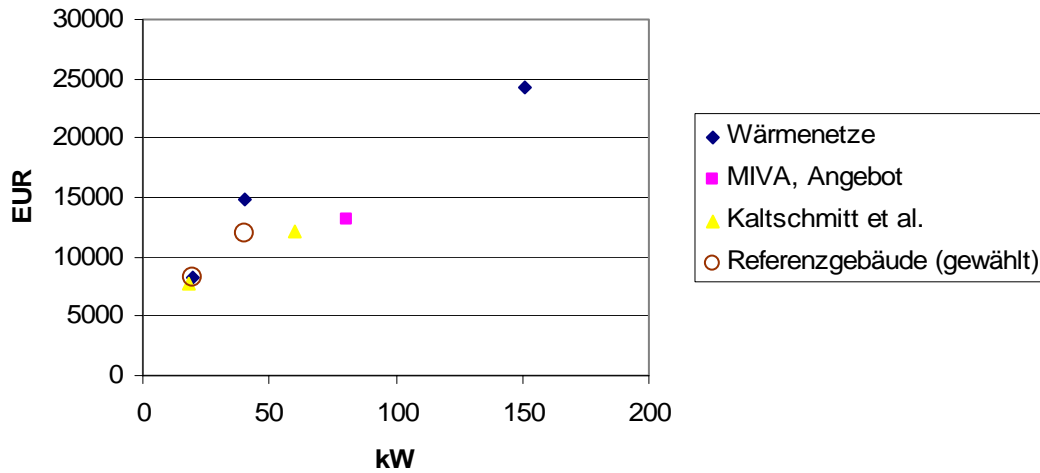


Abbildung 6-5: Investitionskosten für Gaskessel, Daten aus: Streicher et al. (2001), Kaltschmitt et al. (2003), MIVA (2003)

Bei den Pelletskesseln stand eine Marktübersicht der Energieverwertungsagentur (EVA 2002) zur Verfügung. Sie beinhaltet Kessel verschiedener Hersteller im Leistungsbereich zwischen 10 und 22 kW. Zusätzlich lag ein Angebot für zwei konkrete Bauprojekte vor (Zelger (2003) und Pettneu (2001)). Bei Neubarth, Kaltschmitt (2000) finden sich ebenfalls Investitionskosten für Pelletskessel. Eine Zusammenstellung der verschiedenen Quellen einschließlich der für die Referenzgebäude gewählten Kosten findet sich in Abbildung 6-6.

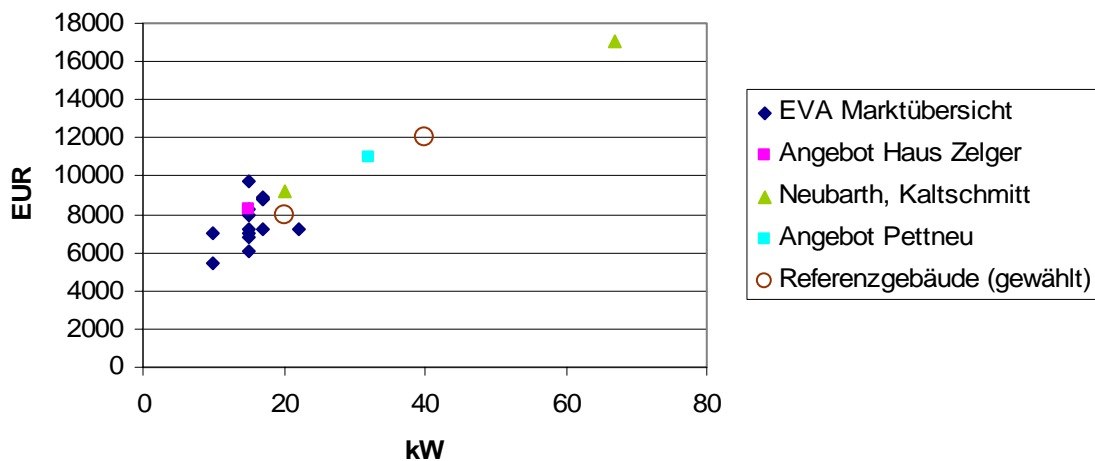


Abbildung 6-6: Investitionskosten für Pelletskessel, Daten aus: Neubarth, Kaltschmitt (2000), EVA (2002), Zelger (2003), Pettneu (2001)

Beim Pelletskessel müssen außerdem noch die Kosten für eine Förderungsanlage für Pellets berücksichtigt werden. Raumkosten für den Pelletslagerraum wurden allerdings nicht betrachtet. Hierfür standen Daten aus der EVA Marktübersicht und einem konkreten Angebot (Zelger 2003) zur Verfügung. Abbildung 6-7 zeigt diese Daten über der Kesselleistung und die Werte, die für die Referenzgebäude angenommen wurden.

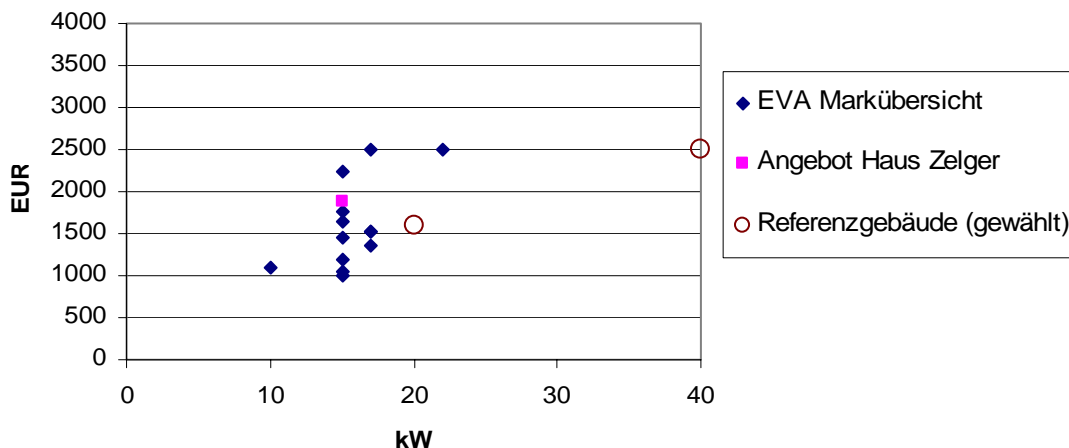


Abbildung 6-7: Investitionskosten für Pelletsförderanlage, Daten aus: EVA (2002), Zelger (2003)

Für Sole-Wärmepumpen standen Preislisten der Firmen Vaillant (2001) und Paul (2002) zur Verfügung, außerdem Angaben aus Kaltschmitt et al. (2003) und Angebote für ein Mehrfamilien- und ein Bürogebäude (Egg (1999) und MIVA (2003)). Montagekosten wurden nach den Angaben aus Kaltschmitt et al. (2003) für die anderen Preise hochgerechnet. Die verschiedenen Preise mit Montage zeigt Abbildung 6-8 in Abhängigkeit von der Geräteleistung. Die Kurve wird für höhere Geräteleistungen deutlich flacher. Auch hier sind die gewählten Preise für die Referenzgebäude eingezeichnet.

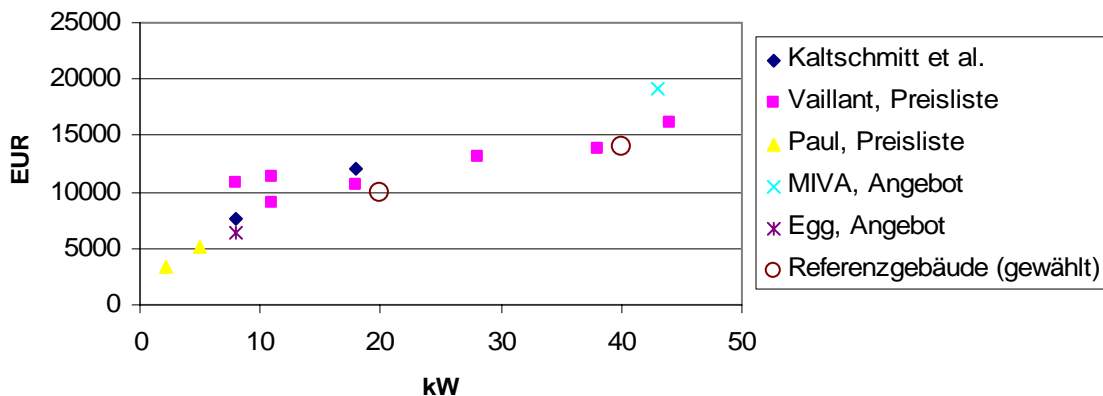


Abbildung 6-8: Investitionskosten Sole-Wärmepumpen mit Montage ohne Solekreis, Daten aus: Kaltschmitt et al. (2003), Vaillant (2001), Paul (2002), MIVA (2003) und Egg (1999)

Beim Solekreis wurde von einem Erd-Flachkollektor ausgegangen. Hierfür standen Angaben aus Kaltschmitt et al. (2003) und Angaben von einem Projektpartner (Firma Vaillant) zur Verfügung. Hierbei wurden von einer durchschnittlichen Wärmeleistung des Bodens von 25 W/m² ausgegangen. Abbildung 6-9 zeigt die Investitionskosten für den Solekreis einer Sole-Wärmepumpe in Abhängigkeit von der Wärmepumpenleistung. Für das Referenzgebäude 2 wurde davon ausgegangen, dass der Quadratmeterpreis durch die große Fläche etwas niedriger liegt als beim Referenzgebäude 1.

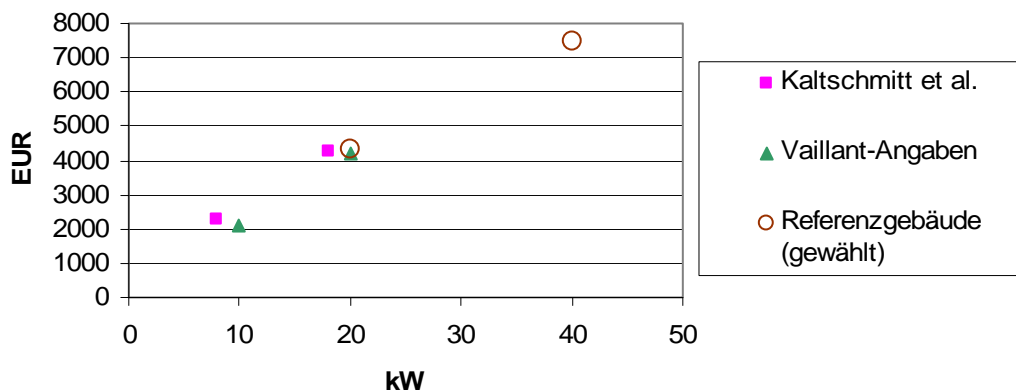


Abbildung 6-9: Investitionskosten Solekreis für einen Erd-Flachkollektor, Daten aus: Kaltschmitt et al. (2003)

Die Investitionskosten für einen Rauchfang wurden aus vorhandenen konkreten Angeboten abgeschätzt und von am Projekt teilnehmenden Firmen bestätigt.

Die Investitionskosten für die Lüftungsverrohrung, die Abluftwärmepumpe, den Erdreichwärmetauscher für die Lüftungsanlage und die Abluftwärmepumpe selbst wurde aus vorliegenden Angeboten (Egg (1999)) ermittelt und von den am Projekt teilnehmenden Firmen bestätigt. Eine Abschätzung von Kosten für Wärmepumpenheizungen findet sich auch bei Afjei (2000). Die in Tabelle 6-4 angegebenen Werte gelten jeweils für drei Geräte, da es sich hier um dezentrale Geräte handelt. Das heißt, es wird für jede Wohneinheit ein Gerät benötigt.

Beim Einsatz eines Luftheizungssystems ist im Gegensatz zu den wassergeführten Systemen bautechnisch die Forderung einer erhöhten Luftdichtheit ($n_{50} < 0,6$) zu erfüllen, da sonst ein unzulässig hoher Anteil des Luftwechsels an der Lüftungsanlage und damit an der Wärmerückgewinnung und der Luftnachheizung vorbei geführt wird. Um diese möglichen Mehrkosten für dieses Heizsystem zu erfassen, wurde unter mehreren österreichischen Experten, die anerkanntermaßen Erfahrung im Passivhausbau haben, eine telefonische Umfrage durchgeführt. Gefragt wurde nach den Mehrkosten für:

1. die Planung der Luftdichtheit eines Einfamilienhauses, um $n_{50} < 0,6$ zu erreichen
2. den erhöhten Bauaufsichtsaufwand, den ein Architekt oder Baumeister hat

Zusammengefasst kann das Ergebnis der Befragungen wie folgt dargestellt werden:

1. Planungsmehraufwand

Der Planungsmehraufwand beim Holzbau ist praktisch Null, da aus bauphysikalischer Sicht die Luftdichtheit sowieso nötig ist, um Feuchteschäden zu vermeiden. Beim Massivbau muss beim Einstieg als Planer in die Passivhaustechnologie bei den ersten Projekten mit einem Mehraufwand von bis zu maximal 30% gerechnet werden, nach einigen durchgeführten Projekten pendelt sich der Mehraufwand praktisch vernachlässigbaren Größenordnungen ein. Die konkreten Angaben der Experten lagen bei „ca. 2%“ bzw. einem Tag Planungsmehraufwand.

2. Bauaufsichtsmehraufwand

Der Bauaufsichtsmehraufwand beim Holzbau ist natürlich auch hier praktisch Null. Beim Massivbau muss ebenfalls unterschieden werden zwischen den ersten Projekten der Beteiligten und dem Routinefall. Beim Einstieg in die Passivhaustechnologie wurden Mehraufwände für die Bauaufsicht von „plus 15%“ für den Architekten bzw. „plus 150%“ für den Baupolier genannt. Für den Routinefall wurden keine Mehrkosten mehr nach rund 3 Projekten angegeben bzw. bis zu „plus 2%“ oder „ein Tag“.

Schlussfolgerung:

Da es im Rahmen dieser Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht sinnvoll erscheint, die „Einstiegsprobleme“ zu bewerten, bleiben letztendlich nur marginale Größenordnungen, die sich (wie auch mehrfach bei der Umfrage erwähnt) als Kosten für den Endkunden nicht gesondert niederschlagen.

Der Luftdichtheitstest ist letztendlich der einzige Kostenpunkt, der für das PH mit dem Luftheizsystem als durch das Heizsystem bedingte Mehrkosten in einer Höhe von 1000,- EUR inkl. Bauaufsichtsaufwand berücksichtigt wird.

Nachfolgend die wesentlichen Kommentare der Befragten zum Thema erhöhter Planungsaufwand (aus den Telefonprotokollen entnommen, daher nur inhaltlich und nicht wörtlich wiedergegeben!):

- € Bei der Planung ist es eine Frage des Bauprinzips, wenn man das richtige Konzept hat, dann ist hier auch kein Mehraufwand zur Planung der Luftdichtheit nötig. Im Holzbau ist der Unterschied sowieso nicht gegeben, da aus bauphysikalischer Sicht die Luftdichtheit sowieso nötig ist, um Feuchteschäden zu vermeiden.
- € Im Schnitt kann man beim PH mit erhöhten Planungskosten von ca. 2% rechnen.
- € Was ins Geld fällt, ist die Optimierung der Gebäudehülle in allen Feindetails, damit die Luft als Wärmeverteiler ausreicht, d.h. Wärmebrückenoptimierung, Fenstereinbau, Kellerabgang, Kamin (sofern vorhanden) etc.
- € Aus div. Gesprächen mit Architekten und Fachleuten aus der Branche ergibt sich für mich folgendes Bild: Der Planungsaufwand beim ersten Projekt um bis zu 20 bis 30% höher. Dabei muss natürlich auch berücksichtigt werden, dass bei diesem Mehraufwand ein gewisser Teil der normalen Weiterbildung inkludiert ist. Spätestens beim zwanzigsten Projekt ist der Mehraufwand dann gleich Null, da spätestens dann alle Details entwickelt und aufbereitet sind und wie jedes andere Detail nach Bedarf eingeplant werden.
- € Bei der Planung entwickelt sich besonders mit steigendem Vorfertigungsgrad sowieso immer mehr die Notwendigkeit die Details im Büro statt auf der Baustelle (wie früher üblich) zu lösen. Für das PH schätze ich bei meinen Häusern ca. einen Tag Planungsmehraufwand. Dies ist im Allgemeinen aber extrem abhängig vom prinzipiellen Gebäudekonzept und der Einfachheit (oder eben auch nicht!) der Detaillösungen.

Nachfolgend die wesentlichen Kommentare der Befragten zum Thema erhöhter Bauaufsichtsaufwand (aus den Telefonprotokollen entnommen, daher nur inhaltlich und nicht wörtlich wiedergegeben!):

- € Der Bauaufsichtsmehraufwand für uns ist inzwischen gleich Null, da wir nur mit Firmen arbeiten, die dies inzwischen im Griff haben. Der Luftdichtheitstest ist für uns in der Regel in einer halben Stunde erledigt, sofern das Ergebnis in Ordnung ist. Auch hier gilt, dass im Holzbau sowieso kein Unterschied besteht. Wenn man mit Firmen arbeitet, die noch keine Erfahrung im luftdichten Bauen haben, dann schätze ich den Bauaufsichtsmehraufwand auf ca. +15% ein.
- € Mit durchschnittlich ca. 2% höheren Kosten bei der Bauaufsicht sollte das Auslangen zu finden sein, dies hängt natürlich sehr stark davon ab, wie das Gebäude aussieht und ob es Probleme gibt oder nicht.
- € Wir hatten beim ersten PH einen nachgerechneten, rund 2,5-fachen Aufwand durch den Baupolier im Vergleich zu einem Standardhaus. Ab dem dritten Projekt hat sich dieser Posten dann wieder dem Standardwert angenähert. Sowohl im Holzbau, als auch im Massivbau waren ab dem 3. Projekt keine signifikanten Mehrkosten mehr zu verzeichnen. Einfach gesagt, die Kosten des Kamins eingespart ergibt mit Sicherheit die Mehrkosten der Luftdichtheit.
- € Bei der Bauaufsicht bleibt natürlich ein gewisser Mehraufwand, aber auch hier habe ich die konkrete Äußerung bekommen, dass es beim PH halt jetzt soweit ist, dass die Dinge, die eigentlich schon lange in Normen und Richtlinien stehen, auch umgesetzt werden müssen.

- € In der Praxis schreibt der Architekt eine Luftdichtheitsprüfung vor, bei der er anwesend sein muss, dann gibt es evtl. ein Suchen von Fehlstellen und den Akt schreiben, in Summe erhöht das den Aufwand für die Bauaufsicht in der Regel vielleicht um einen Tag.

Tabelle 6-4: Eckdaten und Investitionskosten für das Referenzgebäude 1

		3 WE (120 m ² pro WE)							
		PmS	PoS	GmS	GoS	SWP	Luft mS	Luft oS	
Eckdaten:	Bruttofläche Solar	30	0	30	0	0	21	0	m ²
	Solar Ertrag	13150	0	13120	0	0	8463	0	kWh/a
	Nachheizenergie	29709	45373	24983	36700	7920	4916	9895	kWh/a
	Solarer Deckungsgrad	30,7%		34,4%			95,1%		
		Hzg. + WW		Hzg. + WW		nur WW			
	Raumwärmebedarf	16531	16512	16541	16508	16240	17304	17501	kWh/a
	Warmwasserbedarf	8956	8956	8956	8956	8913	8900	8859	kWh/a
	Summe Wärmebedarf (ohne Verteilverluste)	25487	25468	25497	25464	25153	26204	26360	kWh/a
	Energieform für Zusatzenergie:	Pellets	Pellets	Gas	Gas	WP	WP	WP	
Solaranlage:	Solar Kollektor	7650		7650			5355		EUR
	Solar Verrohrung	3000		3000			4500		EUR
	Investitionskosten Solaranlage	10.650	0	10.650	0	0	9.855	0	EUR
Verteilnetz:	Heizung (VL, RL)	1380	1380	1380	1380	1380			EUR
	Pumpen/Ventile/Armaturen/Regelung	2650	2650	2650	2650	2940			EUR
	Investitionskosten Verteilnetz	4.030	4.030	4.030	4.030	4.320			EUR
Wohnungen:	Wärmeübergabestation dezentrale Boiler inkl. WT	3780	3780	3780	3780				EUR
	Heizkörper/Fussbodenheizung	3640	3640	3640	3640	6440			EUR
	Rohrleitung in den Wohnungen	3400	3400	3400	3400	14400			EUR
	Investitionskosten Wohnungen	10.820	10.820	10.820	10.820	20.840	1.000	1.000	EUR
	Investitionskosten Lüftungsanlage						4.800	4.800	EUR
	Investitionskosten EWT						3.700	3.700	EUR
	Planungsmehraufwand für Passivhäuser						1.000	1.000	EUR
Wärmemessung:	Erstausrüstung der Wärmezähler	794	794	794	794	794	0	0	EUR
	Investitionskosten Wärmemessung:	794	794	794	794	794	0	0	EUR
Wärmeerzeuger:	Anschlusskosten (Leitung geht direkt am Wohnhaus vorbei)	0	0	3600	3600	0			EUR
	Investitionskosten Rauchfang	2000	2000	2000	2000	0			EUR
	Investitionskosten Kessel bei Gaskessel kein Brennwertgerät altern. Wärmeübergabestation, Hydraulik, Montage und Inbetriebnahme	9600	9600	8300	8300	0			EUR
	Investitionskosten Kessel	11.600	11.600	13.900	13.900	0	0	0	EUR
	Investitionskosten Wärmepumpe					10.000	23.700	23.700	EUR
	Investitionskosten Solekreis					4.300			EUR
Pufferspeicher	Investitionskosten Pufferspeicher	2.500	1.000	2.500	1.000	0	9.000	8.400	EUR
	Gesamtinvestitionskosten	40.394	28.244	42.694	30.544	40.254	53.055	42.600	EUR

Tabelle 6-5: Eckdaten und Investitionskosten für das Referenzgebäude 2

		12 WE (77.5 m ² pro WE)					
		PmS	PoS	GmS	GoS	SWP	
Eckdaten:	Bruttofläche Solar	70	0	70	0	0	m ²
	Solar Ertrag	29950	0	29830			kWh/a
	Nachheizenergie	71182	105055	58799	88608	23110	kWh/a
	Solarer Deckungsgrad bezogen auf	29,6% Hzg. + WW		33,7% Hzg. + WW			
	Raumwärmebedarf	39799	39837	39790	39841	40030	kWh/a
	Warmwasserbedarf	25370	25370	25370	25370	25240	kWh/a
	Summe Wärmebedarf (ohne Verteilverluste)	65169	65207	65160	65211	65270	kWh/a
	Energieform für Zusatzenergie:	Pellets	Pellets	Gas	Gas	WP	
Solaranlage:	Solar Kollektor	16800	0	16800	0	0	EUR
	Solar Verrohrung	6000	0	6000	0	0	EUR
	Investitionskosten Solaranlage	22.800	0	22.800	0	0	EUR
Verteilnetz:	Heizung (VL, RL)	1810	1810	1810	1810	1810	EUR
	Pumpen/Ventile/Armaturen/Regelung	3546	3546	3546	3546	5180	EUR
	Investitionskosten Verteilnetz	5.356	5.356	5.356	5.356	6.990	EUR
Wohnungen:	Wärmeübergabestation dezentrale Boiler inkl. WT	14767	14767	14767	14767	25760	EUR
	Heizkörper/Fussbodenheizung	12598	12598	12598	12598	37200	EUR
	Rohrleitung in den Wohnungen	5764	5764	5764	5764	0	EUR
	Investitionskosten Wohnungen	33.129	33.129	33.129	33.129	62.960	EUR
	Investitionskosten Lüftungsverrohrung						EUR
	Investitionskosten EWT						EUR
	Planungsmehraufwand für Passivhäuser						EUR
Wärmemessung:	Erstausrüstung der Wärmezähler	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	EUR
	Investitionskosten Wärmemessung:	3.050	3.050	3.050	3.050	3.050	EUR
Wärmeerzeuger:	Anschlusskosten (Leitung geht direkt am Wohnhaus vorbei)	0	0	3600	3600	0	EUR
	Investitionskosten Rauchfang	3000	3000	3000	3000	0	EUR
	Investitionskosten Kessel bei Gaskessel kein Brennwertgerät altern. Wärmeübergabestation, Hydraulik, Montage und Inbetriebnahme	14500	14500	12000	12000	0	EUR
	Investitionskosten Kessel	17.500	17.500	18.600	18.600	0	EUR
	Investitionskosten Wärmepumpe					14.000	EUR
	Investitionskosten Solekreis					7.500	EUR
Pufferspeicher	Investitionskosten Pufferspeicher	3.500	1.200	3.500	1.200	0	EUR
	Gesamtinvestitionskosten	85.336	60.236	86.436	61.336	94.500	EUR

Annuitätenfaktoren und Kapitalkosten

Für die Bestimmung der Kapitalkosten sind zunächst die allgemeinen Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeitsberechnung detailliert zu erfassen und festzulegen. Es wird von einer realen - also um die Inflationsrate bereinigten – Diskontrate i in Höhe von 4,5 % ausgegangen (entspricht der über 35 Jahre gemittelten Diskontrate in Österreich (ÖNB, 2000)).

Da einige Kostenpunkte aus mehreren Komponenten mit unterschiedlichen Investitionskosten und unterschiedlichen Nutzungsdauern zusammengesetzt sind, wird eine gewichtete Nutzungsdauer berechnet. Mit dieser gewichteten Nutzungsdauer wird dann wiederum der gewichtete Annuitätenfaktor berechnet.

$$\text{gewichtete Nutzungsdauer} = \frac{\text{InvestKostenKomp1} * \text{LebensdauerKomp1} + \text{InvestKostenKomp2} * \text{LebensdauerKomp2} + \dots}{\text{Summe der InvesKosten aller Komponenten}}$$

$$\text{gewichteter Annuitätenfaktor} = \frac{(12 i)^{\text{gewichtete Nutzungsdauer}} * i}{(12 i)^{\text{gewichtete Nutzungsdauer}} - 1}$$

i.....realer Zinssatz

Mit diesem gewichteten Annuitätenfaktor werden dann die jährlichen Kapitalkosten der verschiedenen Komponenten berechnet.

In Tabelle 6-6 ist die jeweilige Nutzungsdauer für die verschiedenen Komponenten sowie der daraus resultierende Annuitätenfaktor dargestellt.

Als nächster Schritt werden die Kapitalkosten aus den Investitionskosten mithilfe der jeweiligen Annuitätenfaktoren der jeweiligen Kostengruppe berechnet (siehe Tabelle 6-8 und Tabelle 6-9).

Tabelle 6-6: Nutzungsdauern und Annuitätenfaktoren für die verschiedenen betrachteten Systeme

Allgemeine Parameter	3 WE							12 WE				
	Pellets m.S.	Pellets o.S.	Gas m.S.	Gas o.S.	Sole-WP	Luft m.S.	Luft o.S.	Pellets m.S.	Pellets o.S.	Gas m.S.	Gas o.S.	Sole-WP
realer Zinssatz (kalk Zinssatz) ir	4,5% Über 35 Jahre gemittelter Diskontsatz in Österreich /ÖNB 2000/											
Nutzungsdauer Solaranlage:												
Kollektor	20	VDI 2066 (Koll, Regelung)										
Verrohrung	30	VDI 2066 (Verrohrung, Kleinmaterial, Armaturen)										
gewichtete Nutzungsdauer Solaranlage	22,82		22,82			24,57		22,63	0,00	22,63	0,00	0,00
gewichtete Annuitätenfaktor	0,071		0,071			0,068		0,071	0,000	0,071	0,000	0,000
Nutzungsdauer Verteilnetz:												
Heizung (VL, RL)	40	VDI 2067										
Pumpen/Ventile/Armaturen/Regelung	15	VDI 2067										
gewichtete Nutzungsdauer Verteilnetz	23,56	23,56	23,56	23,56	22,99			23,45	23,45	23,45	23,45	21,47
gewichtete Annuitätenfaktor	0,070	0,070	0,070	0,070	0,071			0,070	0,070	0,070	0,070	0,074
Nutzungsdauer Wohnungskomponenten:												
Wärmeübergabestation	20	VDI 2067										
dezentrale Boiler inkl. WT	15	VDI 2067										
Heizkörper/Fußbodenheizung	20	VDI 2067										
Rohrleitung in den Wohnungen	30	VDI 2067										
gewichtete Nutzungsdauer Wohnungskomponenten:	23,14	23,14	23,14	23,14	18,45			21,74	21,74	21,74	21,74	17,95
gewichtete Annuitätenfaktor	0,070	0,070	0,070	0,070	0,081			0,073	0,073	0,073	0,073	0,082
Nutzungsdauer Wärmeübergabe:												
Wärmeübergabekomponenten	15	VDI 2067			18							
Annuitätenfaktor	0,093				0,082							
Nutzungsdauer Wärmemessgeräte:												
Wärmemessgeräte	25	VDI 2067			20							
Annuitätenfaktor	0,067				0,077							
Nutzungsdauer Kessel:												
Kessel	15	VDI 2067										
Annuitätenfaktor	0,093											
Nutzungsdauer Pufferspeicher:												
Pufferspeicher	25	VDI 2067										
Annuitätenfaktor	0,067											
Nutzungsdauer Wärmepumpe:												
Wärmepumpe	VDI 2067											
Annuitätenfaktor												
Nutzungsdauer Solekreis:												
Solekreis	VDI 2067											
Annuitätenfaktor												
Nutzungsdauer Lüftungsanlagen:												
Lüftungsanlagen	15	RAVEL										
Annuitätenfaktor	0,093											
Planungsmehraufwand:												
Nutzungsdauer Gebäude	50	VDI 2067										
Annuitätenfaktor	0,051											

Betriebsgebundene Kosten

Die betriebsgebundenen Kosten bestehen aus Wartung und Instandhaltung der einzelnen Komponenten sowie Rauchfangkehrerkosten. Die Kosten für Wartung und Instandhaltung sind nach VDI 2067:1999 und einem Leitfaden vom Schweizer Bundesamt für Konjunkturfragen (Müller und

Walter, 1992) als Anteil zwischen 1 und 3,5% (je nach Art der Komponente) der Investitionskosten veranschlagt worden. Die Rauchfangkehrerkosten sind aus (Streicher et al. (2001)). Die betriebsgebundenen Kosten für die einzelnen Komponenten sind in Tabelle 6-8 und Tabelle 6-9 aufgelistet.

Kosten der Heizkostenabrechnung

Bei zentralen Systemen mit 2-Leiter Netz müssen außerdem noch Kosten für die Wärmemessung, d.h. für die Aufteilung der Heizkosten auf die einzelnen Wohneinheiten berücksichtigt werden.

Tabelle 6-7: Kosten Wärmeabrechnung

Heizkostenabrechnung 2 Leiternetz, Ermittlung des Energiebedarfs mittels WMZ			
		3 WE	12 WE
Leistung	kW	20,00	40,00
Anzahl der Wohneinheiten		3,00	12,00
Nutzfläche	m ²	360,00	930,00
Erstausrüstung:			
Wärmemengenzähler (Aufputz)	Preis pro Stück	160	160
Einbauset	Preis pro Stück	17	17
Beglaubigungsgebühr	Preis pro Stück	54	54
Kosten für die WMZ	Preis pro Haus	697	2.789
Weg und Fahrzeitpauschale (1 Einheit)	einmalige Gebühr	42	42
WMZ - Zählereinbau	Preis pro Stück	18	18
Kosten für WMZ - Einbau	Preis pro Haus	55	219
Gesamtkosten der Erstausrüstung für Heizkostenermittlung		794	3.050
Abrechnungskosten			
Grundgebühr pro Gebäude	Preis pro Jahr und Haus	21	21
Grundgebühr pro Wärmeabnehmer	Preis pro Stück	3	3
Wärmemengenzähler	Preis pro Stück	7	7
Energieermittlung und Trennung des Warmwasseranteils	Preis pro Jahr und Haus	16	16
Weg und Fahrzeitpauschale (1 Einheit)	Preis pro Jahr und Haus	42	42
Anlage- und Versandkosten	Preis pro Jahr und Haus	5	5
Zwischensumme		114	204
Geräte Erneuerungs- und Eichpauschale	Preis pro Stück	44	44
Abrechnungskosten gesamt		246	731
Abrechnungskosten pro Wohnung und Jahr		82	61

In der Tabelle 6-7 sind die Wärmeabrechnungskosten für ein 2-Leiter Netz und die Kosten für die Erstausrüstung der notwendigen Komponenten angeführt. Bei 2-Leiter Netzen benötigt man einen Wärmemengenzähler pro Wohneinheit für die Erfassung von Heiz- und Warmwasserenergiebedarf.

Die Kosten für die Wärmemessung bestehen aus einem Investitionsanteil und den jährlichen Abrechnungskosten. Sie sind in Tabelle 6-8 und Tabelle 6-9 angeführt.

Tabelle 6-8: Betriebsgebundene und Kapitalkosten für das Referenzgebäude 1

		3 WE (120 m ² pro WE)							
		PmS	PoS	GmS	GoS	SWP	Luft mS	Luft oS	
Betriebsgebundene	Investitionskosten Solaranlage	10650	0	10650	0	0	9855	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung Solar	2	2	2	2	2	2	2	%
Kosten	Wartung, Instandhaltung Solar	213	0	213	0	0	197	0	EUR/a
	Kapitalkosten Solar	756	0	756	0	0	671	0	EUR/a
Kapitalkosten									
	Investitionskosten Verteilnetz	4030	4030	4030	4030	4320	0	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung	2	2	2	2	2			%
	Wartung, Instandhaltung Verteilnetz	81	81	81	81	86			EUR/a
	Kapitalkosten Verteilnetz	281	281	281	281	305			EUR/a
	Investitionskosten Wohnungskomponenten	10820	10820	10820	10820	20840	1000	1000	EUR
	Wartung, Instandhaltung	2	2	2	2	2	2	2	%
	Wartung, Instandhaltung Wohnungskomponenten	216	216	216	216	417	20	20	EUR/a
	Kapitalkosten Wohnungskomponenten	762	762	762	762	1.686	0	0	EUR/a
	Investitionskosten Lüftungsanlage mit EWT	0	0	0	0	0	8500	8500	EUR
	Wartung, Instandhaltung	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	%
	Wartung, Instandhaltung Lüftungsanlage	0	0	0	0	0	298	298	EUR/a
	Kapitalkosten Lüftungsanlage	0	0	0	0	0	791	791	EUR/a
	Investitionskosten Wärmemessung	794	794	794	794	794	0	0	EUR
	Kapitalkosten Wärmemessung	54	54	54	54	54			EUR/a
	Abrechnungskosten	246	246	246	246	246			EUR/a
	Investitionskosten Planungsmehraufwand	0	0	0	0	0	1000	1000	EUR
	Kapitalkosten Planungsmehraufwand	0	0	0	0	0	51	51	EUR/a
	Investitionskosten Kessel	9600	9600	8300	8300	0	0	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung	1	1	1	1	1	1	1	%
	Wartung, Instandhaltung	96	96	83	83	0	0	0	EUR/a
	Rauchfangkehrer	117	117	117	117	0	0	0	EUR/a
	Kapitalkosten Kessel	894	894	773	773	0	0	0	EUR/a
	Investitionskosten Wärmepumpe	0	0	0	0	10000	23700	23700	EUR
	Wartung, Instandhaltung	3	3	3	3	3	3	3	%
	Wartung, Instandhaltung	0	0	0	0	300	711	711	EUR/a
	Kapitalkosten Wärmepumpe	0	0	0	0	822	1.949	1.949	EUR/a
	Investitionskosten Solekreis	0	0	0	0	4300	0	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	%
	Wartung, Instandhaltung	0	0	0	0	22	0	0	EUR/a
	Kapitalkosten Solekreis	0	0	0	0	331	0	0	EUR/a
	Investitionskosten Pufferspeicher	2500	1000	2500	1000	0	9000	8400	EUR
	Wartung, Instandhaltung	2	2	2	2	2	2	2	%
	Wartung, Instandhaltung Pufferspeicher	50	20	50	20	0	180	168	EUR/a
	Kapitalkosten Pufferspeicher	169	67	169	67	0	607	566	EUR/a
	Summe Kapitalkosten	2.915	2.058	2.794	1.937	3.198	4.069	3.358	EUR/a
	Summe betriebsgebundene Kosten	1.019	776	1.006	763	1.071	1405,6	1196,5	EUR/a

Tabelle 6-9: Betriebsgebundene und Kapitalkosten für das Referenzgebäude 2

		12 WE (77.5 m ² pro WE)					
		PmS	PoS	GmS	GoS	SWP	
Betriebsgebundene Kosten	Investitionskosten Solaranlage	22800	0	22800	0	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung Solar	2		2	2	2	%
Kapitalkosten	Wartung, Instandhaltung Solar	456	0	456	0	0	EUR/a
	Kapitalkosten Solar	1.627	0	1.627	0	0	EUR/a
	Investitionskosten Verteilnetz	5356	5356	5356	5356	6990	EUR
	Wartung, Instandhaltung	2	2	2	2	2	%
	Wartung, Instandhaltung Verteilnetz	107	107	107	107	140	EUR/a
	Kapitalkosten Verteilnetz	374	374	374	374	514	EUR/a
	Investitionskosten Wohnungscomponenten	33129	33129	33129	33129	62960	EUR
	Wartung, Instandhaltung	2	2	2	2	2	%
	Wartung, Instandhaltung Wohnungscomponenten	663	663	663	663	1.259	EUR/a
	Kapitalkosten Wohnungscomponenten	2.420	2.420	2.420	2.420	5.186	EUR/a
	Investitionskosten Lüftungsanlage mit EWT	0	0	0	0	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	%
	Wartungs, Instandhaltung Lüftungsanlage	0	0	0	0	0	EUR/a
	Kapitalkosten Lüftungsanlage	0	0	0	0	0	EUR/a
	Investitionskosten Wärmemessung	3050	3050	3050	3050	3050	EUR
	Kapitalkosten Wärmemessung	206	206	206	206	206	EUR/a
	Abrechnungskosten	731	731	731	731	731	EUR/a
	Investitionskosten Planungsmehraufwand	0	0	0	0	0	EUR
	Kapitalkosten Planungsmehraufwand	0	0	0	0	0	EUR/a
	Investitionskosten Kessel	17500	17500	18600	18600	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung	1	1	1	1	1	%
	Wartung, Instandhaltung	175	175	186	186	0	EUR/a
	Rauchfangkehrer	117	117	117	117	0	EUR/a
	Kapitalkosten Kessel	1.629	1.629	1.732	1.732	0	EUR/a
	Investitionskosten Wärmepumpe	0	0	0	0	14000	EUR
	Wartung, Instandhaltung	3	3	3	3	3	%
	Wartung, Instandhaltung	0	0	0	0	420	EUR/a
	Kapitalkosten Wärmepumpe	0	0	0	0	1.151	EUR/a
	Investitionskosten Solekreis	0	0	0	0	7500	EUR
	Wartung, Instandhaltung	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	%
	Wartung, Instandhaltung	0	0	0	0	38	EUR/a
	Kapitalkosten Solekreis	0	0	0	0	577	EUR/a
	Investitionskosten Pufferspeicher	3500	1200	3500	1200	0	EUR
	Wartung, Instandhaltung	2	2	2	2	2	%
	Wartung, Instandhaltung Pufferspeicher	70	24	70	24	0	EUR/a
	Kapitalkosten Pufferspeicher	236	81	236	81	0	EUR/a
	Summe Kapitalkosten	6.493	4.711	6.595	4.813	7.634	EUR/a
	Summe betriebsgebundene Kosten	2.319	1.817	2.330	1.828	2.587	EUR/a

Verbrauchsgebundene Kosten

Die dritte Komponente der Kosten eines Heizungssystems sind die verbrauchsgebundenen Kosten. Sie liegen bei Niedrigenergie- und Passivhäusern deutlich unter den verbrauchsgebundenen Kosten von Standardwohngebäuden. Die verbrauchsgebundenen Kosten eines Heizsystems setzen sich aus mehreren Anteilen zusammen:

- € Brennstoffkosten (Pellets, Gas, etc.) bzw. Stromkosten für elektrische Heizgeräte wie Wärmepumpen oder elektrische Heizstäbe
- € Kosten für Haustechnikstrom (Stromverbrauch von z.B. Brenner, Gebläse, Pumpen)
- € Fixkosten für Gaszähler bzw. zusätzliche Stromzähler

Die ersten beiden Kostenarten wurden mithilfe der simulierten Laufzeiten bzw. des Brennstoffverbrauchs der einzelnen Komponenten erfasst. Die dabei verwendeten Kosten der einzelnen Energieträger sind im folgenden Abschnitt aufgeführt.

Tabelle 6-10 zeigt durchschnittliche Kosten für die verschiedenen Energieträger in Österreich. Die Gas- und Stromtarife wurden den Internetseiten einer Reihe von Energieversorgern² (Stand Herbst 2002) entnommen, der Pelletspreis stammt von ‚Regionalenergie Steiermark‘ (www.regionalenergie.at, Stand Mai 2002) für eingeblasene Holzpellets.

Tabelle 6-10: Kosten verschiedener Energieträger

	Energiekosten inkl. Abgaben und Steuern		Fixkosten(zus. Stromzähler, etc. inkl. Steuern
	EUR/Einheit	EUR/kWh	EUR/Jahr
Pellets (kg)	0,165	0,034	--
Erdgas (Bm ³)	0,47	0,043	60
Strom „normal“ (kWh)	0,15	0,15	--
Strom „Heizen“ (kWh)	0,10	0,10	28

Die Stromtarife schwanken stark je nach Anbieter. Häufig gibt es Tarife, die günstigen Strom für Heizung, Warmwasser oder speziell Wärmepumpen anbieten. Meistens ist der Tarif dann nachts wesentlich günstiger als tagsüber. Diese Tarife wurden gemittelt und unter dem Stichwort „Strom Heizen“ in Tabelle 6-10 zusammengefasst. Für die Berechnung der verbrauchsgebundenen Kosten wurde für Wärmepumpen der Tarif Strom „Heizen“ und für alle anderen Stromverbräuche der normale Stromtarif verwendet.

Beim Tarif „Heizen“ wurden auch noch die zusätzlichen Fixkosten für einen weiteren Stromzähler berücksichtigt. Beim normalen Stromtarif wird davon ausgegangen, dass der Stromzähler für den Haushaltsstrom sowieso vorhanden ist. Deshalb werden die Kosten für den Stromzähler nicht als Zusatzkosten berücksichtigt.

Bei den Gastarifen gibt es wie auch beim Strom Förderungen oder Rabatte zum Beispiel für Brennwertgeräte und auch für bestimmte Zahlungsmodalitäten, Treue etc. Diese wurden aber zur Ermittlung des Erdgastarifs in Tabelle 6-10 nicht berücksichtigt. Die Fixkosten für einen Gasanschluss betragen im Durchschnitt 60 EUR im Jahr.

Die verbrauchsgebundenen Kosten für die einzelnen Systeme sind im oberen Teil von Tabelle 6-11 und Tabelle 6-12 zusammengefasst.

Wärmegestehungskosten

2

www.grazer-stadtwerke.at	www.ooferngas.at
www.vkw.at	www.tigas.at
www.tiroler-wasserkraft.at	www.veg.at
www.kelag.at	www.begas.at
www.bewag.at	www.wiengas.at
www.energieag.at	www.linzag.at
www.salzburg-ag.at	www.steirische.ferngas.at
	www.ikb.at

Im unteren Teil von Tabelle 6-11 und Tabelle 6-12 werden nochmals die einzelnen Kostengruppen aufgelistet und die Gesamtkosten berechnet. Diese Summe an jährlichen Kosten wird dann durch den jährlichen Energiebedarf für Warmwasser und Raumheizung dividiert. Das Resultat sind die Wärmegestehungskosten pro kWh gelieferte Energie.

Tabelle 6-11: Verbrauchsgebundene Kosten und Wärmegestehungskosten für das Referenzgebäude 1

		3 WE (120 m ² pro WE)							
		PmS	PoS	GmS	GoS	SWP	Luft mS	Luft oS	
verbrauchsgebundene Kosten	Energiepreis für Pellets/Gas/Strom(Heizung)	0.034	0.034	0.043	0.043	0.100	0.100	0.100	EUR/kWh
	Energieinput Pellets/Gas/WP	29709	45373	24983	36700	7920	4916	9895	kWh/a
	Fixkosten (Strom- Gaszähler etc)	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	28.00	EUR/a
	Energiekosten	1 038	1 571	1 102	1 606	820	520	1 018	EUR/a
	Energiepreis für Haustechnikstrom	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	EUR/kWh
	Summe Stromkosten Haustechnik	220	118	186	112	247	192	81	EUR/a
	Summe Kapitalkosten	2 915	2 058	2 794	1 937	3 198	4 069	3 358	EUR/a
	Summe betriebsgebundene Kosten	1 019	776	1 006	763	1 071	1 406	1 197	EUR/a
	Summe verbrauchsgebundene Kosten	1 038	1 571	1 102	1 606	820	520	1 018	EUR/a
	Summe verbrauchsgebundene Kosten pro WE	346	524	367	535	273	173	339	EUR/(WE a)
	Summe aller Kosten	4 972	4 405	4 903	4 306	5 089	5 994	5 572	EUR/a
	Summe aller Kosten (pro m ²)	13.8	12.2	13.6	12.0	14.1	16.7	15.5	EUR/(m ² a)
	Summe aller Kosten (pro WE)	1 657	1 468	1 634	1 435	1 696	1 998	1 857	EUR/(WE a)
	Energieverbrauch WW + Hz (ohne Verluste)	25487	25468	25497	25464	25153	26204	26360	kWh/a
	Wärmegestehungskosten	0.195	0.173	0.192	0.169	0.202	0.229	0.211	EUR/kWh

Tabelle 6-12: Verbrauchsgebundene Kosten und Wärmegestehungskosten für das Referenzgebäude 2

		12 WE (77.5 m ² pro WE)					
		PmS	PoS	GmS	GoS	SWP	
verbrauchsgebundene Kosten	Energiepreis für Pellets/Gas/Strom(Heizung)	0.034	0.034	0.043	0.043	0.100	EUR/kWh
	Energieinput Pellets/Gas/WP	71182	105055	58799	88608	23110	kWh/a
	Fixkosten (Strom- Gaszähler etc)	0.00	0.00	60.00	60.00	28.00	EUR/a
	Energiekosten	2 420	3 572	2 588	3 870	2 339	EUR/a
	Energiepreis für Haustechnikstrom	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	EUR/kWh
	Summe Stromkosten Haustechnik	384	235	352	299	531	EUR/a
	Summe Kapitalkosten	6 493	4 711	6 595	4 813	7 634	EUR/a
	Summe betriebsgebundene Kosten	2 319	1 817	2 330	1 828	2 587	EUR/a
	Summe verbrauchsgebundene Kosten	2 420	3 572	2 588	3 870	2 339	EUR/a
	Summe verbrauchsgebundene Kosten pro WE	202	298	216	323	195	EUR/(WE a)
	Summe aller Kosten	11 232	10 100	11 513	10 511	12 561	EUR/a
	Summe aller Kosten (pro m ²)	12	11	12	11	14	EUR/(m ² a)
	Summe aller Kosten (pro WE)	936	842	959	876	1 047	EUR/(WE a)
	Energieverbrauch WW + Hz (ohne Verluste)	65169	65207	65160	65211	65270	kWh/a
	Wärmegestehungskosten	0.172	0.155	0.177	0.161	0.192	EUR/kWh

Abbildung 6-10 und Abbildung 6-11 zeigen zusammenfassend die Wärmegestehungskosten aller betrachteten Systeme für die beiden Referenzgebäude.

Die niedrigsten Wärmepreise ergeben sich unter den betrachteten Randbedingungen für die zentralen Kesselsysteme ohne Solaranlage mit ca. 18 cent/kWh für Referenzgebäude 1 und ca. 16 cent/kWh für Referenzgebäude 2. Mit Solaranlage liegen diese Systeme etwa auf dem gleichen Niveau wie die zentrale Sole-Wärmepumpe und die dezentralen Abluftwärmepumpen ohne Solaranlage bei etwa 22 cent/kWh für das Referenzgebäude 1 und bei etwa 18-19 cent/kWh für das Referenzgebäude 2. Die dezentralen Abluftwärmepumpen mit Solaranlage liegen mit etwa 25 cent/kWh noch etwas darüber.

Generell liegen die Wärmegestehungskosten beim Referenzgebäude 2 niedriger als beim Referenzgebäude 1, da hier die Investitionskosten weniger ins Gewicht fallen.

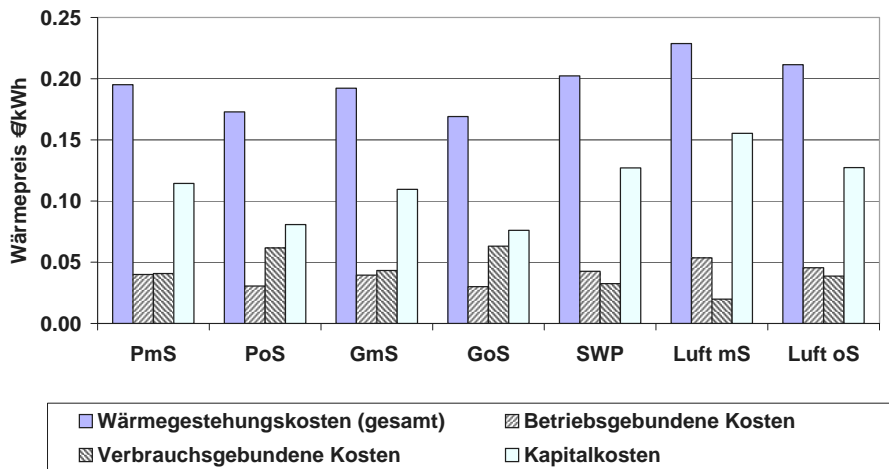


Abbildung 6-10: Wärmegestehungskosten für Referenzgebäude 1 bezogen auf kWh gelieferter Wärme (Heizung und Warmwasser)

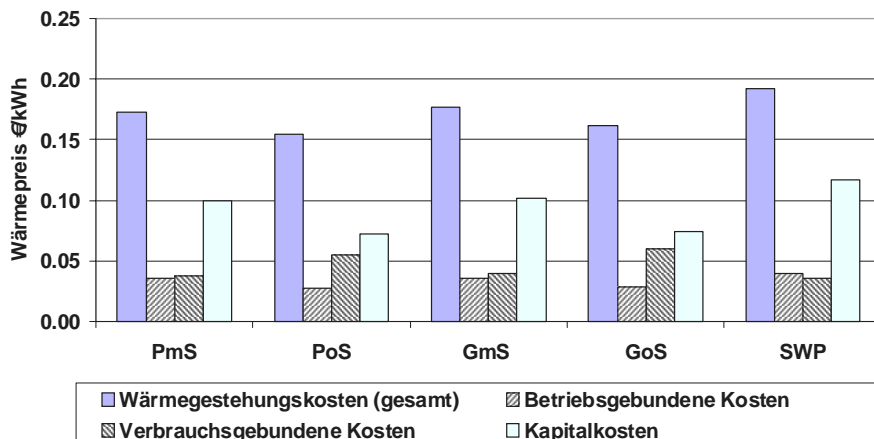


Abbildung 6-11: Wärmegestehungskosten für Referenzgebäude 2 bezogen auf kWh gelieferter Wärme (Heizung und Warmwasser)

Dieser Vergleich der Wärmegestehungskosten ist nur als Anhaltspunkt zu sehen. Die Investitionskosten wurden wie oben beschrieben aus verschiedenen Quellen abgeschätzt. Für ein konkretes Projekt können sie aber durchaus deutlich von den hier angenommenen Werten abweichen. Die örtlichen Gegebenheiten wie die Gebäudearchitektur beeinflussen den Aufwand für Lüftungsverrohrung, Wand- oder Fußbodenheizungen, Abgasführung und Pelletslager und Pelletsfördereinrichtung. Die Kosten der eigentlichen Systeme hängen zudem vom Hersteller, Rabatten und lokalen Förderungen ab.

6.1.3 End-, Primärenergie, CO₂-äquivalent Emissionen und Betriebskosten der Systeme (Referenzgebäude 1)

Neben dem Wärmebedarf und den bereits in Kap. 6.1.2 behandelten Kosten wurde für die Beurteilung der Heizungssysteme auch der Primärenergiebedarf welcher den Wirkungsgrad der Brennstoffbereitstellung und der Stromerzeugung sowie den Materialeinsatz für Wärmeerzeuger und Speicher beinhaltet sowie die spezifische CO₂-äquivalent Emissionen (Summe aus Treibhausgasen mit Ihren

spezifischen Wirkungsfaktoren CO₂ (1), CH₄ (23), N₂O (296), SF₆ (22200) ...) zur Beurteilung der Treibhausrelevanz für alle Systeme ermittelt. Hierbei wurden die folgenden Annahmen, basierend auf Gemis 4.1, 2003 (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme), zugrunde gelegt:

Stromerzeugung

Stromerzeugungsmix	: EU-17 (EU-Länder plus Norwegen und Schweiz)
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	: 2,710 TJ _{prim} /TJ _{Strom}
CO ₂ -äquivalent Emissionen	: 119 kgCO ₂ -äquivalent/GJ _{Strom} (0,43 kgCO ₂ -äquivalent/kWh _{Strom})

Pellets-System

Bezugs-Stromerzeugungsmix	: EU-17 (EU-Länder plus Norwegen und Schweiz)
Gemis Datenbasis	: Holz-Pellets-Heizung D-100%, 80 % Wirkungsgrad (1,57 TJ _{prim} /TJ _{Wärme} und 22,34 kgCO ₂ -äquivalent/GJ _{Wärme}) mit Stromerzeugung aus Netz-el-D-lokal-HH/KV (2,982 TJ _{prim} /TJ _{Strom} und 198,6 kgCO ₂ -äquivalent/GJ _{Strom})
Annahmen für Strommixumrechn.	: ca. 1,7 % Haustechnikstrom im Betrieb (nach Simulation ohne Solaranlage), es wird ein Wert von 4 % angenommen, um den Stromanteil der Pelletsbringung und Erzeugung von 2 % (Stockinger, Obernberger, 1998) zu berücksichtigen.
Umrechn. D-lokal auf EU-17 Mix	: Der Anteil der Emissionen im Betrieb werden von Netz-el-D-lokal-HH/KV auf EU-17 CO ₂ Emissionen umgerechnet. Die restlichen Emissionen aus dem Betrieb werden gleich wie im Gemis Datensatz für Deutschland angenommen. Zudem wird darauf Rücksicht genommen, dass sich die Werte in Gemis auf gelieferte Wärme beziehen, in dieser Studie jedoch bereits die eingesetzte Brennstoffenergie ermittelt wurde (Jahreswirkungsgrad Pelletskessel errechnet: 72%). Damit ergeben sich die folgenden Ergebnisse für das hier betrachtete Pellets-System
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	: 1,25 TJ _{prim} /TJ _{Pellets}
CO ₂ -äquiv. Emissionen	: 17,6 kgCO ₂ -äquivalent/GJ _{Pellets} (0,063 kgCO ₂ -äquivalent/kWh _{Pellets})

Gaskessel-System

Bezugs-Stromerzeugungsmix	: EU-17 (EU-Länder plus Norwegen und Schweiz)
Gemis Datenbasis	: Gas-Heizung atmosphärisch D, 100% Wirkungsgrad (1,17 TJ _{prim} /TJ _{Wärme} und 70,59 kgCO ₂ -äquivalent/GJ _{Wärme}) mit Stromerzeugung aus Netz-el-D-lokal-HH/KV (2,982 TJ _{prim} /TJ _{Strom} und 198,6 kgCO ₂ -äquivalent/GJ _{Strom})
Annahmen für Strommixumrechn.	: ca. 1 % Haustechnikstrom in Betrieb (nach Simulation ohne Solaranlage) und Anteil der Emissionen bei Bau der Anlage (sehr gering nach Neubarth, Kaltschmitt, 2000)
Umrechn. D-100 auf EU-17 Mix	: Da kaum Strom bei Bau und Betrieb anfällt, wird auf eine Umrechnung verzichtet. Da ein Datensatz von GEMIS mit 100 % Wirkungsgrad eingesetzt wurde, besteht auch kein Unterschied zur in dieser Studie verwendeten eingesetzten Brennstoffenergie. Der Jahreswirkungsgrad des Gaskessels wurde mit 89% errechnet. Damit ergeben sich die folgenden Ergebnisse für das hier betrachtete Gas-System
Kumulierter Energieaufwand (KEA)	: 1,17 TJ _{prim} /TJ _{Gas}
CO ₂ -äquiv. Emissionen	: 70,6 kgCO ₂ -äquivalent/GJ _{Gas} (0,25 kgCO ₂ -äquivalent/kWh _{Gas})

Wärmepumpensysteme

Bezugs-Stromerzeugungsmix : EU-17 (EU-Länder plus Norwegen und Schweiz)
Anteil CO₂-äquiv. Emis. für Bau : ca. 5 % (Neubarth, Kaltschmitt, 2000)
Berechnung System : Es werden sowohl dem Primärenergiebedarf als auch den Emissionen 5 % als Anteil für den Bau der Wärmepumpenanlage auf die Werte für die Stromerzeugung der EU-17 hinzugerechnet. Damit ergeben sich die folgenden Ergebnisse für das hier betrachtete Wärmepumpensysteme

Sole WP (System 6)

Kumulierter Energieaufwand (KEA) : $2,85 \text{ TJ}_{\text{prim}}/\text{TJ}_{\text{Strom}}$
CO₂-äquiv. Emissionen : $125 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-äquiv.}}/\text{GJ}_{\text{Strom}}$
($0,45 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-äquiv.}}/\text{kWh}_{\text{Strom}}$)

Dezentral Luft/Luft/Wasser WP (System 1)

Kumulierter Energieaufwand (KEA) : $2,85 \text{ TJ}_{\text{prim}}/\text{TJ}_{\text{Strom}}$
CO₂-äquiv. Emissionen : $125 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-äquiv.}}/\text{GJ}_{\text{Strom}}$
($0,45 \text{ kg}_{\text{CO}_2\text{-äquiv.}}/\text{kWh}_{\text{Strom}}$)

Solaranlage

Bezugs-Stromerzeugungsmix : EU-17 (EU-Länder plus Norwegen und Schweiz)
Anteil CO₂-äquiv. Emis. für Bau : ca. 50 % (Neubarth, Kaltschmitt, 2000)
Berechnung System : Die CO₂-äquiv.-Emissionen aus dem errechneten Strombedarf für die Solaranlage werden zur Berücksichtigung des Baus der Solaranlage verdoppelt und dem Haustechnikstrom zugeschlagen. Sie liegen aber mit ca. 0,3 – 0,4 kg CO₂-äquiv. Emissionen / (m²a) sehr niedrig.

In der Betrachtung des Primärenergiebedarfs wurde der Haustechnikstrom berücksichtigt.

Nicht berücksichtigt wurden bei der Materialbilanz die Wärmeverteilsysteme, da hier keine Daten gefunden werden konnten. Es ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Verhältnisse der Anlagen zueinander kaum ändern werden, da die Wasserverteilungen bei den zentralen Systemen zwar länger, aber weniger materialintensiv als die Luftkanäle bei den dezentralen Systemen sind.

Abbildung 6-12 zeigt einen Vergleich der vier untersuchten Systeme in Bezug auf Endenergie, Primärenergie, CO₂-äquiv.-Emissionen und Wärmegestehungskosten vorerst ohne Berücksichtigung des Haushaltsstroms, um die reinen Heizungssysteme miteinander vergleichen zu können. Während der Endenergiebedarf bereits oben diskutiert wurde, werden die Ergebnisse der anderen Kriterien im folgenden kommentiert.

Primärenergiebedarf

Vergleicht man die Systeme mit dem Passivhaus-Kriterium Gesamt-Primärenergiebedarf unter 120 kWh/m²a (vgl. Kap. 1.5) so wird wiederum ersichtlich, dass die Wärmepumpensysteme und hier insbesondere die dezentralen Luft/Luft/Wasser-Systeme gekoppelt mit Solaranlage sowie ev. das System Gas-Wasser + Solar dieses Kriterium erreichen können (sofern der Haushaltsstrom nicht zu hoch ist). Bei zentralen Systemen auf Basis Heizkessel kann der Primärenergiebedarf durch den Einsatz einer Solaranlage verringert werden (sofern die Solarenergie nicht zur Primärenergie hinzugerechnet wird).

CO₂-äquiv.-Emissionen

Ein ganz anderes Bild ergibt sich bei den CO₂-äquivalent -Emissionen. Hier sind die niedrigsten Werte beim Pelletssystem zu finden, da Biomasse an sich CO₂-neutral ist und nur bei der Holzbringung, der Pelletserzeugung und der Kesselherstellung CO₂-äquivalent -Emissionen anfallen. Eine Koppelung des Pelletssystems mit einer Solaranlage bringt bzgl. der CO₂-äquivalent -Emissionen kaum eine Verringerung, da zwar Pellets eingespart werden, jedoch die Solaranlage elektrischen Strom für den Betrieb der Umwälzpumpen benötigt und zusätzlich der Materialeinsatz steigt. Auf etwa gleich geringe Werte kommt das dezentrale Luft/Luft/Wasser-System gekoppelt mit einer Solaranlage. Die höchsten Werte hat das System mit Gaskessel. Sole Wärmepumpe und dezentrales Luft/Luft/Wasser-System ohne Solaranlage liegen etwa gleichauf und etwa 60 % über dem Pelletssystem.

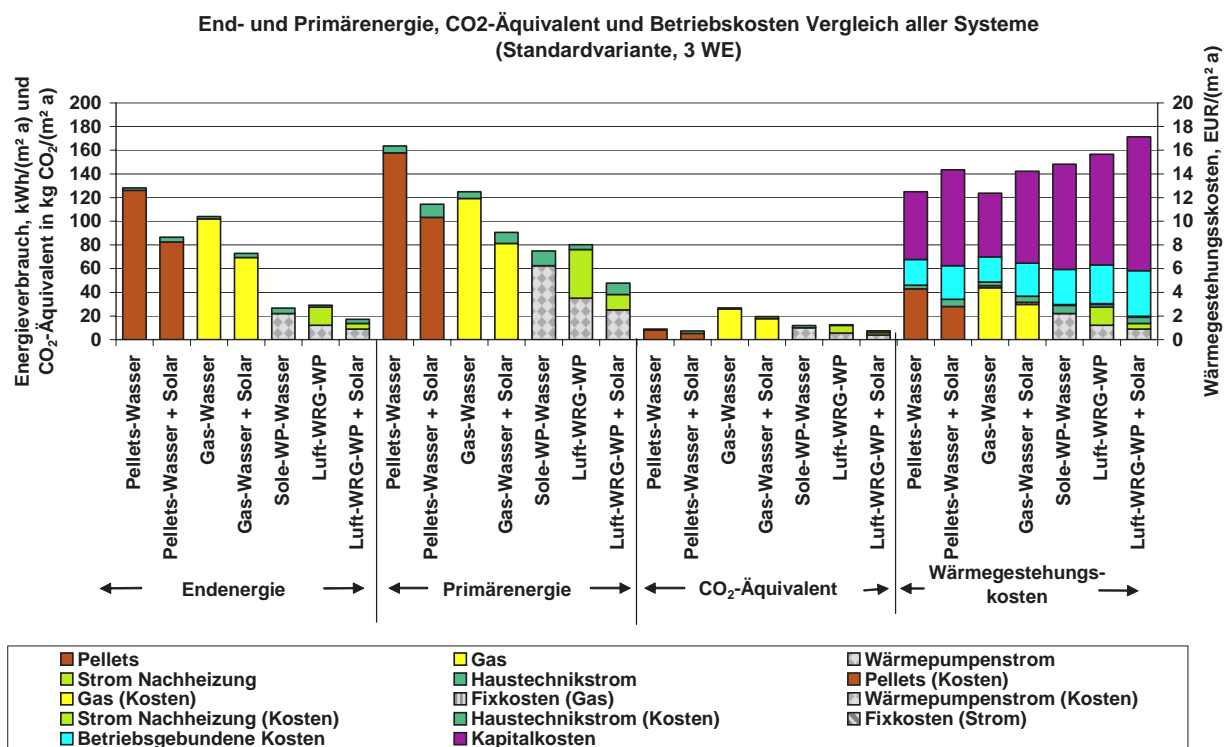


Abbildung 6-12: End- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent-Emissionen sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme ohne Haushaltsstrom (Standardvariante, Referenzgebäude 1, 3 WE)

Wärmegestehungskosten

Aufgrund der geringeren Kosten von Pellets gegenüber Erdgas liegen die Systeme Pellets und Gas trotz des höheren Endenergiebedarfs von Pellets auf gleicher Höhe. Die Kapitalkosten sind aufgrund der Gasanschlusskosten in etwa gleich hoch. Durch die Solaranlage erhöhen sich die Kapitalkosten beider Anlagen. Die Betriebskosten der zentralen Sole-Wärmepumpe liegen unter den Werten der Kessel-Varianten mit Solaranlage. Unter Berücksichtigung der Kapitalkosten ergeben sich jedoch höhere Wärmegestehungskosten als bei den Kesselvarianten mit Solaranlage. Die dezentralen Luft/Luft/Wasser-Systeme schneiden aufgrund der Nachheizung von Zuluft und Brauchwarmwasser über E-Patronen trotz Abluftwärmerückgewinnung in den Betriebskosten ähnlich ab, wie die Sole-Wärmepumpe. Die Kapitalkosten sind aufgrund der Kosten für die Luftverteilung jedoch wiederum höher. Allerdings wird hierbei auch eine kontrollierte Lüftungsanlage mitgeliefert, welche bei den anderen Systemen separat zugekauft werden müsste.

Wird eine Solaranlage mit dem dezentralen Luft/Luft/Wasser-System gekoppelt, so sinken die Betriebskosten aufgrund des reduzierten Strombedarfs für die Wärmepumpe und die E-Patronen für die Warmwasserbereitung auf den geringsten Wert aller betrachteten Systeme. Es ergeben sich jedoch aufgrund des hohen Anlagenaufwandes die höchsten Wärmegestehungskosten

Generell erscheint bei allen Vergleichen das dezentrale Luft/Luft/Wasser-System mit Abluftwärmerückgewinnung, Erdreichwärmetauscher und Solaranlage bei den energetischen und Emissionsvergleichen sehr günstig. Es hat jedoch aufgrund hoher Investitionskosten die höchsten Wärmegehungskosten.

End und Primärenergiebilanz mit Haushaltsstrom

In Abbildung 6-13 ist End- und Primärenergiebilanz nochmals, diesmal aber mit dem Haushaltsstrom angeführt, um die Erreichung der Passivhauskriterien von 42 kWh/(m²a) Endenergiebedarf bzw. 120 kWh/(m²a) Primärenergiebedarf zu überprüfen. Der Haushaltsstrom wurde hierbei für die beiden linken Blöcke so angenommen, wie in dieser Studie aufgrund der Messungen im Projekt CEPHEUS (2001) ermittelt (3,3 W/m²) und für die beiden rechten Blöcke mit dem Wert belegt, den Feist in seinem Passivhaus Projektierungs-Paket (PHPP 1999) vorgibt (2,1 W/m²).

Der in den bisherigen Passivhaus-Kriterien aufgestellt Zielwert von 42 kWh/(m²a) für den gesamten Endenergiebedarf des Gebäudes wird nur unter Zugrundelegung des in CEPHEUS (2001) gemessenen Haushaltsstroms für keines der untersuchten Systeme erreicht. Wird der in (PHPP 1999) angenommene Wert für den Haushaltsstrom eingesetzt so können beiden Wärmepumpensysteme den Zielwert erfüllen. Beim Primärenergiebedarf ergibt sich ein ähnliches Bild. Man erkennt deutlich den hohen Einfluss den der Haushaltsstrom und damit energieeffiziente Haushaltsgeräte auf den Gesamtenergiebedarf von Gebäude haben.

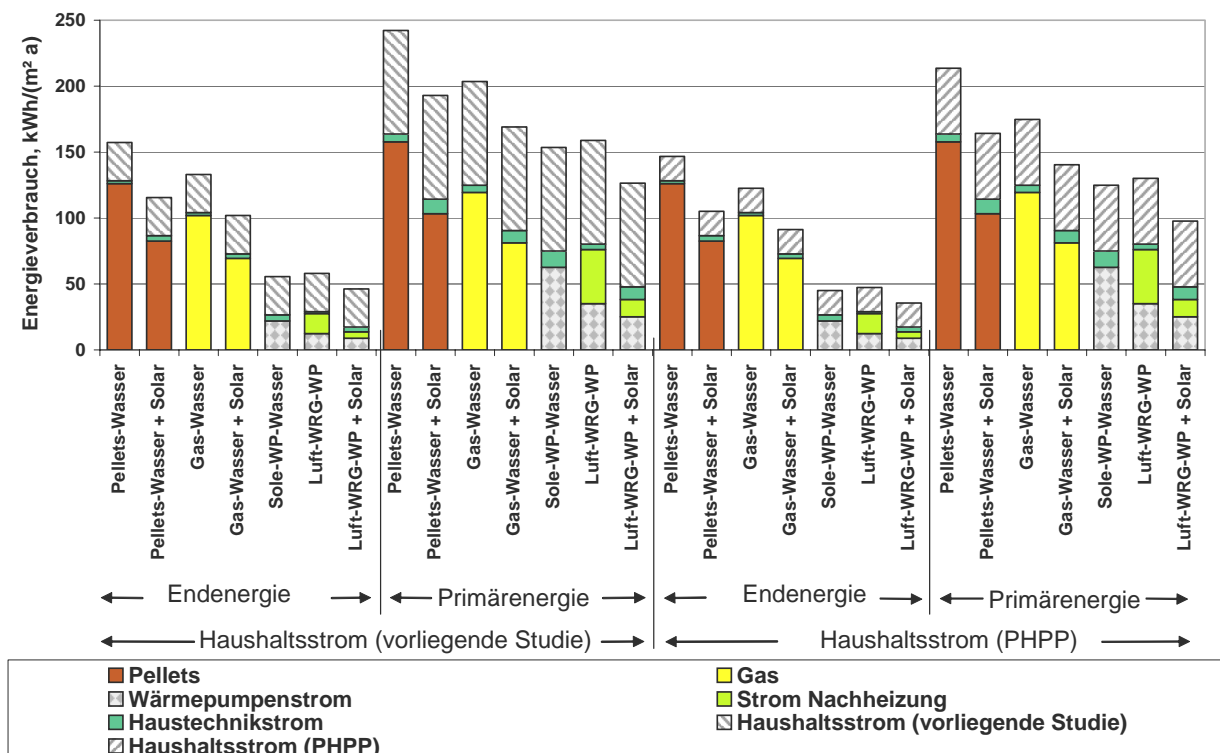


Abbildung 6-13: End- und Primärenergiebedarf der simulierten Heizungssysteme **mit Haushaltsstrom** nach Messung im Projekt CEPHEUS (2001) und nach Feist (PHPP, 1999) (Standardvariante, Referenzgebäude 1, 3 WE)

Der Überlegung, dass dem Gebäude das Nutzerverhalten bzgl. Haushaltgeräte nicht angelastet werden kann, wurde auch in den neuesten Passivhaus-Förderkriterien von der deutschen Kreditanstalt für Wiederaufbau Rechnung (Mai 2003) getragen. Als Nachweisverfahren dient jetzt das Passivhaus Projektierungs- Paket PHPP (Neuaufgabe 2003) und nicht mehr die Passivhaus-Vorprojektierung

(PHVP). Nachzuweisen sind der Jahres-Heizwärmebedarf von max. 15 kWh/(m²a), Energiebezugsfläche hierfür ist die Wohnfläche innerhalb der thermischen Hülle (zur genauen Definition siehe PHPP, Feist 2001) und – das ist neu - der Jahresprimärenergiebedarf von max. 40 kWh/(m²a), Bezugsfläche hierfür ist die Gebäudenutzfläche A_N nach Energieeinsparverordnung (EnEV). Im Jahresprimärenergiebedarf sind der Jahresheizwärmebedarf, der Nutzwärmebedarf für die Warmwasserbereitung, die Energieverluste des Wärmeversorgungssystems, der Hilfsenergiebedarf für Heizung und Brauchwarmwasserbereitung sowie der Energieverbrauch für die Bereitstellung der Energieträger enthalten. Nicht enthalten ist der Primärenergiebedarf für den Haushaltsstrom (<http://www.passiv.de>).

Dieses Kriterium wird in der vorliegenden Studie mit den hier gewählten Annahmen annähernd nur vom dezentralen Luft/Luft/Wasser-System gekoppelt mit Solaranlage erreicht. Allerdings wurden andere Randbedingungen als im PHPP-Programm angenommen (z.B. Raumtemperatur von 22,5°C im Gegensatz zum PHPP-Programm von 20°C, vgl. auch Tabelle 1-1). Daher sind die Ergebnisse nur in der Relation zueinander aber nicht absolut vergleichbar.

6.2 Extremszenarien (Referenzgebäude 1)

Mit Hilfe dieser Szenarien soll jetzt untersucht werden, wie die verschiedenen Systeme auf unterschiedliches Benutzerverhalten reagieren. Dazu werden zwei Extremszenarien definiert.

- Ex 1) Randbedingungen für eine **hohe Heizlast** und geringe interne Gewinne:
Raumtemperatur 25°C
Luftwechsel „Frischluffanakter“ stark: Doppelter Luftwechsel (0,8 h⁻¹)
Interne Lasten niedrig: 2 Personen pro WE, 3 kWh pro Tag Stromverbrauch
Warmwasserbedarf stark 50 l/(d Pers 60°C)
- Ex 2) Randbedingungen für eine **niedrige Heizlast** und hohe interne Gewinne:
Raumtemperatur 20°C
Luftwechsel „Muffel“: Halber Luftwechsel (0,2 h⁻¹)
Interne Lasten hoch: 6 Personen pro WE, 15 kWh pro Tag Stromverbrauch
Warmwasserbedarf niedrig 30 l/(d Pers 45°C)

Abbildung 6-14 zeigt die Auswirkungen dieser Referenzszenarien auf die Energiebilanz des ideal beheizten Referenzgebäudes 1. Der Wärmebedarf (Heizung und Brauchwarmwasser) zwischen den beiden Extremszenarien schwankt zwischen 118 und 34 kWh/(m²a), also um den Faktor 3,5. Nimmt man den reinen Heizwärmebedarf, so ergibt sich eine Schwankungsbreite von 11,6 – 100,7 kWh/(m²a) vgl. Tabelle 1-1. Dies zeigt wiederum, welchen großen Einfluss das Benutzerverhalten auf den Energiebedarf solcher Niedrigstenergiegebäude hat. Neben den reinen Benutzerauswirkungen gehen die nutzbaren solaren Gewinne bei geringerem Energiebedarf des Gebäudes zurück, da das Gebäude über die relativ und absolut größeren internen Wärmegewinne bereits längere Zeit mit diesen beheizt werden kann und die passive Solarstrahlung daher nur mehr geringer zum Heizen genutzt werden kann.

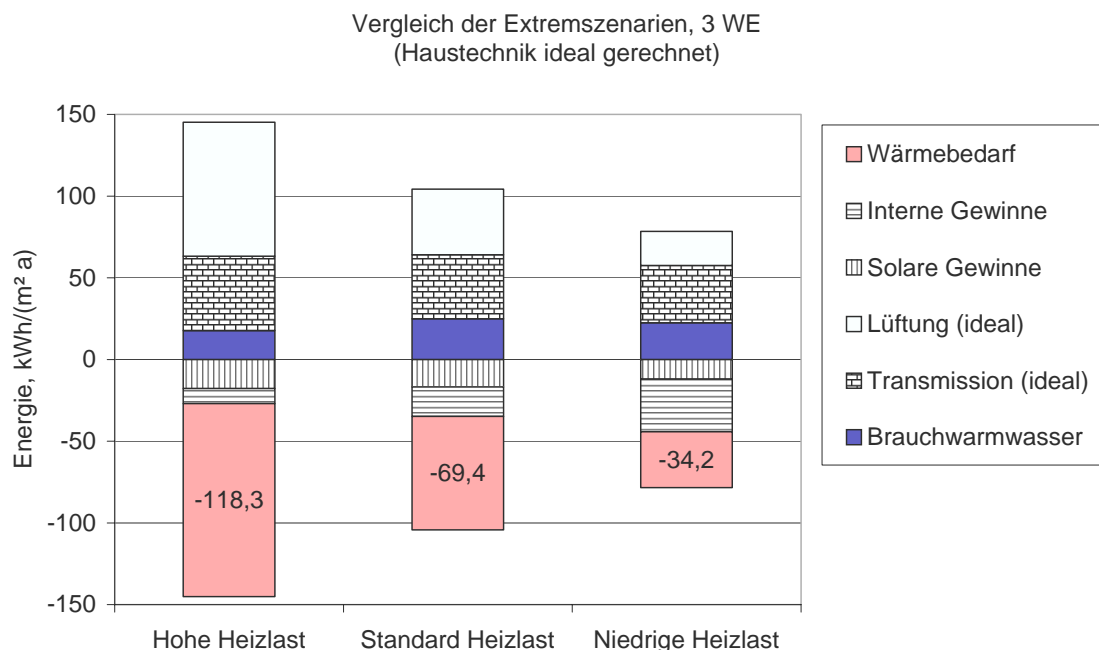


Abbildung 6-14: Vergleich der Extremszenarien für ideale Heizung (Referenzgebäude 1)

Die folgenden Abbildung 6-15 und Abbildung 6-16 zeigen für das Referenzgebäude 1, wie sich die verschiedenen Systeme bei solchen Extremszenarien verhalten. Hierbei wurden die Wärmeerzeuger nicht verändert, sodass es bei dem Extremszenario mit hoher Heizlast zu Leistungsengpässen kommen kann. Dies entspricht der Realität, da die Heizung- und Lüftungsanlage zumeist nach Normbedingungen ausgelegt wird.

Deckung der Heizlast

Während es beim Standardszenario und bei dem Extremszenario mit geringer Heizlast für kein System ein Problem mit der Bereitstellung der erforderlichen Wärme gibt, so haben im Extremszenario 1 (hohe Heizlast) alle System mehr oder weniger Unterdeckung (über gewisse Zeiträume geringere Raumtemperaturen als gewünscht).

Der Pellets- und der Gaskessel haben aufgrund Ihrer Leistung von 20 kW (Heizlast des Gebäudes 11,1 kW) genügend Reserve, um das Extremszenario hohe Heizlast annähernd zu bewältigen. Die geringfügigen Unterdeckungen von etwa 3 % sind dadurch gegeben, dass die Rohrhydraulik und Pumpenauslegung auf 22,5°C Raumtemperatur erfolgte.

Die zentrale Sole/Wasser Wärmepumpe kann bei dem Extremszenario 1 mit hoher Heizlast den Bedarf nur mehr zu 94,3 % decken (5,7 % Unterdeckung). Hier wirken sich die Zeitfenster zum Nachladen der Brauchwarmwasserspeicher aus, bei denen das Haus unter die Solltemperatur von in diesem Fall 25°C abkühlt.

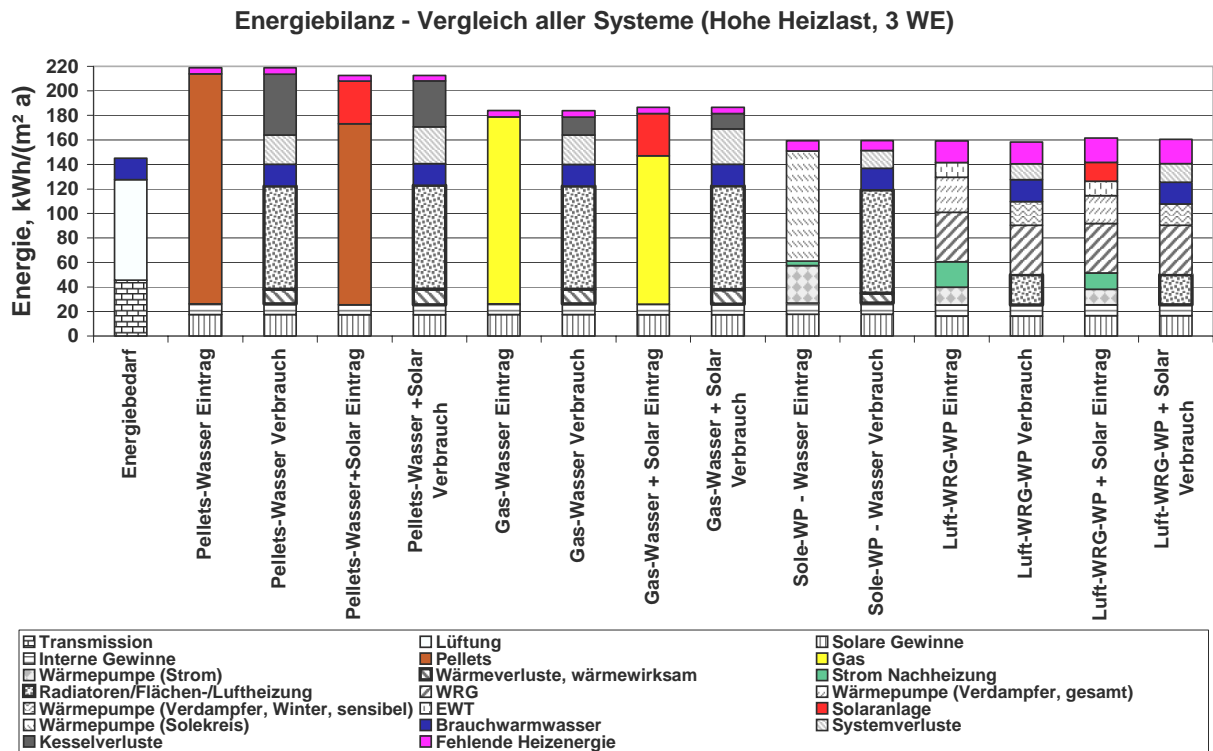


Abbildung 6-15: Vergleich des Extremszenarios 1 für alle untersuchte Varianten (Referenzgebäude 1)

Den größten „Einbruch“ hat für das Extremszenario hohe Heizlast das dezentrale Luft/Luft/Wasser-System. Dadurch dass die einbringbare Heizenergie durch maximale Einblasetemperatur und Luftvolumenstrom begrenzt ist, kann für dieses Szenario die gewünschte hohe Lufttemperatur oft nicht mehr gehalten werden. Die Unterdeckung beträgt hier etwa 12%.

Diese Unterdeckung von 12 % ist hierbei auf den gesamten Wärmebedarf (Transmission, Lüftung, Brauchwarmwasser) berechnet, der jedoch zum Teil von inneren Wärmen und solaren Gewinnen gedeckt wird.

Dies zeigt auf der einen Seite die Einsatzgrenzen des Luft/Luft/Wasser-Systems auf. Der Komfortverlust durch Unterdeckung des Heizenergiebedarfs könnte auf der anderen Seite aber auch positiv gesehen werden, da einige Systeme eine unnötig hohe Raumtemperatur systembedingt einfach nicht zulassen. Allerdings wird sich ein Benutzer, der solche Bedingungen wünscht, eventuell eine Zusatzheizung in das Haus stellen.

Energiebilanz - Vergleich aller Systeme (Niedrige Heizlast, 3 WE)

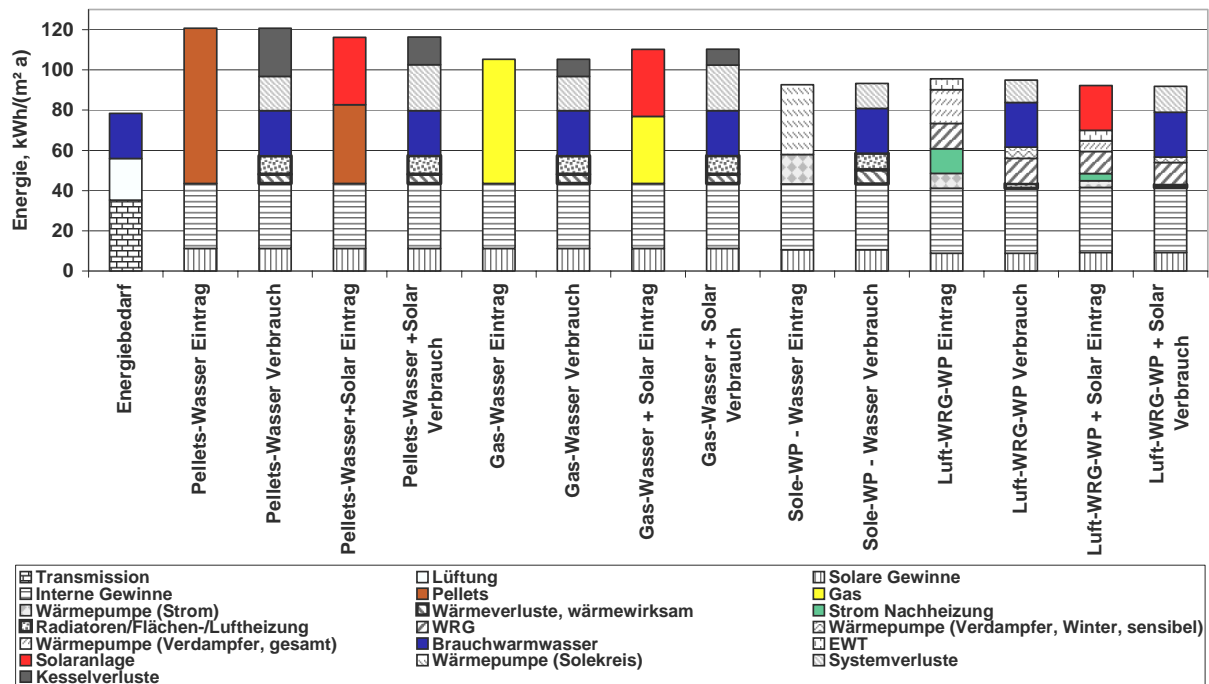


Abbildung 6-16: Vergleich des Extremszenarios 2 für alle untersuchte Varianten (Referenzgebäude 1)

Wirkungsgrade der Wärmeerzeuger

Der Jahreswirkungsgrad des Pelletskessels sinkt bei geringerer Abnahme und Solaranlage (bedingt durch längere Stillstände mit Gluterhaltung) auf 65 %, bei dem Extremszenario mit hoher Heizlast steigt er auf 75 %. Absolut gesehen steigen die Verluste jedoch mit höherer Heizlast, insbesondere da Brauchwasser mit 60°C gezapft wird, wodurch die Vorlauftemperatur des gesamten Wärmeverteilnetzes bei dieser Schaltung auf höhere Temperatur gehalten werden muss. Bei niedriger Heizlast kann aufgrund der geringeren Raumtemperatur die Rücklauftemperatur des Wärmeverteilsystems gesenkt werden, was die Wärmeverluste weiter verringert.

Ein ganz ähnliches Bild zeigt sich beim Gaskessel. Hier variiert der Wirkungsgrad des Kessels zwischen 77 % bei niedriger Last und Solaranlage und 90 % bei hoher Last.

Die Jahresarbeitszahl der zentralen Sole Wärmepumpe schwankt zwischen 3,1 bei dem Szenario niedriger Heizlast bis 3,6 bei dem Szenario hoher Heizlast. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Wärmepumpe im Szenario mit geringer Heizlast häufiger bei geringeren Außentemperaturen betrieben wird. Im Szenario hohe Heizlast reicht die Heizperiode auch in die Übergangszeit hinein, bei welcher höhere Erdreichtemperaturen auftreten. Außerdem wird eine allfällige Minderdeckung des Brauchwarmwassers durch eine E-Patrone im Brauchwarmwasserspeicher gedeckt.

Die Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe beim dezentralen Luft/Luft/Wasser-System schwankt zwischen 3,5 bei dem Szenario niedriger Heizlast bis 3,3 bei dem Szenario hoher Heizlast. Die Einbindung einer Solaranlage verringert die Jahresarbeitszahl, da die Solaranlage die Vorwärmung des Brauchwarmwassers übernimmt und die Wärmepumpe immer bei etwas höherem Kondensatortemperaturniveau arbeiten muss als ohne Solaranlage.

Abbildung 6-17 und Abbildung 6-18 zeigen den End-, Primärenergie-, CO₂-äquivalent Bilanz sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme ohne Haushaltsstrom für die beiden Extremvarianten und das Referenzgebäude 1. Zusätzlich sind, um eine Vergleichbarkeit zu erreichen, die nicht gelieferte Heizenergie für das Extremszenario 1 (hohe Heizlast) mit eingetragen.

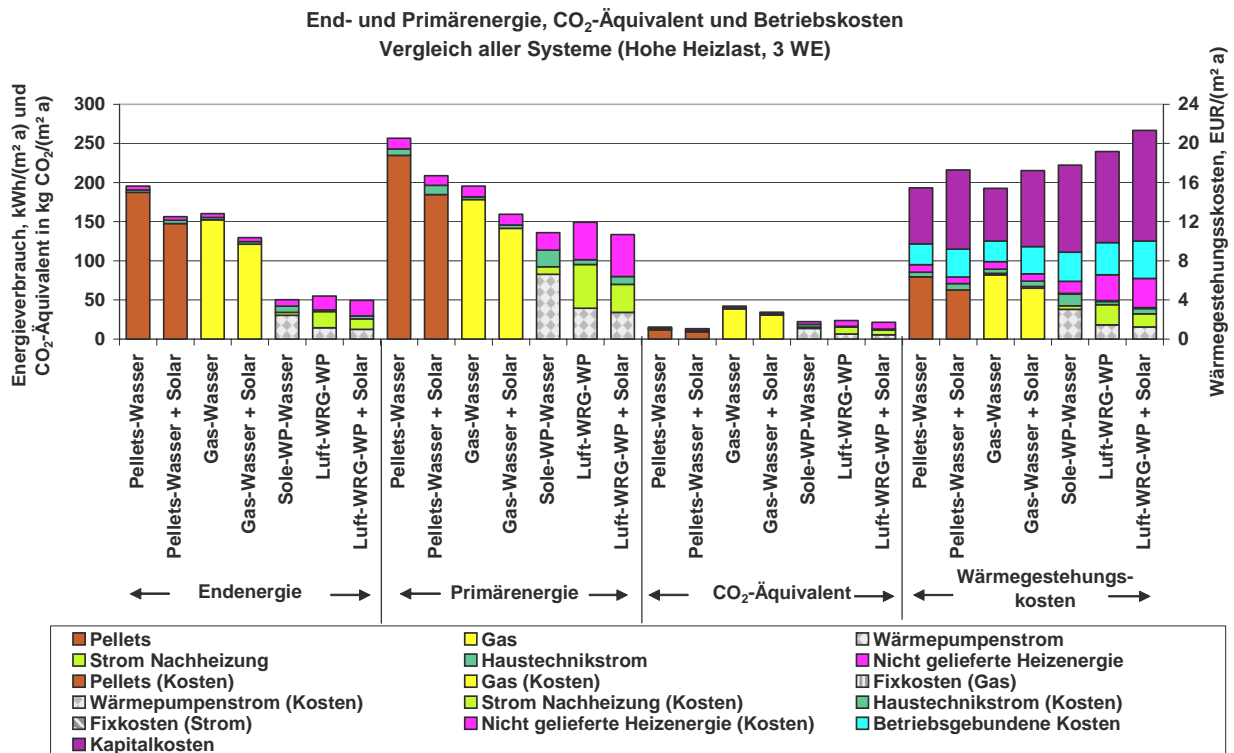


Abbildung 6-17: End- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent-Emissionen sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme **ohne Haushaltsstrom** (Extremvariante 1, hohe Heizlast, Referenzgebäude 1, 3 WE)

Im Prinzip ändert sich bis auf die Wärmegestehungskosten, außer generell höheren bzw. niedrigeren Werten, nichts an den Aussagen der Referenzvariante. Die Variation des End- und Primärenergiebedarfs liegt allerdings im Bereich 1 : 2,5. Dies zeigt wiederum die große Abhängigkeit des Energiebedarfs vom Benutzerverhalten. Die Wärmegestehungskosten sind wesentlich geringer unterschiedlich, da die Kapitalkosten und die betriebsgebundenen Kosten konstant sind und den größten Teil der Wärmegestehungskosten ausmachen. Die hauptsächliche Vergrößerung der Kosten bei der hohen Heizlast ergibt sich durch die Kosten für die nicht gelieferte Energie, welche durch Strom Direktheizung abgedeckt wird, sowie durch die Erhöhung des Heizenergiebedarfs.

Bei den CO₂-äquivalent Emissionen hat das Pelletssystem bei hoher Heizlast die geringsten Emissionen aller betrachteten Systeme, da nur ein geringer Strombedarf besteht und der Kessel mit gleicher Leistung angenommen wurde.

Im Bereich des Energiebedarfs des Systems wird die Unterdeckung des Heizenergiebedarfs wesentlich deutlicher als bei der gesamten Energiebilanz der Systeme, da hier die internen und solaren Gewinne nicht berücksichtigt sind. Hier ergibt sich eine Unterdeckung im dezentralen Luft/Luft/Wasser-System von fast 40 %. Dadurch wird deutlich, dass Systeme mit größerer Unterdeckung des Heizenergiebedarfs, wenn dieser nicht berücksichtigt wird, wesentlich besser „aussteigen“ als welche, die den Bedarf annähernd decken.

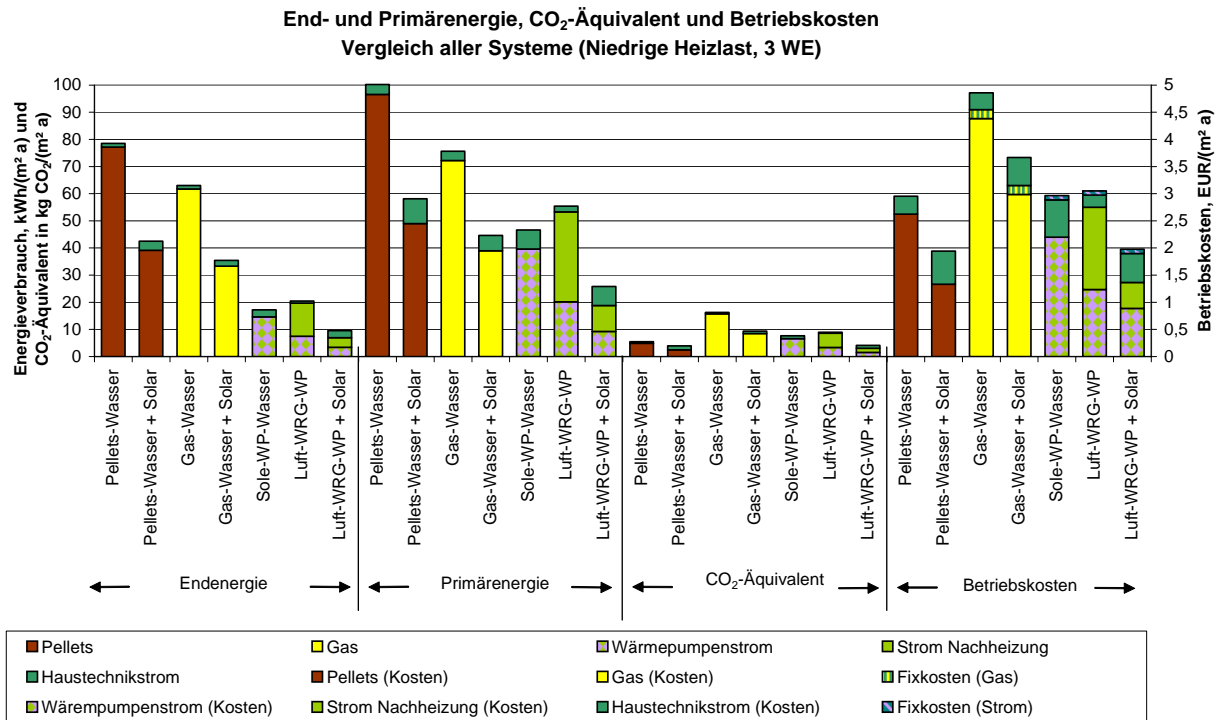


Abbildung 6-18: End- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent-Emissionen sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme **ohne Haushaltsstrom** (Extremvariante 2, niedrige Heizlast, Referenzgebäude 1, 3 WE)

6.3 Härtetest für alle Systeme (Referenzgebäude 1)

Um die Reaktion und die Robustheit der Heizungssysteme auf wechselndes Benutzerverhalten abzutesten wurden zwei zeitlich wechselnde Benutzerprofile auf die Systeme aufgebracht:

- a) Fenster über einen Zeitraum von 4 Stunden nach Sonnenuntergang (ab 16 h) in einer Winterwoche mit mittleren Einstrahlung und anschließender tiefer Außentemperatur geöffnet. Die Heizung läuft weiter.
- b) Absenkung der Raum-Solltemperatur über 14 Tage im Winter auf 15°C mit Lüftungsverlusten nur durch Infiltration. Danach Wiederaufheizung auf 22,5°C Raumtemperatur.

Szenario a)

Hier wird verglichen, wie die verschiedenen Systeme reagieren, wenn die Fenster längere Zeit geöffnet waren und das Gebäude wieder auf Temperatur gebracht werden muss. Alle Systeme wurden ohne Solaranlage gerechnet.

Abbildung 6-19 zeigt im oberen Teil die operative und Zonen-Lufttemperatur, im unteren Teil die Außenlufttemperatur und die Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche vor und während des Auskühlvorgangs sowie beim anschließenden Aufheizvorgang. Die operative Temperatur ergibt sich aus dem Mittelwert zwischen Umschließungsflächen und Lufttemperatur und stellt die Empfindungstemperatur des Menschen, der sich im Strahlungsaustausch mit den umschließenden Wänden befindet, dar. Die betrachteten Systeme sind das zentrale Pelletssystem (Pellets), das zentrale Sole-Wasser Wärmepumpensystem (SOL-WP) und das Luft/Luft/Wasser-System (LL-WP). Bei

letzterem System wurde zur Erkennung der Notwendigkeit der im Zuluftstrom nach dem Kondensator befindlichen E-Patrone mit einer Heizleistung von 1,5 kW für die Nachheizung diese in der Simulation einmal weggeschaltet (LL-WP) und einmal dazugeschaltet (LL-WP_EP). Das zentrale Gasheizungssystem wurde nicht extra simuliert, da es sich genau wie das Pelletssystem verhält.

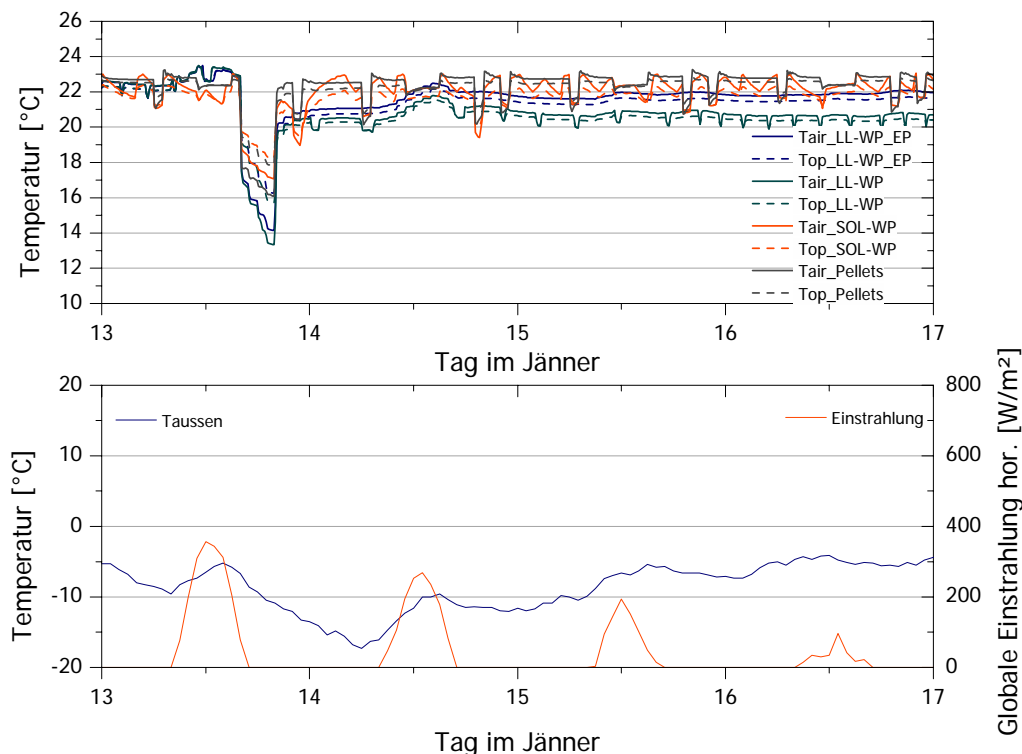


Abbildung 6-19: Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Außentemperatur (Taussen) sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Systeme (Pellets, Sole WP, LL-WP und LLWP_EP), Szenario a): 4 h Fensterlüftung

Vor dem Auskühlvorgang wird die Raumtemperatur von allen Systemen gehalten. Für das dezentrale Luft/Luft/Wasser-System LL-WP ist kein Unterschied zwischen dem Betrieb mit und ohne E-Patrone zu erkennen, d.h. die E-Patrone wird nicht verwendet. Bei diesem System ergibt sich in unterschiedlichen Zeitabständen ein kurzzeitiges Absinken der Raumtemperatur. Dies sind Abtauvorgänge am Verdampfer der Wärmepumpe, während denen die Wärmepumpe keine Heizleistung liefert. Die Reglereinstellung erlaubt eine Temperaturschwankung zwischen 22 und 23°C. Auch das zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpensystem (SOL-WP) zeigt Raumtemperaturschwankungen. Der Regelbereich ist gleich wie beim LL-WP System eingestellt. Bei Erreichen der oberen Temperatur schaltet sich das System ab und es dauert aufgrund der Speichermasse im Estrich einige Zeit bis die Raumtemperatur die untere Regelgrenze erreicht hat. Beim Wiederaufstart der Heizung kann es zu einer leichten Unterschreitung von 22°C kommen, da es einige Zeit dauert, bis die Speichermasse Estrich, welche bei diesem System im Gegensatz zu den anderen Systemen nicht über eine Trittschalldämmung wärmetechnisch entkoppelt ist, auf die Wärmezufuhr mit einer Wärmeabgabe an den Raum reagiert. Das Radiatorsystem mit der zentralen Pelletsanlage hält die Raumtemperatur über die Thermostatventile in den Radiatoren und die außentemperaturgeführte Vorlaufregelung sehr genau.

In der Auskühlphase erkennt man ebenfalls den Einfluss der Speichermassen. Das Luftheizungssystem reagiert am schnellsten auf die Fensteröffnung. Nach den 4 Stunden ist die Raumtemperatur auf 14°C und die operative Temperatur (aufgrund der langsamer auskühlenden Wände) auf 16°C abgesunken.

Am langsamsten kühlt das zentrale Sole-Wasser Wärmepumpensystem aufgrund der Speichermassen des nicht über Trittschalldämmung entkoppelten Estrichs aus. Hier liegen die Temperaturen nach 4 Stunden bei 16,5 bzw. 17,5°C.

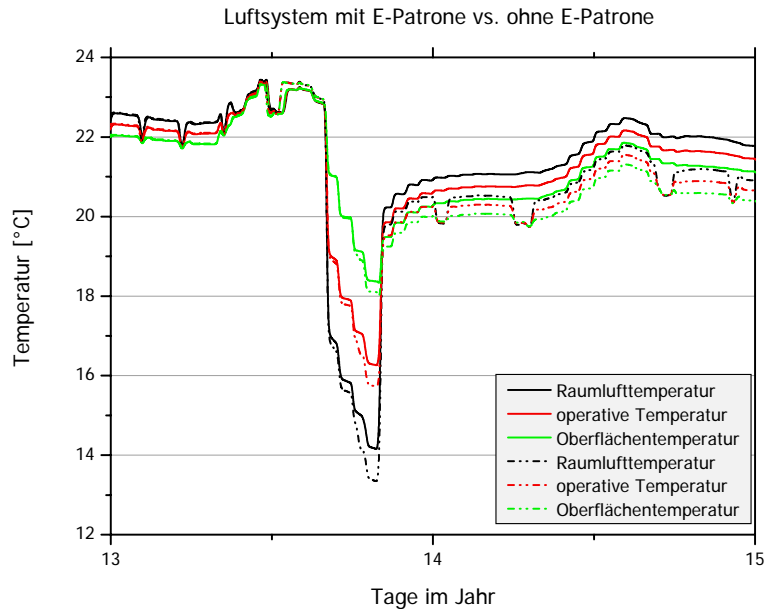


Abbildung 6-20: Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Wand-Oberflächentemperaturen für die Systeme LL-WP und LLWP_EP), Szenario a): 4 h Fensterlüftung, durchgezogene Linien: mit E-Patrone, gestrichelte Linie: ohne E-Patrone

Beim Aufheizen hat das Radiator-Pelletssystem nach 1,2 h die untere Raum-Solltemperatur (22°C) erreicht. Die Fußbodenheizung (Sole WP) erreicht nach 5,2 h diese Temperatur, da auch hier die Trägheit des Estrichs zum Tragen kommt. Das Luftsystem (LL-WP mit zus. E-Patrone (1,5 kW)) benötigt bereits 16 h und ohne der zusätzlichen E-Patrone würde es 18,6 h benötigen, wobei das System zwar durch die Sonneneinstrahlung am Tag nach der Fensterlüftung annähernd die Solltemperatur erreicht, sich aber eine weitere Woche (kalt und sonnenarm) nicht vollständig erholt und die geforderte Solltemperatur nicht mehr erreicht. Dies liegt an der aufgrund des festgelegten Volumenstroms und der durch die maximale Einblasetemperatur beschränkte Heizleistung (vgl. Kap. 5.1.2).

Abbildung 6-20 zeigt den Temperaturverlauf für das System Luft/Luft/Wasser Wärmepumpe mit und ohne E-Patrone im Detail. Hier zeigt sich, dass die Auskühlung mit E-Patrone etwas langsamer (die Heizung bleibt ja eingeschaltet) und der Aufheizvorgang schneller stattfindet, da durch die E-Patrone die Heizleistung erhöht wird.

Szenario b)

Abbildung 6-21 zeigt den Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Außentemperatur sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Systeme für das Szenario b) mit 14 Tagen Absenkung der Raumtemperatur auf 15°C im Winter mit anschließendem Wiederaufheizen. Das System zentrale Sole-Wasser Wärmepumpe kühlt auch hier aufgrund der Speichermassen langsamer aus als die anderen beiden Systeme. Beim Wiederaufheizen benötigt das Radiator – Pellets System 23,1 h, um die 22 °C zu erreichen. Beim System Fußbodenheizung und Sole-Wasser-Wärmepumpe dauert es 74,7 h, und das Luftsystem mit der zusätzlichen E-Patrone benötigt 211 h, um die 22°C zu erreichen. Ohne Verwendung der E-Patrone erreicht das Luftsystem im betrachteten Zeitraum nicht mehr den Bereich der Raumsolltemperatur. Auch hier zeigt sich wieder, wie im Szenario a), dass die Heizleistung der Luftsysteme sehr knapp bemessen ist und dass eine Nachheizung der Zuluft über ein

Elektroregister notwendig ist. Aus diesem Grund werden häufig kleine Elektroheizgeräte mit dem System gekoppelt, welche allerdings nur für solche Aufheizvorgänge eingesetzt werden brauchen.

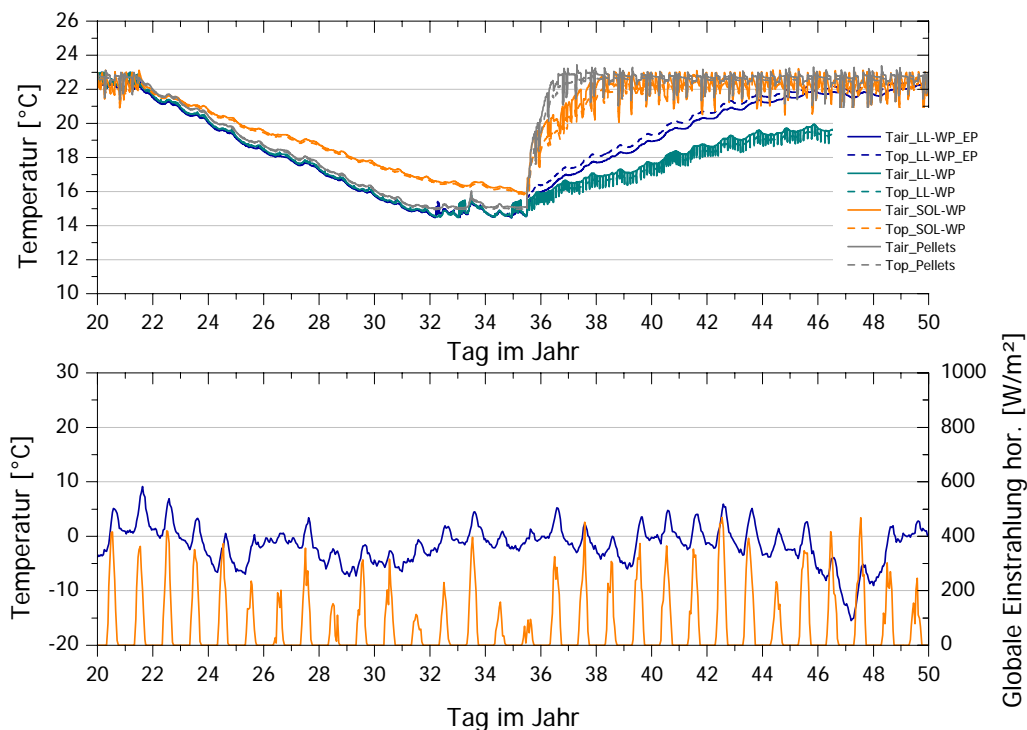


Abbildung 6-21: Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Außentemperatur sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Systeme (Pellets, Sole WP, LL-WP und LLWP_EP), Szenario b): 15 Tage auf 15°C abgesenkte Temperatur

6.4 Statistik Raumtemperaturen (Referenzgebäude 1)

6.4.1 Raumlufemperaturen

Mit den folgenden Auswertungen soll gezeigt werden, wie oft bei welchem System welche Raumtemperatur herrscht und wie das System die Raumlufteuchten beeinflusst. Anhand von Raumtemperaturverläufen kann man zum Beispiel trägere von schnelleren Systemen unterscheiden.

Abbildung 6-22 zeigt die prozentuale Verteilung der Raumtemperatur im Vergleich zur Raumsolltemperatur für die Systeme dezentrale Luft/Luft/Wasser Wärmepumpe mit E-Patrone zur Nachheizung (Luft), zentrale Pelletsheizung mit Radiator (Rad) und Zentrale Sole/Wasser Wärmepumpe mit Fußbodenheizung (Fubo). Wiederum wurde das System zentrale Gasheizung nicht betrachtet, da es idente Ergebnisse wie die Pellets-Anlage gibt. Die Auswertung der Raumtemperaturen erfolgte in Intervallen von 0,1 K. Generell werden für die Referenzbedingungen von allen Systemen die Raumtemperaturen gut eingehalten

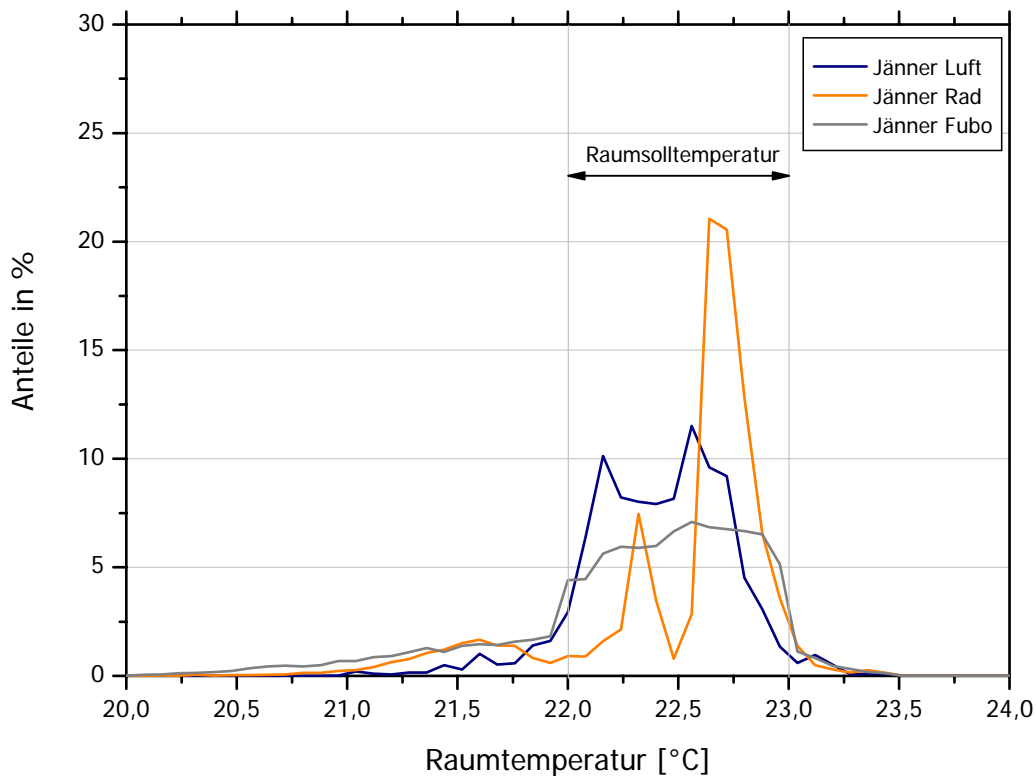


Abbildung 6-22 Histogramm der Raumlufttemperaturen (Monat Jänner)
 Luft: dezentrale Luft/Luft/Wasser Wärmepumpe mit E-Patrone,
 Rad: zentrale Pelletsheizung mit Radiator,
 Fubo: zentrale Sole/Wasser Wärmepumpe mit Fußbodenheizung

Das System dezentrale Luft/Wasser-Wärmepumpe mit E-Patrone (Luft) hat im Jänner (minimale Außentemperaturen bei bis zu -16°C) zwar noch keine Probleme, die Raumsolltemperatur aufrecht zu erhalten, hat aber im Schnitt weniger Anteile über den $22,5^{\circ}\text{C}$ als die anderen zwei Systeme. Das System zentrale Pelletsheizung mit Radiator (Rad) hält die Raumlufttemperatur meist knapp über $22,5^{\circ}\text{C}$, wobei die Anteile unter $22,5^{\circ}\text{C}$ auf die Zeiten mit vorrangiger Warmwasserbereitung zurückzuführen sind. Beim System Fußbodenheizung und Sole-Wärmepumpe (Fubo) kommt es aufgrund der trägen Fußbodenheizung und der regelmäßigen Ladung der dezentralen Warmwasserboiler zu einer gleichmäßigen Verteilung der Raumlufttemperaturanteile.

Abbildung 6-23 zeigt die Temperaturverteilung zusätzlich für die Monate Dezember und Februar. Das Luftsystem hat in den Monaten Dezember und Februar deutlich mehr Anteile über der geforderten Solltemperatur was die Vermutung aus der Abbildung 6-21 bestätigt, dass das Luftsystem im Jänner an der Grenze seiner Leistungsfähigkeit ist.

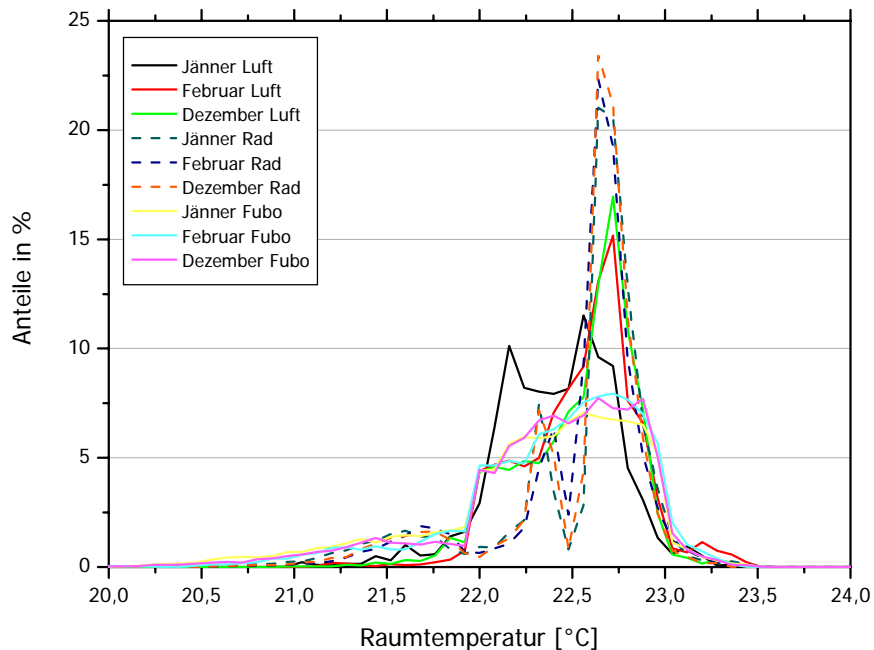


Abbildung 6-23 Histogramm der Raumlufttemperaturen (Monate Dezember Jänner Februar):
 Luft: dezentrale Luft/Luft/Wasser Wärmepumpe mit E-Patrone,
 Rad: zentrale Pelletsheizung mit Radiator,
 Fubo: zentrale Sole/Wasser-Wärmepumpe mit Fußbodenheizung

In Abbildung 6-24 wird nun der Frage nachgegangen, wie sich die Raumtemperaturen bei den beiden in Kap. 6.2 Extremszenarien (Ex1, hohe Heizlast und Raumtemperatur, Ex2, niedrige Heizlast und Raumtemperatur) verhalten. Auch hier können alle Systeme die geforderten Raumtemperaturen auch bei 25°C Raumsolltemperatur halten. Das Radiatorsystem regelt hierbei die Temperatur sehr exakt ein. Bei der Fußbodenheizung kommt es bei den hohen Temperaturen zu Problemen, da das Zeitfenster für die Brauchwarmwasserbereitung beginnt, sich negativ auf das Halten der Raumtemperatur auszuwirken. Die Luftheizung hat eine gleichmäßige Temperaturverteilung innerhalb des erlaubten Regelungsbereichs von 24,5°C bis 25,5°C. Wird also keine Zusatzheizlast für das Aufwärmen benötigt, so kann das dezentrale Luft/Luft/Wasser-System auch höhere Raumtemperaturen halten.

Im September beginnen sich die Raumtemperaturen im Extremszenario 1 (hohe Heizlast) zu ändern, da er außerhalb der Heizperiode liegt und die Heizung in der Simulation nicht eingeschaltet wird. Daraus sieht man, dass die betrachtete Heizperiode für diese Annahme eigentlich verlängert werden müsste. Für das Extremszenario 2 (niedrige Heizlast) zeigt sich, dass die Heizung im April und Oktober oft noch nicht eingeschaltet werden muss, da die Raumtemperaturen durch die passiven und inneren Gewinne hoch genug liegen. Dies ist auch der Grund für die großen Heizenergieunterschiede für diese beiden Annahmen (vgl. auch Tabelle 1-1).

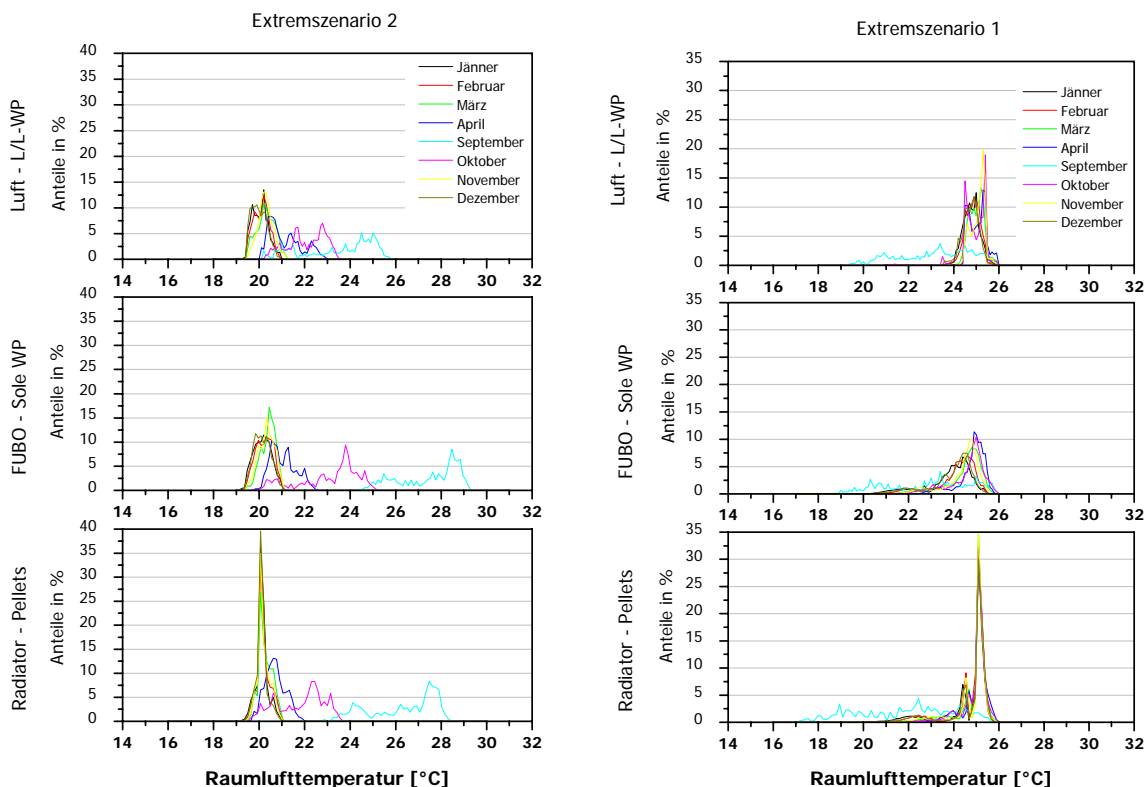


Abbildung 6-24 Histogramm der Raumlufthtemperaturen (Heizperiode) für die beiden in Kap. 6.2 definierten Extremvarianten und die drei betrachteten Systeme

6.4.2 Raumlufthfeuchten

Ein weitere Punkt für die Bewertung der Heizungssysteme stellt die sich einstellende Raumlufthfeuchte dar. Diese ist abhängig vom Luftwechsel und von den inneren Feuchtequellen wie Personen und Pflanzen. Je größer der Luftwechsel, desto mehr wird im Winter absolut trockenere Luft von außen in den Raum gebracht und dort aufgeheizt, was zu einer geringeren relativen Luftfeuchtigkeit führt.

Abbildung 6-25 zeigt die monatsweise Verteilung der Raumlufthfeuchten für das zentrale Pellets-Wassersystem und das dezentrale Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem. Die Systeme unterscheiden sich primär im Luftwechsel, der beim Pellets-System konstant $0,4 \text{ h}^{-1}$ und beim dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem während des Heizbetriebs $0,54 \text{ h}^{-1}$ ist, um ausreichend Heizleistung bereitstellen zu können. Die Raumlufthfeuchten wurden mit einem Intervall von einem Prozent-Punkt ausgewertet.

Die monatlichen Verläufe der Raumlufthfeuchten sind sehr ähnlich. Unterschiede sind vor allem bei den Anteilen der höheren Luftfeuchte erkennbar. So reichen z.B. die Feuchteanteile beim Radiatorsystem im Jänner bis knapp über die 40% Marke. Beim Luftsystem beträgt die maximale Luftfeuchte im Jänner maximal 35%. Diese Differenz von ca. 5% zeigt sich auch in den anderen Monaten. So ist der Anteil an Raumlufthfeuchtigkeit von 25% in den Monaten Dezember bis Februar zwischen 9-10% für das dezentrale Luft/Luft/Wasser Wärmepumpensystem und 6-7% beim Radiator System. Dieser Unterschied kann natürlich durch Aufstellen von Pflanzen etc. wieder wettgemacht werden. Zieht man allerdings in Betracht, dass bei der winterlichen Fensterlüftung kaum die angenommenen $0,4 \text{ h}^{-1}$ erreicht werden, fällt der Unterschied der Luftfeuchte entsprechend deutlicher aus.

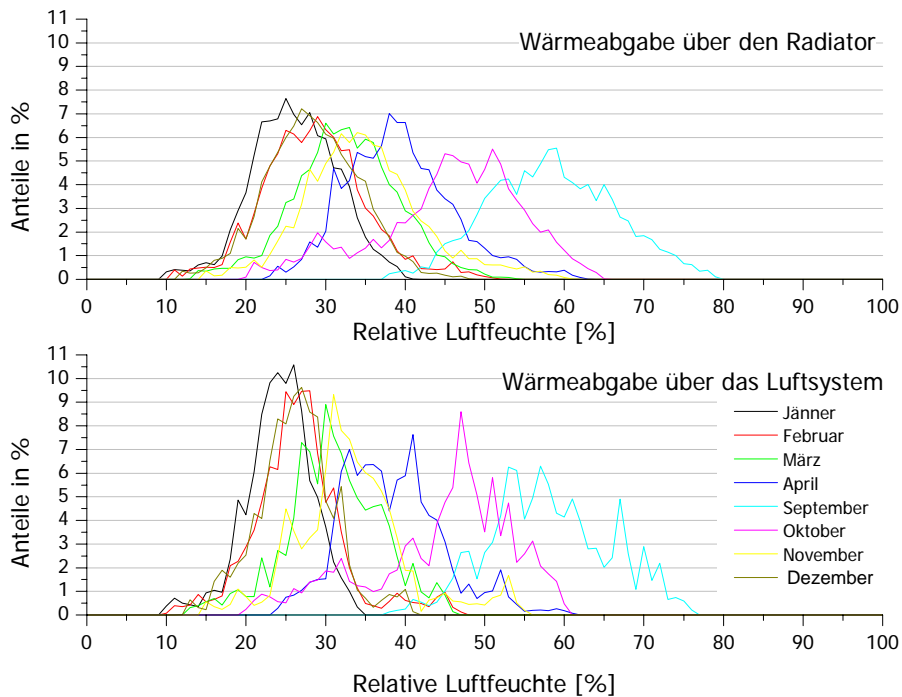


Abbildung 6-25 Histogramm der Raumlufffeuchten (Monatsweise dargestellt) für die Referenzbedingungen

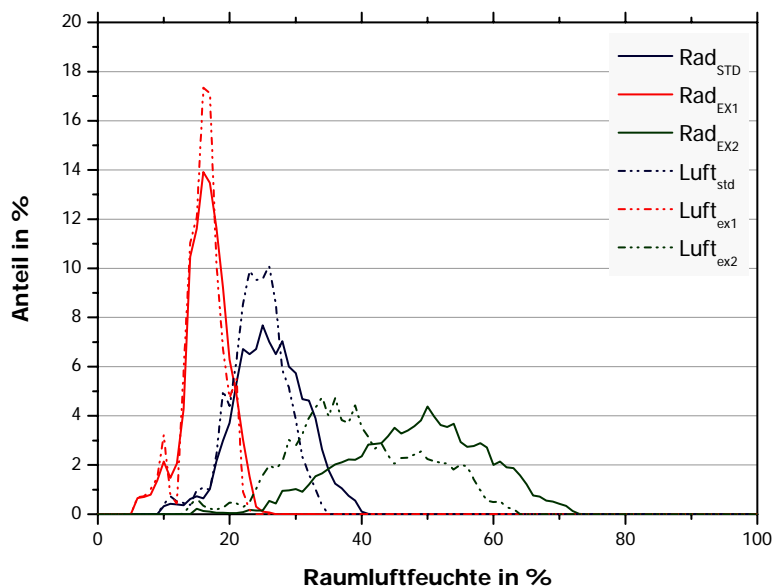


Abbildung 6-26 Histogramm der Raumlufffeuchten (Heizperiode) für die in Kap. 6.2 definierten Extremszenarien und die Standardbedingungen

Der Vergleich der Raumlufffeuchte zwischen dem Radiatorsystem gegenüber dem Luftsystem in Abbildung 6-26 zeigt eine deutliche Tendenz zur geringeren Luftfeuchte bei der Verwendung von Luftsystemen bei geringeren Heizlasten (Ex 2 und Standard). Bei der niedrigen Heizlast wurde ein sehr niedriger Luftwechsel von angenommen. Bei Fensterlüftung wird dieser auch auf $0,2 \text{ h}^{-1}$ gehalten, bei der Luftheizung wird jedoch im Heizbetrieb ein Luftwechsel von $0,54 \text{ h}^{-1}$ gefahren, was zu deutlich höherem Luftwechsel und daher auch niedrigeren Luftfeuchtigkeiten führt. Bei hohen Heizlasten ist die Raumlufffeuchte beider System fast gleich, da hier zum einen ein Luftwechsel von

0,8 h⁻¹ für das Radiatorsystem und 0,67 h⁻¹ (für das gewählte Gerät maximal möglicher Volumenstrom) für das Luftsystem gewählt wurden und die höhere Raumtemperatur auch bei Fensterlüftung generell zu geringen Raumluftfeuchten führt. In diesem Fall muss der Luftwechsel zur Beheizung nicht erhöht werden.

6.4.3 Heizleistung

Als letzte Auswertung der Berechnungen für das Referenzgebäude 1 wurde der Verlauf der Heizlast in Abhängigkeit von solarer Einstrahlung und Außentemperatur analysiert. Abbildung 6-27 zeigt den Heizlastverlauf für eine typische Winterwoche mit einigen strahlungsarmen Tagen in der Mitte der Woche für das dezentrale Luft/Luft/Wasser Wärmepumpensystem ohne Sonnenkollektor und mit E-Patrone. Die maximale zuführbare Heizleistung der Wärmepumpe beträgt 12,5 W/m² bestehend aus der Abwärme des Kompressors, der Kondensatorleistung, der Zusatzheizung (E-Patrone) und der Ventilatorabwärme. Man sieht, dass die Wärmepumpe in der strahlungsarmen und kalten Zeit ohne Unterbrechung durchlaufen muss, um die Raumtemperatur zu halten.

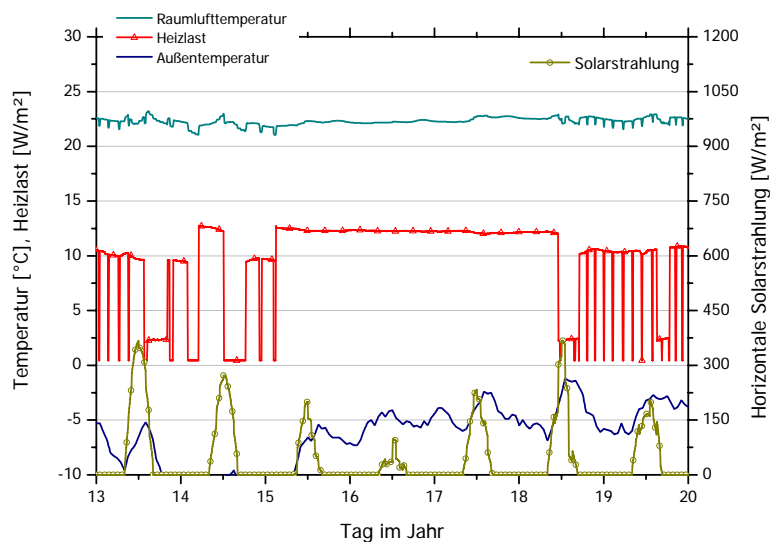


Abbildung 6-27 Heizlastverlauf für eine typische strahlungsarme Woche; dezentrales Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem ohne Sonnenkollektor mit E-Patrone

Abbildung 6-28 zeigt dasselbe System in einer sonneneinstrahlungsreichen Woche. Die maximal benötigte Heizleistung beträgt 11 W/m², bestehend aus der Abwärme des Kompressors, der Kondensatorleistung und der Ventilatorabwärme. Man erkennt deutlich, dass die Wärmepumpe bei Sonneneinstrahlung selbst bei sehr geringen Außentemperaturen am Ende der betrachteten Woche aufgrund der passiven solaren Gewinne im Gebäude immer abschalten kann.

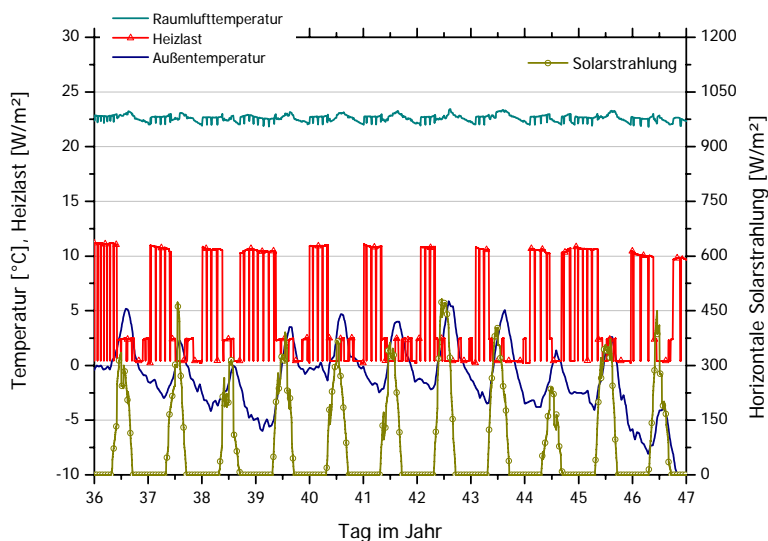


Abbildung 6-28 Heizlastverlauf für eine typische strahlungsreiche Woche; dezentrales Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem ohne Sonnenkollektor mit E-Patrone

Ein ähnliches Verhalten kann beim zentralen Pellets-System mit Radiatoren gesehen werden. Abbildung 6-29 zeigt das Verhalten für dieselben strahlungsarmen und strahlungsreichen Wochen. In diesem Fall wurde ein konstanter Luftwechsel über den Tag von $0,4 \text{ h}^{-1}$ angenommen. Wiederum ist das Durchlaufen der Heizung in der strahlungsarmen Zeit zu sehen. Die maximale Heizleistung unter dieser Lüftungsannahme beträgt für dieses System 25 W/m^2 . Wird allerdings das Fensterlüftungsprofil aus Kap. 4.2.2 der Simulation zugrunde gelegt, so steigt, aufgrund der stoßweisen Belastung, die notwendige Heizleistung auf 40 W/m^2 . Diese Werte liegen natürlich wesentlich höher, als bei dem dezentralen Luft/Luft/Wasser System, da keine Abluftwärmerückgewinnung eingesetzt wird

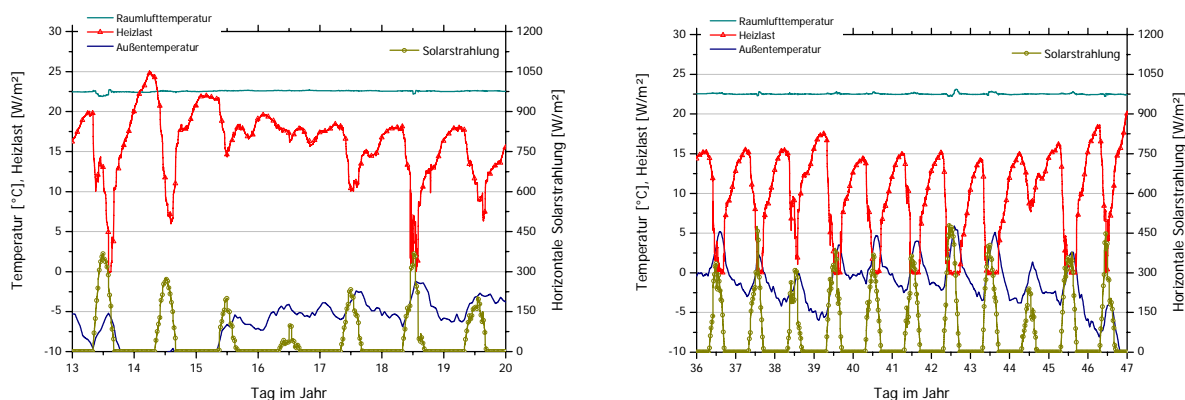


Abbildung 6-29 Typische strahlungsarme und strahlungsreiche Woche (Pellets-Radiatorsystem konstanter Luftwechsel)

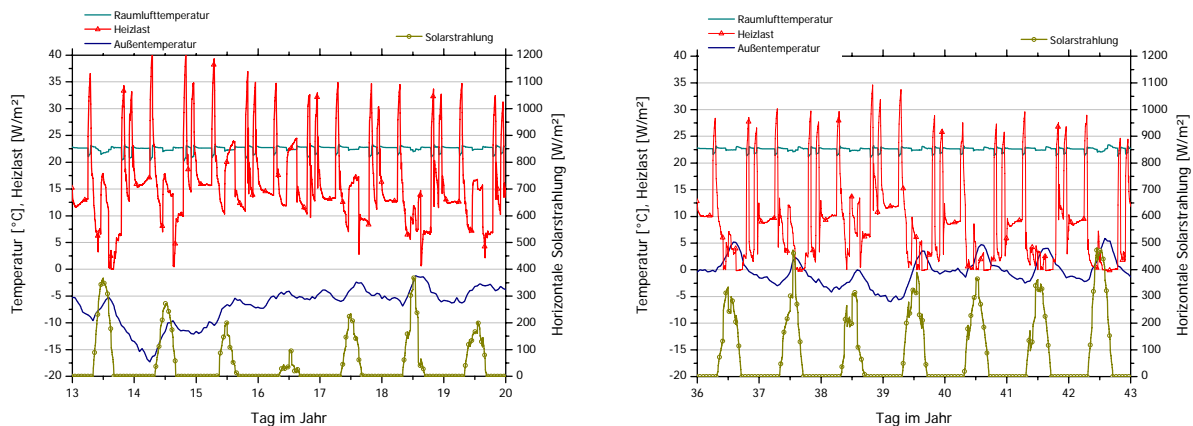


Abbildung 6-30 Typische strahlungsarme und strahlungsreiche Woche (Pellets-Radiatorsystem mit Fensterlüftungsprofil aus Kap. 4.2.2)

6.5 Auswertung des Referenzgebäude 2 (12 WE Mehrfamilienhaus)

6.5.1 Standardvariante und Extremszenarien

Für das Referenzgebäude 2 (12 Wohneinheiten, vgl. Kap. 4.2.4) wurde ebenso alle Berechnungen durchgeführt. Allerdings wurde das dezentrale Luft/Luft/Wasser Wärmepumpen-System nicht berücksichtigt, da sich im dezentralen Teil keine Änderungen gegenüber dem Referenzgebäude 1 ergeben und nur bedingt ein zentraler EWT möglich ist, da er ein aufwändiges Luftverteilsystem im Gebäude benötigt.

Abbildung 6-31 bis Abbildung 6-37 zeigen die Ergebnisse für das Referenzgebäude 2 nach demselben Muster wie für das Referenzgebäude 1 in den vorangegangenen Kapiteln. Generell ist der Energieverbrauch aufgrund des etwas besseren Wirkungsgrades von größeren Wärmeerzeugern für alle Systeme und geringfügig wegen der größeren Kompaktheit des Gebäudes 5 – 10 % geringer als für das Referenzgebäude 1. An den Größen zueinander ändert sich im Referenzgebäude 2 gegenüber dem Referenzgebäude 1 aber nichts relevantes.

Gleiches gilt auch für End-, Primärenergie-, CO_2 -äquivalent Bilanz sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme (Abbildung 6-32). Den geringsten Endenergiebedarf hat die zentrale Sole/Wasser Wärmepumpe, beim Primärenergiebedarf liegen Gas-Solar und Sole/Wasser mit $80 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ gleichauf. Bei den Wärmegestehungskosten liegen die Systeme Gas und Pellets sowohl mit als auch ohne Sonne gleichauf. Die Sole/Wasser Wärmepumpe hat aufgrund der hohen Kapitalkosten die höchsten Wärmegestehungskosten. Das Kriterium $120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ Primärenergiebedarf erreichen jetzt annähernd die Systeme Gaskessel –Solar und Sole/Wasser Wärmepumpe bei einem Haushaltsstrombedarf nach Feist (PHPP, 1999) von $2,1 \text{ W/m}^2$ (Abbildung 6-33). Unter Zugrundelegung des im CEPHEUS (2001) gemessenen Haushaltsstroms von $3,3 \text{ W/m}^2$ erreicht keines der angegebenen Systeme diese Kriterium. Allerdings wurde andere Randbedingungen als im PHPP-Programm angenommen (z.B. Raumtemperatur von $22,5^\circ\text{C}$ im Gegensatz zum PHPP-Programm von 20°C , vgl. auch Tabelle 1-1). Daher sind die Ergebnisse nur in der Relation zueinander aber nicht absolut vergleichbar.

Vergleicht man den Gebäudeenergieverbrauch des Referenzgebäudes 2 (Abbildung 6-34) mit dem des Referenzgebäudes 1 (Abbildung 6-14) so wird praktisch kein Unterschied ersichtlich. Der Unterschied in Kompaktheit der Gebäude geht daher nur in geringem Maß in den Energiebedarf ein. Dies ist auf die generell sehr kompakte Bauweise beider Gebäude und den geringen Einfluss der Transmissionswärmeverluste aufgrund der sehr guten Wärmedämmung der Außenhülle zurückzuführen.

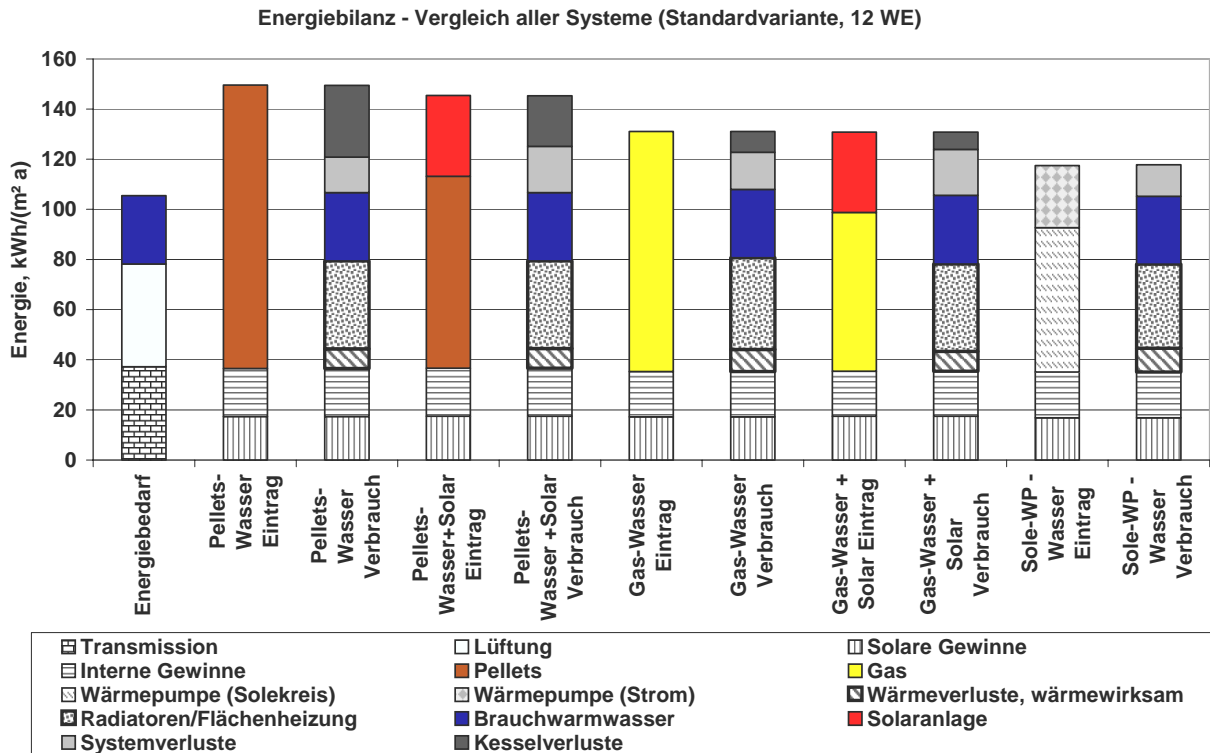


Abbildung 6-31 Energiebilanz aller simulierten Systeme (Standardvariante, Referenzgebäude 2, 12 WE) ohne Haustechnik- und Haushaltsstrom

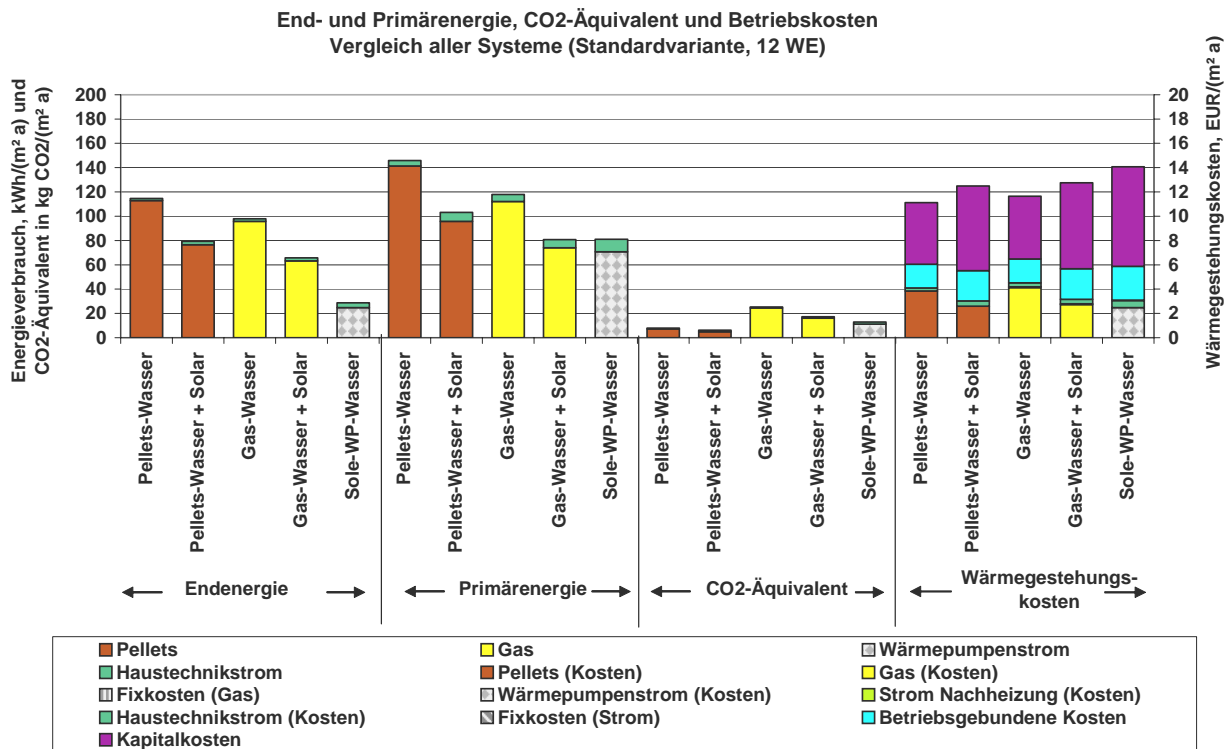


Abbildung 6-32 End- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent-Emissionen sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme ohne Haushaltsstrom (Standardvariante, Referenzgebäude 2, 12 WE)

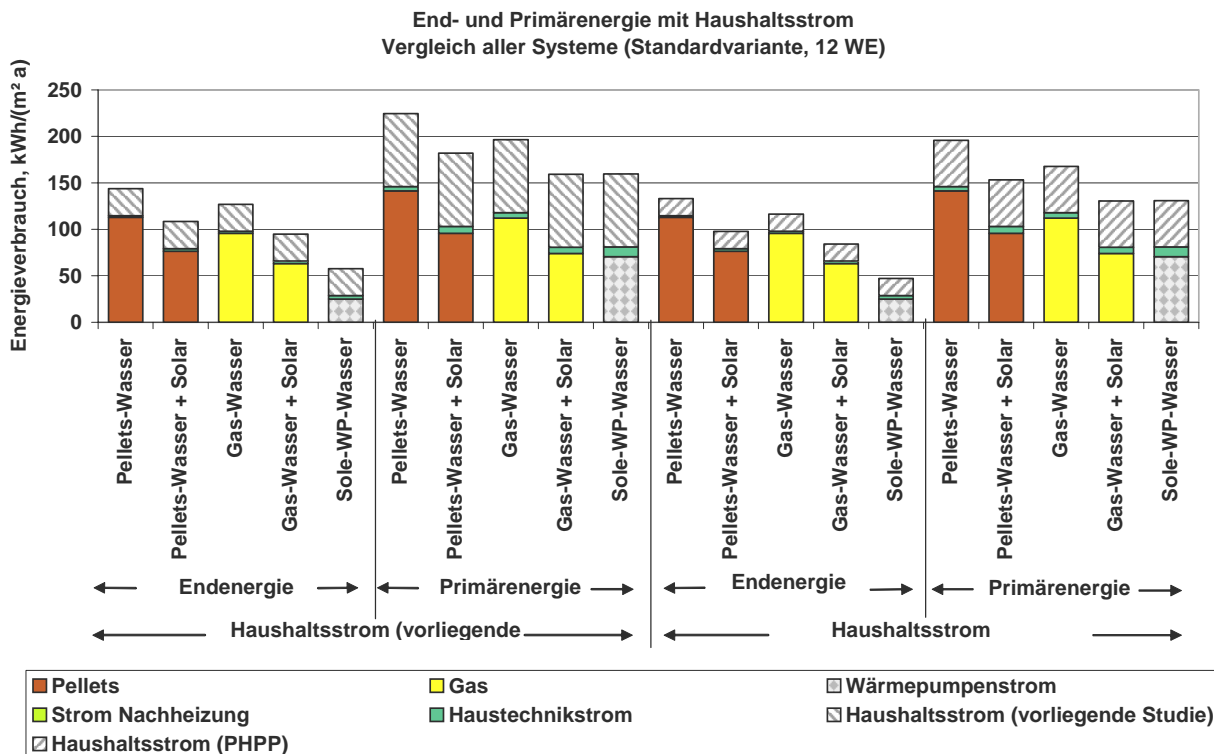


Abbildung 6-33 End- und Primärenergiebedarf der simulierten Heizungssysteme mit Haushaltsstrom nach Messung im Projekt CEPHEUS (2001) und nach Feist (PHPP, 1999) (Standardvariante, Referenzgebäude 2, 12 WE)

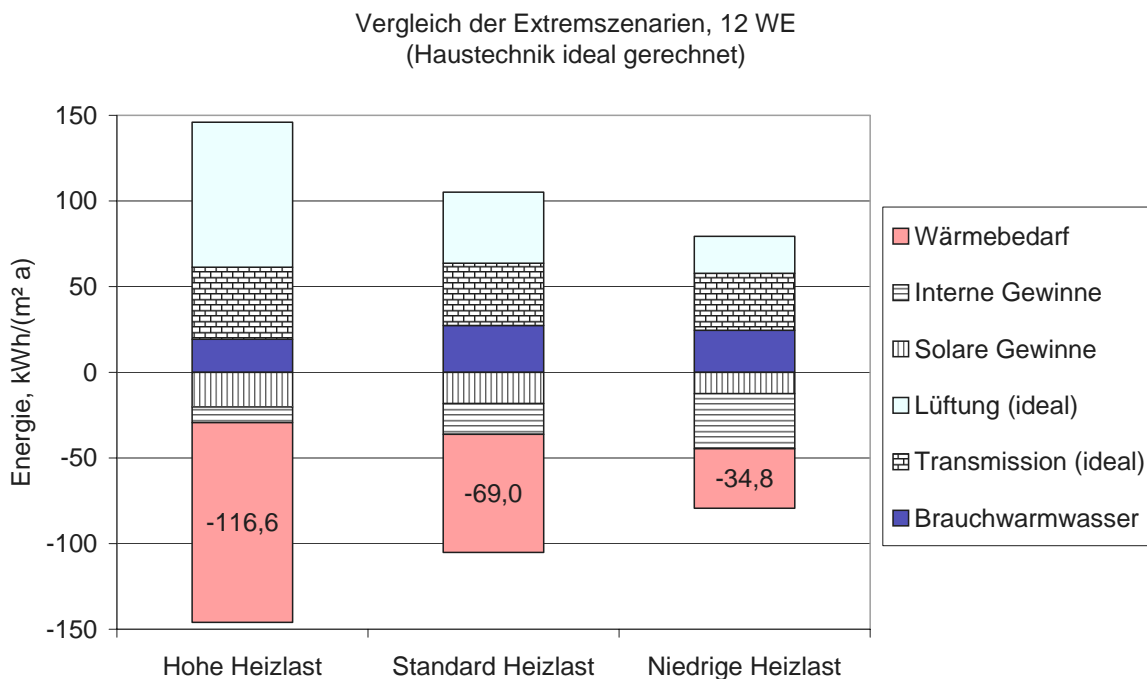


Abbildung 6-34 Vergleich der Extremszenarien für ideale Heizung (Referenzgebäude 2)

Auch bei Analyse der Extremszenarien zeigt sich ein für das Referenzgebäude 2 ein sehr ähnliches Bild wie beim Referenzgebäude 1. Der spezifische Energiebedarf des Gebäudes liegt gleich hoch, und

der Gesamtenergiebedarf der Heizungssysteme ist etwas geringer, aber die Verhältnisse relativ zueinander und auch die Unterdeckung im Szenario 1 (hohe Heizlast) liegen ähnlich wie beim Referenzgebäude 1 (Abbildung 6-35).

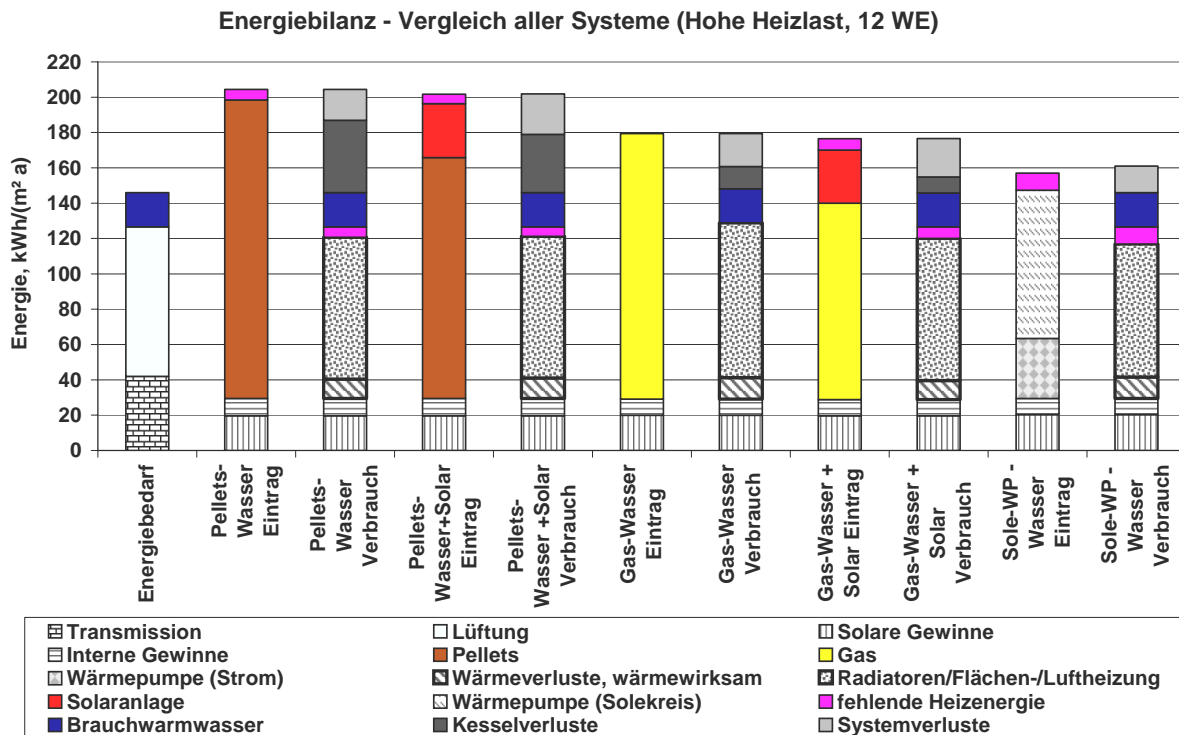


Abbildung 6-35 Vergleich des Extremszenarios 1 für alle untersuchte Varianten (Referenzgebäude 2)

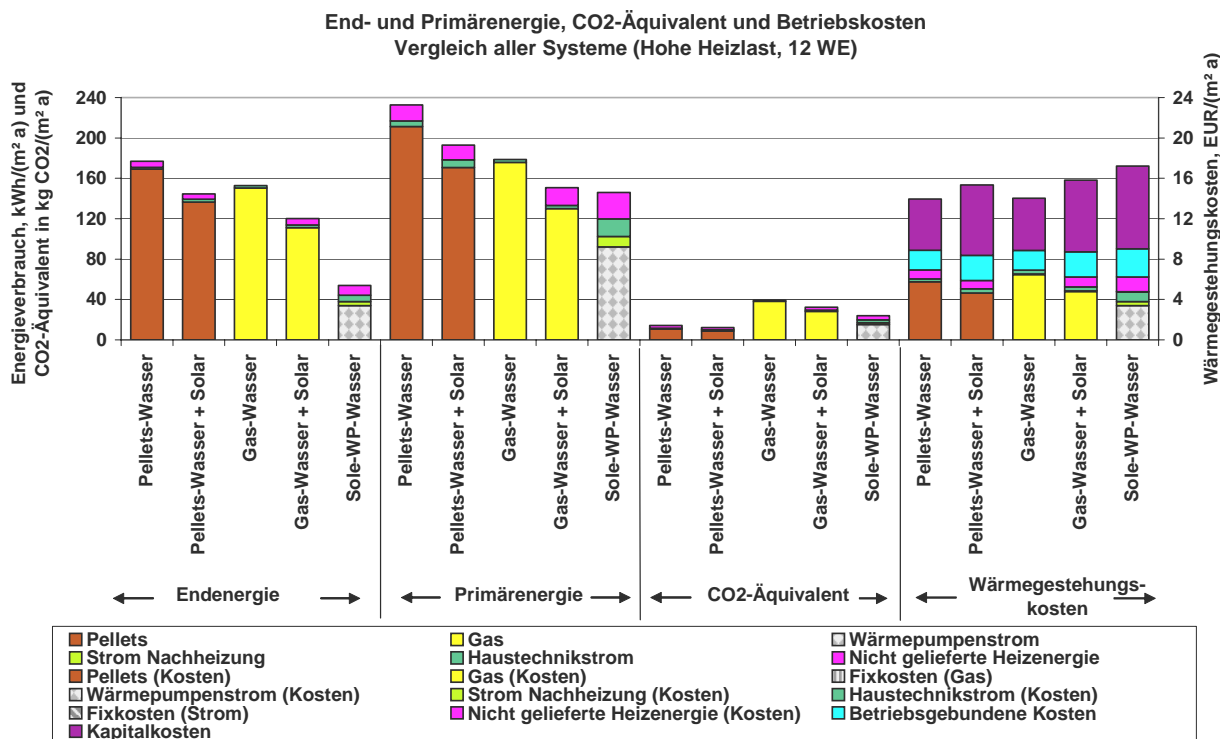


Abbildung 6-36 End- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent-Emissionen sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme ohne Haushaltsstrom (Extremvariante 1, hohe Heizlast, Referenzgebäude 2, 12 WE)

Ebenso liegen die End-, Primärenergie-, CO₂-äquivalent Bilanz sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme für die beiden Extremszenarien etwas unter denen des Referenzgebäudes 1 (Abbildung 6-36 und Abbildung 6-37). Für das Szenario 2 (niedrige Heizlast) liegt der Primärenergiebedarf von Pellets-Solar und Gas Solar unter dem der Sole/Wasser Wärmepumpe, da deren Jahresnutzungsgrad, wie in Kap 6.2 beschrieben, für dieses Szenario sinkt.

Die Erhöhung der Wärmegestehungskosten für das Szenario hohe Heizlast liegt wiederum am erhöhten Heizenergiebedarf und an den durch Stromheizung abgedeckten nicht gelieferten Heizenergie des Heizungssystems.

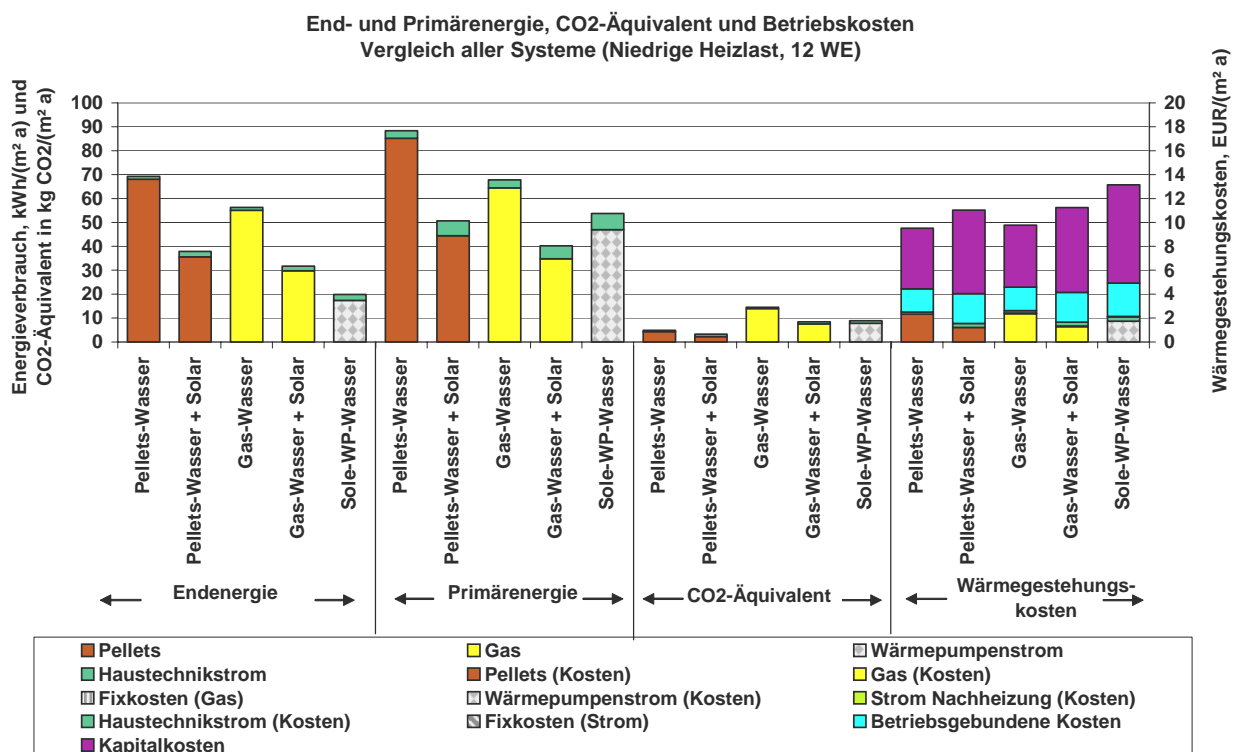


Abbildung 6-37 End- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent-Emissionen sowie Wärmegestehungskosten der simulierten Heizungssysteme ohne Haushaltsstrom (Extremvariante 2, niedrige Heizlast, Referenzgebäude 2, 12 WE)

6.5.2 Härtetest für alle Systeme (Referenzgebäude 2)

Für das Referenzgebäude 2 wurde ebenfalls die zwei Szenarien des „Härtetest“, der in Kapitel 6.3 beschrieben wurde, berechnet.

- Fenster über einen Zeitraum von 4 Stunden nach Sonnenuntergang (ab 16 h) in einer Winterwoche mit mittleren Einstrahlung und anschließender tiefer Außentemperatur geöffnet. Die Heizung läuft weiter.
- Absenkung der Raum-Solltemperatur über 14 Tage im Winter auf 15°C mit Lüftungsverlusten nur durch Infiltration. Danach Wiederaufheizung auf 22,5°C Raumtemperatur.

Generell ergeben sich keine signifikanten Unterschiede zum Verlauf der Raumtemperaturen zum Referenzgebäude 1.

Szenario a)

Abbildung 6-38 zeigt im oberen Teil die operative und Zonen-Lufttemperatur sowie die aktuelle Luftwechselrate, im unteren Teil die Außenlufttemperatur und die Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche vor und während des Auskühlvorgangs sowie beim anschließenden Aufheizvorgang. Die operative Temperatur ergibt sich aus dem Mittelwert zwischen Umschließungsflächen und Lufttemperatur und stellt die Empfindungstemperatur des Menschen, der sich im Strahlungsaustausch mit den umschließenden Wänden befindet, dar. Die betrachteten Systeme sind das zentrale Pelletssystem (Pellets) und Gassystem (Gas), das zentrale Sole-Wasser Wärmepumpensystem (SOL-WP). Das Gas- und das Pelletessystem verhalten sich sehr ähnlich

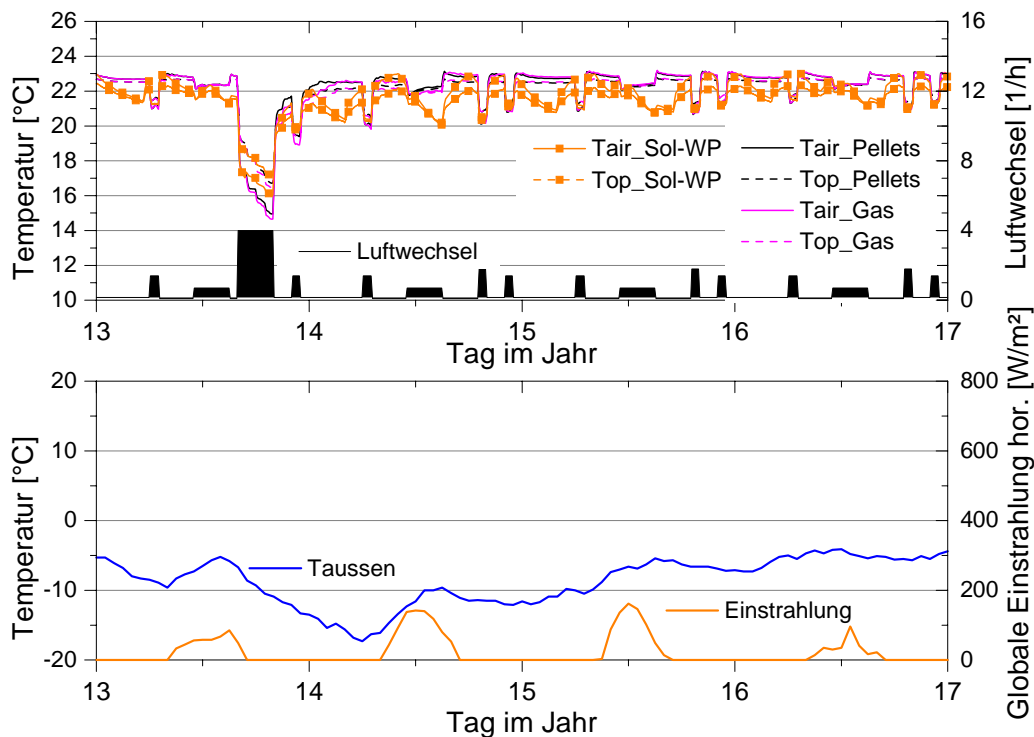


Abbildung 6-38: Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Außentemperatur (Taussen) sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Systeme (Gas, Pellets, Sole WP), Szenario a): 4 h Fensterlüftung

Vor dem Auskühlvorgang wird die Raumtemperatur von allen Systemen gehalten. Die Reglereinstellung erlaubt eine Temperaturschwankung zwischen 22 und 23°C. Das zentrale Sole-Wasser-Wärmepumpensystem (SOL-WP) zeigt Raumtemperaturschwankungen. Bei Erreichen der oberen Temperatur schaltet sich das System ab und es dauert aufgrund der Speichermasse im Estrich einige Zeit bis die Raumtemperatur die untere Regelgrenze erreicht hat. Beim Wiederaufheizen der Heizung kann es zu einer leichten Unterschreitung von 22°C kommen, da es einige Zeit dauert, bis die Speichermasse Estrich, welche bei diesem System im Gegensatz zu den anderen Systemen nicht über eine Trittschalldämmung wärmetechnisch entkoppelt ist, auf die Wärmezufuhr mit einer Wärmeabgabe an den Raum reagiert. Das Radiatorsystem mit der zentralen Gas- und Pelletsanlage hält die Raumtemperatur über die Thermostatventile in den Radiatoren und die außentemperaturgeführte Vorlaufregelung sehr genau. Allerdings sind bei beiden Systemen deutlich die Lüftungszeiten mit einer Absenkung der Raumtemperatur zu erkennen.

In der Auskühlphase erkennt man den Einfluss der Speichermassen. Am langsamsten kühlt das zentrale Sole-Wasser Wärmepumpensystem aufgrund der Speichermassen des nicht über Trittschall-dämmung entkoppelten Estrichs aus. Hier liegen die Temperaturen nach 4 Stunden bei 16 bzw. 17°C.

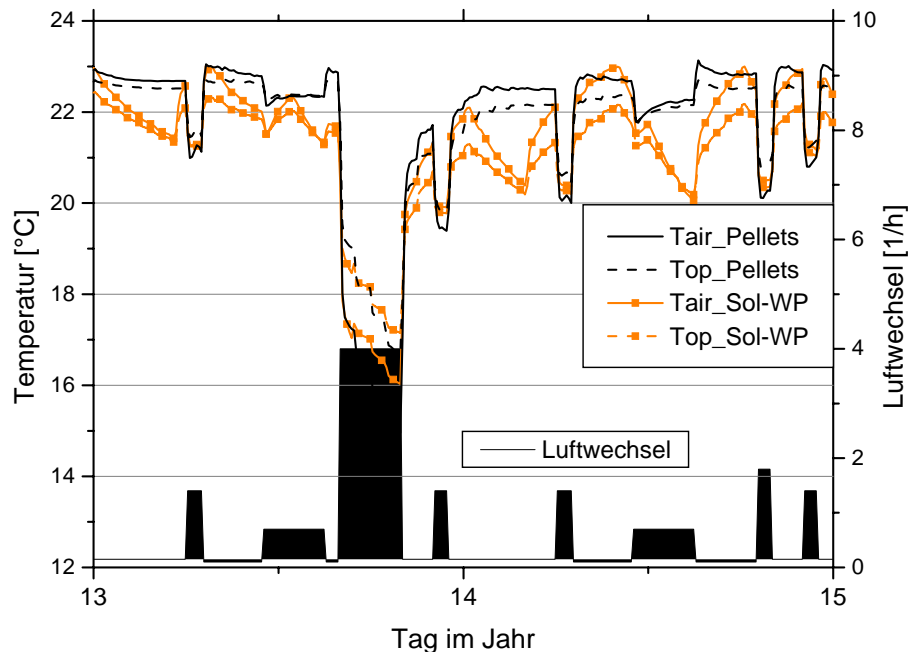


Abbildung 6-39: Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Wand-Oberflächentemperaturen für die Systeme, Szenario a): 4 h Fensterlüftung, durchgezogene Linien: mit E-Patrone, gestrichelte Linie: ohne E-Patrone, Referenzgebäude 2

Beim Aufheizen hat das Radiator-Pelletssystem nach 3 h die untere Raum-Solltemperatur (22°C) erreicht. Die Fußbodenheizung (Sole WP) erreicht nach 5 h diese Temperatur. Die Trägheit des Estrichs kommt zwar beim Aufheizen zum Tragen, jedoch bewirkt sie auch eine geringere Abkühlung, wodurch die Wiederaufheizzeiten annähernd gleich lang sind. Abbildung 6-39 zeigt den Temperaturverlauf für die Systeme im Detail.

Szenario b)

Abbildung 6-40 zeigt den Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Außentemperatur sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Systeme für das Szenario b) mit 14 Tagen Absenkung der Raumtemperatur auf 15°C im Winter mit anschließendem Wiederaufheizen. Das System zentrale Sole-Wasser Wärmepumpe kühlt aufgrund der Speichermassen langsamer aus als die anderen beiden Systeme. Die Raumtemperatur sinkt, aufgrund der größeren Kompaktheit der Gebäude im Vergleich zum Referenzgebäude 1, innerhalb dieses Zeitraums nicht unter 17°C wohingegen die Radiatorsysteme bereits nach 9 Tagen 15°C erreichen. Beim Wiederaufheizen benötigt das Radiator – Pellets System 24 h, um die 22 °C zu erreichen. Beim System Fußbodenheizung und Sole-Wasser-Wärmepumpe dauert ebenfalls nur 24 h, da mit höheren Temperaturen gestartet wird.

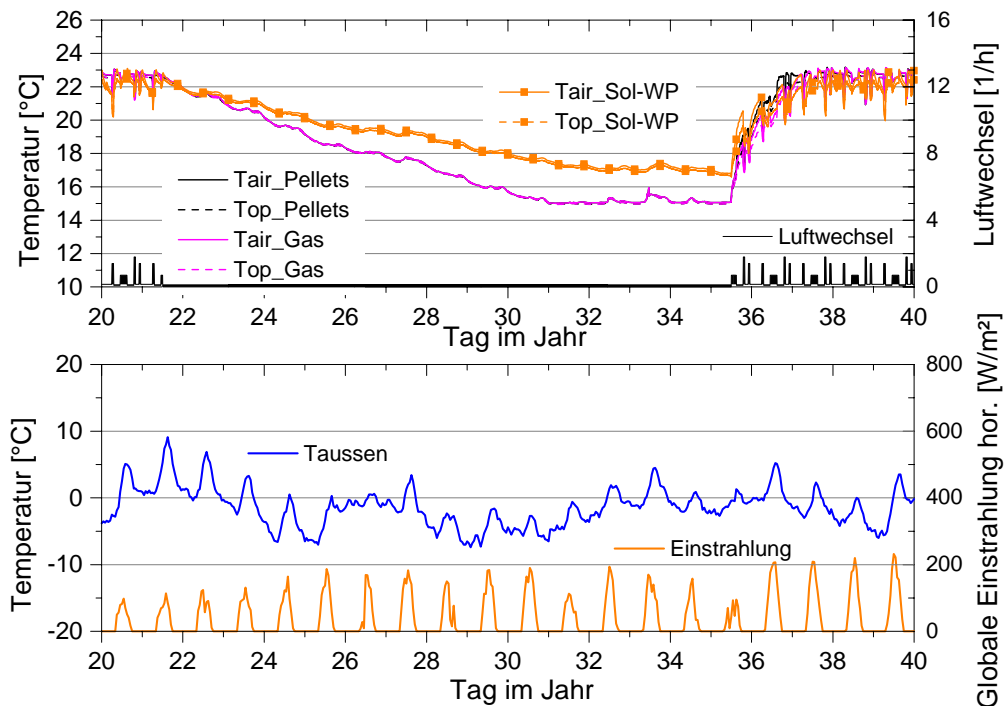


Abbildung 6-40: Verlauf von operativer (Top), Luft- (Tair) und Außentemperatur sowie Globalstrahlung auf die Horizontale für die verschiedenen Systeme (Pellets, Sole WP, LL-WP und LLWP_EP), Szenario b): 15 Tage auf 15°C abgesenkte Temperatur, Referenzgebäude 2

6.6 Übersicht über die quantitative Bewertung

Die Tabelle 6-13 zeigt die Zusammenfassung der Ergebnisse der quantitativen Bewertung für das Referenzgebäude 1. Da die Ergebnisse des Referenzgebäudes 2 sich nicht signifikant vom Referenzgebäude 1 unterscheiden (außer das der Energiebedarf aufgrund der größeren Kompaktheit der Gebäude etwas geringer ist) wird auf eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Referenzgebäudes 2 verzichtet.

Als Ergebnis können die folgenden Aussagen getroffen werden:

Der Heizenergiebedarf für die Luftsysteme ist aufgrund des von $0,4 \text{ h}^{-1}$ auf $0,54 \text{ h}^{-1}$ erhöhten Luftwechsels etwas höher als bei den anderen Systemen. Der erhöhte Luftwechsel war zum Abdecken des Heizenergiebedarfs notwendig (vgl. Kap. 4.2.2).

Der Endenergiebedarf (Heizung, Bauchwarmwasser, Wärmeverluste) ist für die verschiedenen Systeme der Standardvariante sehr unterschiedlich. Die zentrale Pelletsheizung ohne Solaranlage (PoS) hat mit $126 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ den höchsten und die Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage (Luft mS) mit $13,7 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ Endenergiebedarf (ohne Haustechnikstrom). Es tritt also ein Verhältnis 1 : 9 zwischen diesen beiden Extremvarianten auf. Die mit Strom betriebenen Wärmepumpenvarianten (SWP und Luft) können den Endenergieeinsatz Strom aufgrund der Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen bei der Wärme vervielfachen.

Tabelle 6-13 Ergebniszusammenfassung der quantitativen Bewertung der Heizungssysteme

		PoS	PmS	GoS	GmS	SWP	Luft oS	Luft mS
Standardvariante								
Heizenergiebedarf	kWh/m ² a	45,9	45,9	45,9	45,9	45,1	48,6	48,1
Brauchwarmwasserbedarf	kWh/m ² a	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9	24,9
Endenergiebedarf								
Pellets/Gas	kWh/m ² a	126	82,5	102	69,4			
Strom Heizung	kWh/m ² a					22,0	27,5	13,7
Strom Haustechnik	kWh/m ² a	2,2	4,1	2,1	3,4	4,6	1,5	3,6
Primärenergiebedarf	kWh/m ² a	163	114	125	91	75	80	45
CO ₂ -äquivalent-Emissionen	kg/m ² a	8,9	7,3	26,8	19,4	11,9	12,7	7,6
Wärmegestehungskosten	EUR/m ² a	12,5	14,3	12,4	14,2	14,8	15,6	17,1
Mittlere Raumtemperatur schwankung bei Heizbetrieb	°C	±0,3	±0,3	±0,3	±0,3	±0,5	±0,4	±0,4
4 Stunden Winter Fensterlüftung Wiederaufheizzeit T _{op} =22°C	h	3	3	3	3	6	18	18
14 Tage Winter Absenkung auf 15°C Wiederaufheizzeit T _{op} =22°C	d	1	1	1	1	3	9	9
Extremszenario hohe Heizlast								
Heizenergiebedarf	kWh/m ² a	101	101	101	101	101	101	101
Nicht gedeckter Heizbedarf	kWh/m ² a	5,1	4,6	5,1	5,0	8,2	17,7	19,8
Wärmegestehungskosten	EUR/m ² a	15,5	17,3	15,4	17,2	17,4	19,2	21,3
Extremszenario niedrige Heizlast								
Heizenergiebedarf	kWh/m ² a	13,8	13,8	13,8	13,8	15,2	15,2	15,2
Wärmegestehungskosten	EUR/m ² a	10,7	12,8	10,5	12,5	13,8	14,8	16,3

PoS – System 8, zentraler Pelletskessel ohne Solaranlage
 PmS – System 8, zentraler Pelletskessel mit Solaranlage
 GoS – System 8, zentraler Gaskessel ohne Solaranlage
 GmS – System 8, zentraler Gaskessel mit Solaranlage
 SWP – System 6, zentrale Solewärmepumpe mit dezentralen Brauchwarmwasserspeichern
 Luft oS - System 1, Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral ohne Solaranlage
 Luft mS – System 1, Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage
 Top operative Raumtemperatur (Mittelwert aus Lufttemperatur und Temperatur der Umschließungsflächen)

Beim Primärenergiebedarf ist der Unterschied wesentlich geringer (Verhältnis 1 : 3,6). Die Reihenfolge der Systeme bleibt jedoch erhalten. Für den Primärenergiebedarf von Strom wurde hierbei der EU-17 Strommix (EU-Länder plus Norwegen und Schweiz) (vgl. Kap. 6.1.3) aus Gemis 4.1, 2003 zugrundegelegt.

Ein vollständig anderes Bild ergibt sich bei den CO₂-äquivalent-Emissionen. Hier hat das Pelletssystem mit Solaranlage (PmS) mit 7,3 kg/m²a die geringsten und das System Gas ohne Solaranlage (GoS) mit 26,8 kg/m²a die höchsten Emissionen. Das System Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage (Luft mS) liegt mit 7,6 kg/m²a allerdings nur knapp an zweiter Stelle. Dies ist durch die sehr geringen CO₂-äquivalent-Emissionen des Energieträgers Biomasse (nur geringe Emissionen durch Bau, Betrieb und Abriss) gegeben.

Die Wärmegestehungskosten bieten wiederum eine vollständig andere Reihenfolge. Hier schneidet das System Gaskessel ohne Solaranlage (GoS) mit 12,4 EUR/m²a am besten ab, knapp gefolgt vom System Pelletskessel ohne Solaranlage (PoS) mit 12,5 EUR/m²a. Hier halten sich besserer

Wirkungsgrad und geringere Investitionskosten des Gaskessels bei höheren Anschluss- und Betriebskosten gegenüber dem Pelletskessel die Waage. Die Koppelung mit Solaranlagen verteuert die Systeme, da sich die zusätzlichen Investitionskosten nicht durch eingesparte Betriebskosten amortisieren lassen. Allerdings sind in dieser Betrachtung keine Förderungen für Solaranlagen berücksichtigt. Das teuerste System ist die Kleinstwärmepumpe Luftheizung dezentral mit Solaranlage (Luft mS) mit 17,1 EUR/m²a. Allerdings bekommt man hier auch eine kontrollierte Lüftungsanlage mitgeliefert, welche bei den anderen Systemen extra gekauft werden müsste.

Die Raumlufttemperatur wird für das Standardszenario bei allen Systemen gut gehalten. Leichte Vorteile haben die Radiatorsysteme, das Luftsystem liegt in der Mitte und die Fußbodenheizung liegt aufgrund ihrer großen thermischen Masse mit $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ etwas schlechter.

Das Wiederaufheizverhalten der betrachteten Systeme nach einer definierten Abkühlung ist abhängig von der verfügbaren Leistung sowie der Trägheit des Wärmeabgabesystems. Am schnellsten reagieren hier die Radiatorsysteme mit zentraler Bereitung und Pufferspeicher. Der Pufferspeicher kann kurzfristig eine hohe Leistung abgeben und die Radiatoren sind relativ flink. Das System zentrale Sole Wärmepumpe Fußbodenheizung (SWP) ist zwar ebenfalls an einen Pufferspeicher gekoppelt, jedoch reagiert der Boden wesentlich langsamer. Für eine 4-stündige Fensterlüftung kühlt sich der Boden aufgrund dieser Trägheit jedoch auch wesentlich weniger stark ab, wie die anderen Systeme. Bei einer Abkühlung über 2 Wochen auf 15°C werden jedoch unter den getroffenen Annahmen 3 Tage bis zur Wiederaufheizung auf 22°C benötigt. Das Luftsystem hat aufgrund seiner durch den limitierten Luftwechsel und der maximalen Einblasetemperatur begrenzten Heizleistung die größten Probleme bei einer Wiederaufheizung bei geringen Außentemperaturen.

Das Szenario hohe Heizlast (25°C Raumtemperatur, Luftwechsel $0,8\text{ h}^{-1}$, Brauchwassertemperatur 60°C , geringe Innenwärmen) erhöht den Heizenergiebedarf von $45\text{ kWh/m}^2\text{a}$ bei der Standardvariante auf $101\text{ kWh/m}^2\text{a}$ um mehr als das Doppelte gegenüber dem Standardszenario. Hier zeigt die Limitierung der verschiedenen Heizungssysteme (bei Auslegung auf die Standardvariante) auf unterschiedliches Benutzerverhalten. Während die zentralen Kesselsysteme mit Radiatoren die benötigte Wärme fast vollständig abdecken können (5 % Unterdeckung), so hat das System SWP bereits etwas mehr Probleme (8 % Unterdeckung). Signifikant sind jedoch die Unterdeckungen der Luftsysteme mit ca. 20 % Unterdeckung des Heizenergiebedarfs bedingt durch die begrenzte Heizleistung durch limitierten Luftwechsel und der maximalen Einblasetemperatur. Dies kann man natürlich auch als positiven Erziehungseffekt für die Benutzer interpretieren.

Das Szenario niedrige Heizlast (20°C Raumtemperatur, Luftwechsel $0,4\text{ h}^{-1}$, Brauchwassertemperatur 45°C , Bedarf von 50 auf 30 l/d Person abgesenkt, hohe Innenwärmen) bringt eine Reduktion des Heizenergiebedarfs auf ca. $14\text{ kWh/m}^2\text{a}$. Die Wärmegegebungskosten sinken nur um 10%, da Kapital- und betriebsgebundene Kosten konstant sind.

7. Sozialwissenschaftlicher Projektteil

7.1 Aufbau der Arbeit

7.1.1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ wird ein sozialwissenschaftlicher Projektteil durchgeführt. Dieser sozialwissenschaftliche Teil setzt sich mit der Frage auseinander, wie sich BewohnerInnen von Niedrigenergie- und Passivhäusern in ihren Wohnungen verhalten, wie sie mit den darin vorhandenen Heizsystemen zurechtkommen, wie zufrieden sie damit sind, welche Schwierigkeiten es gibt und welche Heizsysteme sie für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus geeignet halten. Diese Untersuchung stützt sich vor allem auf zwei Eckpfeiler:

1. Die Befragung von BewohnerInnen in bestehenden Mehrgeschosswohnbauten zu ihren Heizanlagen, um daraus auch Beiträge für realistische Nutzerprofile ableiten zu können.
2. Die Sekundäranalyse von mehreren Projektberichten, die im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ bereits durchgeführt wurden und die einerseits als Vergleich und Ergänzung für die eigene Befragung dienen, andererseits ebenfalls Beiträge für die Erstellung der Nutzerprofile bieten können.

7.1.2 Ziele der Befragung

Durch die Befragung sollten folgende Ziele erreicht werden:

- € Erhebung des BewohnerInnen-Verhaltens in den Wohnungen
- € Erhebung der BewohnerInnen-Zufriedenheit mit der Heizanlage in der Wohnung
- € Bewertung von verschiedenen Heizsystemen aus Sicht der BewohnerInnen
- € Einstellung zu verschiedenen mit der Heizanlage verbundenen Verhaltensweisen

7.1.3 Ausgewählte Wohnanlagen für die Befragung

Wohnanlage Egg

Dieses Wohnhaus befindet sich in der Nähe von Bregenz in Vorarlberg in der Gemeinde Egg und besteht aus 4 Wohneinheiten. Es handelt sich um ein Passivhausgebäude, das im Rahmen des Projektes CEPHEUS vermessen wurde. Beheizt wird das Mehrfamilienhaus Egg neben einer Fußbodenheizung über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung.

Wohnanlage Hörbranz

Diese Reihenhäuseranlage befindet sich in der Gemeinde Hörbranz in Vorarlberg und besteht aus drei Reihenhäusern. Es handelt sich um ein Passivhausgebäude, ebenfalls ein CEPHEUS-Projekt. Das Lüftungskonzept ist dezentral mit gemeinsamer Außenluftansaugung. Die Wärmeerzeugung für die Raumwärme erfolgt in zwei Häusern mittels im Lüftungsgerät integrierter Kleinstwärmepumpe. Der Nutzer des dritten Hauses hatte den Wunsch mit Gas zu heizen, daher wurde in diesem Haus eine Gastherme installiert.

Wohnanlage Gnigl

Dieses Mehrfamilienwohnhaus befindet sich in Gnigl, einem Stadtteil im Nordosten der Stadt Salzburg. Das Haus besteht aus sechs Wohneinheiten. In diesem Passivhaus verfügt jede Wohnung über ein eigenes, autarkes Lüftungsgerät mit Gegenstromtauscher zur Wärmerückgewinnung, dieses wird auch zu Heizzwecken eingesetzt. Es gibt zusätzliche Heizkörper im Bad und Zusatz-Heizflächen im Wohnzimmer. Die Wärme für Warmwasser und Heizung wird zusätzlich zentral im Keller des Hauses über einen Pelletskessel mit 30 KW Leistung und eine Solaranlage erzeugt.

Wohnanlage Kuchl

Kuchl liegt im Bundesland Salzburg, ca. 25 km von der Landeshauptstadt Salzburg entfernt. Diese Wohnanlage besteht aus zwei Baukörpern mit insgesamt 25 Wohneinheiten. Jede Wohnung verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung, mit der auch geheizt wird. Zusätzlich wurden Radiatoren an den Außenfassaden der Aufenthaltsräume angebracht. Es befindet sich zusätzlich eine zentrale 60 KW Pelletsanlage zur Wärmeerzeugung für Warmwasser und Heizung sowie eine Solaranlage in der Wohnsiedlung.

Wohnanlage Gneis-Moos

Die Wohnanlage Gneis-Moos liegt am Rande der Stadt Salzburg und verfügt über insgesamt 61 Wohneinheiten. Es handelt sich um eine Niedrigenergiesiedlung mit einer großen zentralen thermischen Solaranlage (430 m² Kollektoren und 100 m³ Speicher). Beheizt werden die Wohnungen über einen zentralen Brennwertheizkessel mit Gasbläsebrenner für Heizung und Warmwasser mit eingebundener Solaranlage (ca. 2/3 fossile Brennstoffe, 1/3 thermische Solaranlage).

7.1.4 Erstellen des Fragebogens

Die Hauptschwierigkeit bei der Konzeption des Fragebogens war, dass seitens der verschiedenen Projektbeteiligten unterschiedliche Ansprüche an den Inhalt und die Ergebnisse gestellt wurden. So sollten einerseits Informationen zur Wohnungsnutzung für die Simulationsrechnungen, andererseits aber auch die Erfahrungen und subjektiven Einstellungen zum eigenen Heizsystem sowie die Einschätzung möglicher alternativer Heizsysteme abgefragt werden.

Ein Fragebogenmodul bezog sich daher sehr konkret auf die Lüftungsgewohnheiten der BewohnerInnen (Fensteröffnungen, Jalousiennutzung) und ihren Aufenthalt in der Wohnung (Belegungszahlen) in der kalten Jahreszeit. Da die Wohnanlagen in Egg und Hörbranz als Referenzprojekte für die Simulationen herangezogen werden, musste dieser Teil hier besonders genau sein.

Weiters wurden Fragen zur Temperaturregelung, zur eingestellten Temperatur in den Räumen der Wohnung und zum Bade-, Dusch- und Waschverhalten der BewohnerInnen gestellt. Diese Daten dienen vor allem als Unterstützung für die Annahmen über das Nutzerverhalten in den Wohnungen für die Simulationsrechnungen und werden daher in diesem Teil nicht ausgewertet. Das eigene Heizsystem sollte in einem weiteren Modul beurteilt werden sowie in einem dritten Modul auch andere – für Passiv- und Niedrigenergiehäuser – möglicherweise geeignete Heizvarianten. Um all diesen Anforderungen Rechnung tragen zu können, wurden mehrere Fragebögen entwickelt, die teilweise gleiche Teile enthalten, teilweise verschieden genau abgefragte Passagen.

7.1.5 Vorgehen bei der Befragung

Soweit dies möglich war, wurde in allen Wohnanlagen vor der Befragung Kontakt mit den BewohnerInnen aufgenommen, um ihnen die Termine für die Befragung voranzukündigen. Dies

geschah meistens über die HausbesorgerInnen oder Kontaktpersonen in den einzelnen Wohnanlagen, die telefonisch informiert wurden und sich bereit erklärten, Vorankündigungsbriefe zu verteilen oder sogar – wie in Kuchl – eine Terminliste für Interviewtermine zu erstellen.

Die Befragung in den Wohnanlagen im Bundesland Salzburg (Kuchl, Gnigl, Gneis-Moos) wurde am 30. und 31. August 2001 von Harald Rohracher, Karin Schweyer und Jürgen Suschek-Berger durchgeführt, die Befragung in Vorarlberg von Karin Schweyer am 28. und 29. September 2001. Es handelte sich also in fast allen Fällen um face-to-face-Interviews mit einem strukturierten schriftlichen Fragebogen. Wenn Personen in den Wohnungen zu den Interviewterminen nicht angetroffen wurden, wurde der Fragebogen mit der Bitte, ihn selbst auszufüllen und an das IFF/IFZ zu schicken, zurückgelassen. Auf diesem Weg konnten auch noch einige ausgefüllte Fragebogen erreicht werden.

7.1.6 Zahl der durchgeführten Interviews

Wie aus Abbildung 7-1 hervorgeht, konnten insgesamt 53 Interviews in den 5 Wohnanlagen geführt werden.

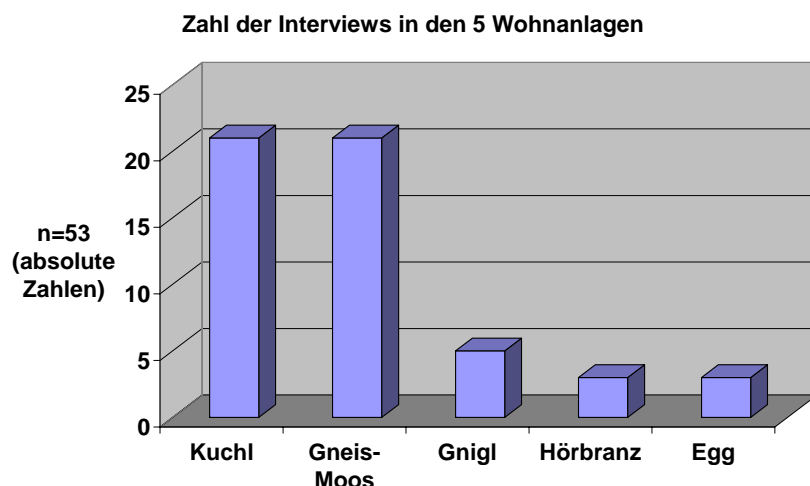


Abbildung 7-1: Zahl der durchgeführten Interviews

Sie verteilen sich folgendermaßen: 5 Interviews in Gnigl (wobei hier einmal zwei Wohnungen praktisch zusammengelegt sind, hier also ein Interview für zwei Wohnungen steht), jeweils 3 Interviews in Egg und Hörbranz, sowie je 21 Interviews in Kuchl und Gneis-Moos. Gneis-Moos schneidet relativ gesehen deshalb am schlechtesten ab, weil hier der Kontakt zu den BewohnerInnen im Vorfeld nicht so intensiv und gut hergestellt werden konnte wie in den CEPHEUS-Wohnprojekten. Trotzdem ist die Quote der erreichten Interviews erfreulich hoch.

7.2 Ergebnisse aus der Befragung

Eine der wichtigsten Fragen war die nach der Zufriedenheit mit der Heizsituation in den Wohnungen. Aus Abbildung 7-2 geht hervor, dass über 90% der Befragten mit ihrer Heizsituation sehr zufrieden oder zufrieden sind. Hier muss bedacht werden, dass sich dies je nach Wohnanlage betrachtet, auch wieder anders darstellen kann – so haben die Erfahrungen bei der Befragung gezeigt, dass z.B. in Kuchl am ehesten Unzufriedenheit herrscht. Diese speziellen Betrachtungen – differenziert nach Wohnanlagen - sind Gegenstand der Erörterungen etwas weiter unten, ebenso wie auch, auf welche Art die Zufriedenheit von spezifischen Merkmalen des Heizsystems abhängt.

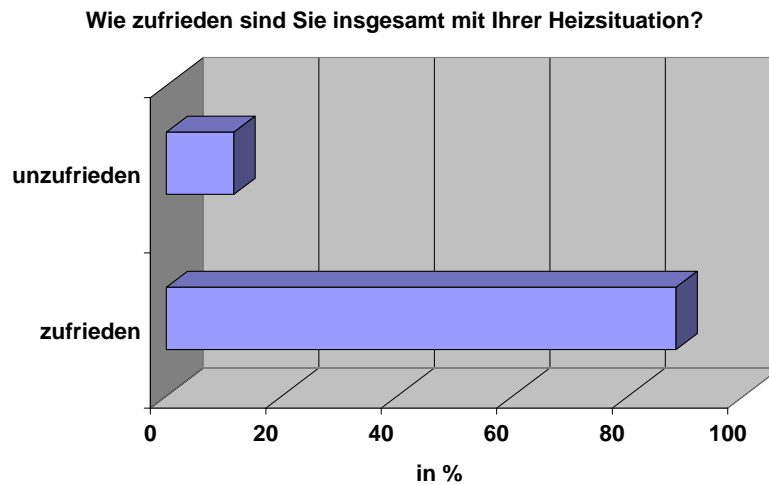


Abbildung 7-2: Zufriedenheit mit der Heizsituation

Da die meisten der untersuchten Gebäude über eine Luftheizung beheizt werden, wurde auch danach gefragt, ob es schon einmal Schwierigkeiten mit der Luftheizung gegeben hat. Auch hier lässt sich ein durchwegs positives Bild zeichnen: Über 70% der Befragten geben an, dass es in ihrer Wohnung nie oder nur selten Schwierigkeiten mit der Luftheizung gegeben habe (vgl. Abbildung 7-3).

Damit zusammenhängend ist auch die Frage, ob sich die Befragten vorstellen könnten, ausschließlich über die Lüftungsanlage ohne Zusatzheizsystem zu heizen. Diese Frage konnte natürlich nur denjenigen gestellt werden, die über irgendeine Art von Zusatzheizsystem in der Wohnung verfügen. Hier zeigt das Ergebnis (vgl. Abbildung 7-4), dass dies für einen etwas größeren Teil der Befragten vorstellbar ist als nicht vorstellbar (etwas über 50%). Dies dürfte natürlich auch wieder vor allem in den Wohnsiedlungen der Fall sein, in denen das Heizen über die Lüftungsanlage ohne Probleme funktioniert und das vorhandene Zusatzheizsystem eigentlich nicht benötigt wird.

Interessant ist auch noch die Frage, welche Assoziationen und Erfahrungen die BewohnerInnen, die über eine Luftheizung verfügen, zu dieser haben – sind dies eher negative oder eher positive Zuschreibungen. Das Ergebnis auf diese Frage ist in Abbildung 7-5 dargestellt.

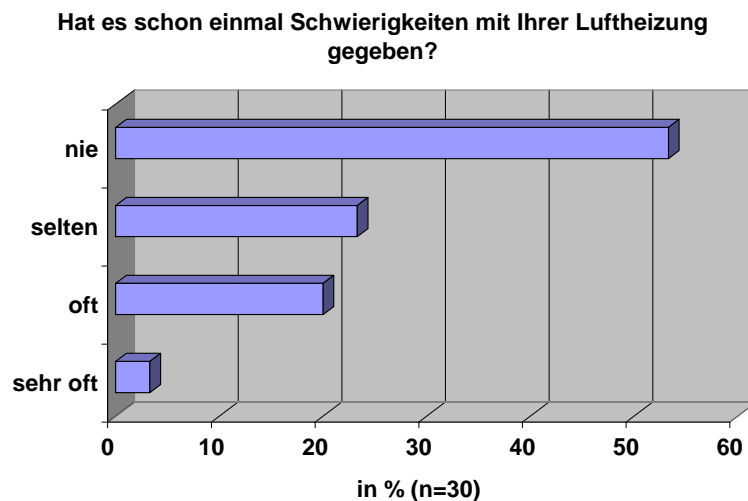


Abbildung 7-3: Schwierigkeiten mit der Luftheizung

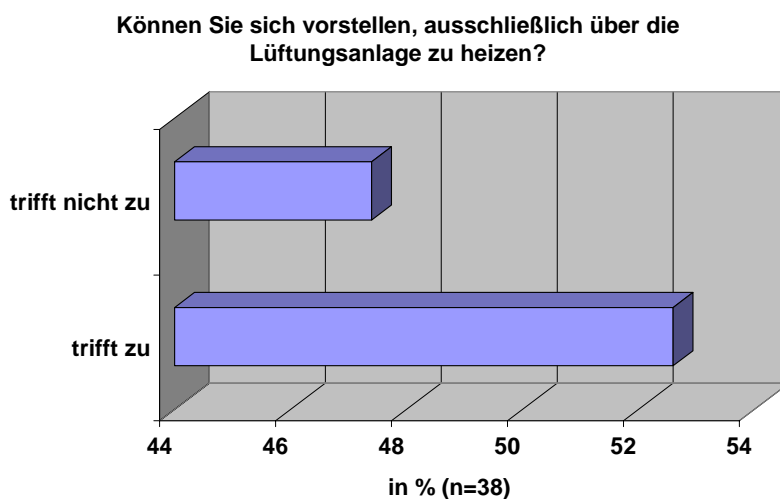


Abbildung 7-4: Ausschließliches Heizen über die Lüftungsanlage

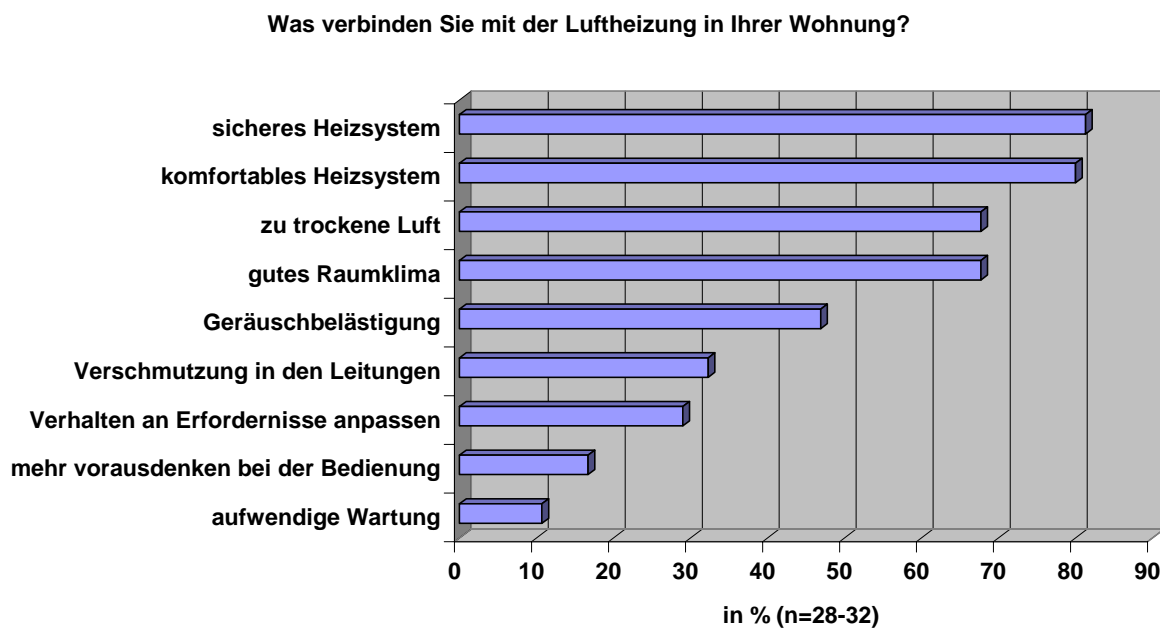


Abbildung 7-5: Was verbinden Sie mit der Luftheizung in Ihrer Wohnung?

Die Merkmale mit den höchsten Zustimmungsraten sind „sicheres Heizsystem“ und „komfortables Heizsystem“ zu jeweils ca. 80%, also zwei durchwegs positive Eigenschaften. Allerdings wird an dritter Stelle „zu trockene Luft“ (knapp 70%) bemängelt, gleichauf mit „gutes Raumklima“. Dies zeigt auch die Widersprüchlichkeit der Einschätzungen – einerseits sorgt die Lüftungsanlage ständig für frische Luft, die ein gutes Raumklima erzeugt, andererseits wird die Luft aber als trocken empfunden. Bei der Beurteilung anderer Heizsysteme wurde zuerst danach gefragt, welche Kriterien den Befragten überhaupt bei der Entscheidung für ein Heizsystem wichtig sind. Von den angegebenen Möglichkeiten stand hier an erster Stelle der Bedienungskomfort, gleichauf mit geringeren Heizkosten. Die Höhe der Investitionskosten spielt keine so bedeutende Rolle (vgl. Abbildung 7-6).

Wie wichtig sind für Sie folgende Kriterien bei der Entscheidung für ein Heizsystem?

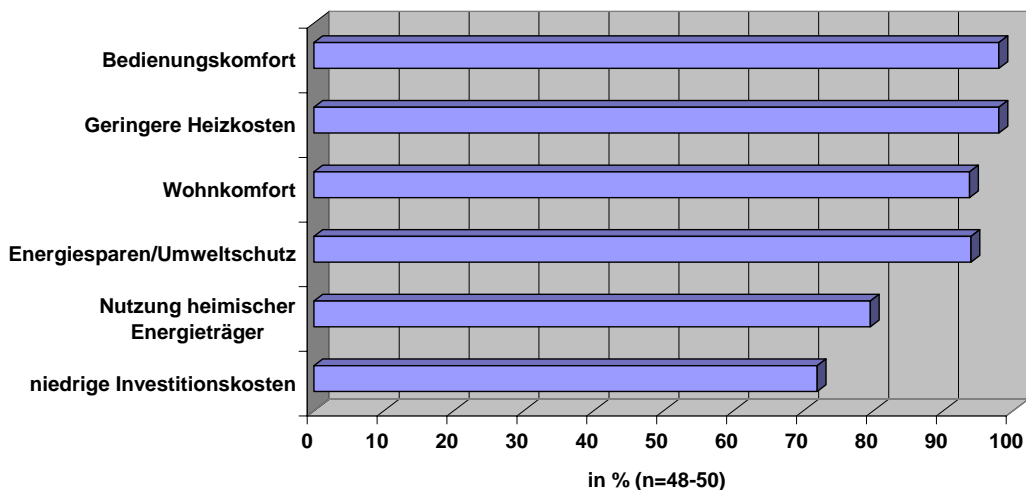


Abbildung 7-6: Wichtigkeit der Kriterien bei der Entscheidung für ein Heizsystem

Das Projekt „Benutzerfreundliche Heizsysteme“ beschäftigt sich mit der Frage, welche alternativen Möglichkeiten es neben der Luftheizung gibt, Gebäude im Passivhaus- oder im Niedrigenergiehausstandard zu beheizen. Daher schien es interessant, auch die BewohnerInnen zu befragen, welche Systeme ihrer Einschätzung nach dafür geeignet wären. In einer Fragebatterie konnten acht Heizsystemen zehn verschiedene Vor- und Nachteile zugeordnet und diese bewertet werden. In Abbildung 7-7 ist nur die Antwort auf die erste dieser Fragen dargestellt, nämlich, welche Heizform für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus wünschenswert wäre.

Welche Heizform ist bei einem NEH oder Passivhaus wünschenswert?

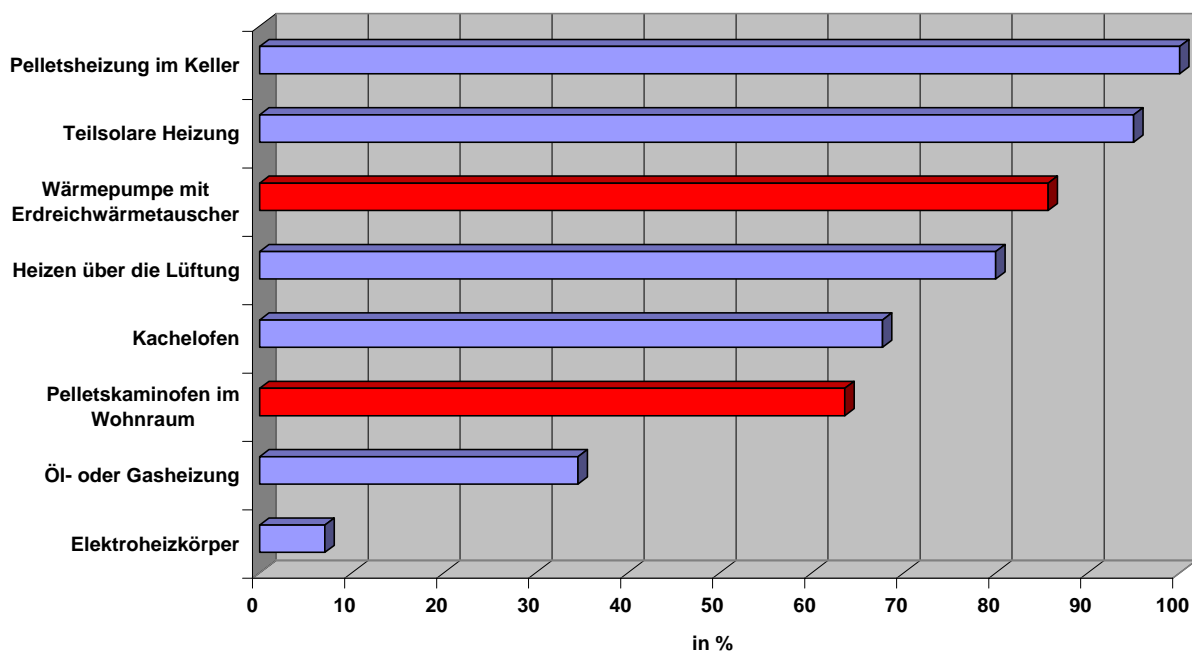


Abbildung 7-7: Welche Heizform ist bei einem Niedrigenergie- oder Passivhaus wünschenswert?

Die zentrale Pelletsheizung und die teilsolare Heizung schneiden am besten ab, das Heizen mit der Lüftung liegt schon an vierter Stelle. Schlusslicht sind die Öl- oder Gasheizung und die Elektroheizung. Die Optionen „Wärmepumpe mit Erdreichwärmetauscher“ und „Pelletskaminofen im Wohnraum“ sind deshalb dunkel unterlegt, weil hier die Zahl der Befragten, die über diese Heizsysteme Auskunft geben konnten, sehr gering ist (teilweise unter 10 Personen).

In Tabelle 7-1 sind alle Antworten auf alle Fragen bzgl. der verschiedenen Heizsysteme zusammengefasst. Es zeigt sich, dass die zentrale Pelletsheizung als am wünschenswertesten für ein NEH oder Passivhaus angesehen wird, gefolgt von der teilsolaren Heizung und der Heizung über die Lüftung. Der Pelletsheizung und der teilsolaren Heizung werden die wenigsten Nachteile zugeordnet, ebenso wie gute Erfahrungen damit (gilt auch für den Kachelofen und das Heizen über die Lüftung). Die Investitionskosten werden bei der Öl- oder Gasheizung als eher niedrig eingestuft, beim Kachelofen als eher hoch. Die Betriebskosten wiederum gelten bei der Pelletsheizung, dem Heizen über die Lüftung, der teilsolaren Heizung und dem Kachelofen als niedrig. Als sehr fehleranfällig wird eigentlich kein Heizsystem eingestuft, dafür das Heizen über die Lüftung und der Kachelofen als alleiniges Heizsystem für ungeeignet. Die teilsolare Heizung und die Pelletsheizung, aber auch das Heizen über die Lüftung bieten hohen Komfort. Unzureichende Regelungsmöglichkeiten werden nur dem Kachelofen attestiert. Die Elektroheizung und das Heizen über die Lüftung werden am bedienerfreundlichsten eingestuft.

Auch hier gilt, dass die Ergebnisse bzgl. der Wärmepumpe und des Pelletskaminofens nicht dargestellt werden, weil hier die Antwortzahlen zu gering für eine seriöse Auswertung waren. Bei einigen der Heizformen (wie z.B. teilsolare Heizung wie in Gneis-Moos) muss bedacht werden, dass hier der Endnutzer wenig mit der Heizung an sich zu tun hat (ebenso wie bei der zentralen Pelletsheizung) und die Antworten wirklich nur Meinungen bzw. Einschätzungen und keine konkreten Erfahrungen sind.

So werden als Vorteile der Heizform „Kachelofen“ vor allem die „behagliche, angenehme, wohlige, gemütliche“ Wärme angeführt; als Nachteile werden vor allem der hohe Arbeitsaufwand, die damit verbundene Schmutzentwicklung und die schlechte Regelbarkeit ins Treffen geführt. Die Pelletsheizung wird vor allem als umweltfreundliche Heizform mit einem erneuerbaren, einheimischen Energieträger angesehen; der Platzbedarf für die Pellets und die hohen Anschaffungskosten werden als Nachteil erlebt.

Das Heizen über die Lüftung wird als bedienungs- und benutzungsfreundlich angesehen, es werden die Begriffe „frische Luft“ und „angenehmes Raumklima“ damit assoziiert. Die Nutzung von Abwärme wird als positiv eingestuft. Als Nachteile werden Zugluft, eine hohe Geräuschbelästigung und die Notwendigkeit eines Sicherungs-Zusatzheizsystems angegeben.

Bzgl. Fußbodenheizung/Wandheizung wird vor allem das Argument der angenehmen Wärme ins Treffen geführt, eine Heizform, die vor allem für das Badezimmer als geeignet eingestuft wird. Nachteilig sind gesundheitliche Bedenken (Venenprobleme bei der Fußbodenheizung) und die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten. Elektrische Radiatoren werden als teuer und als nicht umweltfreundlich eingestuft.

Tabelle 7-1: Einschätzung von verschiedenen Heizformen bei einem Niedrigenergie- oder Passivhaus

Angaben in %	sehr wünschenswert bei einem NEH	hat eine Reihe von Nachteilen	zu hohe Investitionskosten	günstige Betriebskosten	eher fehleranfällig	als alleiniges System schlecht geeignet	bietet hohen Komfort	gibt meines Wissens gute Erfahrungen damit	lässt sich unzureichend regeln	ist bedienerfreundlich
Heizen über die Lüftung	80	53,8	53,8	95,5	27,3	73,9	87	83,3	38,1	100
Kachelofen	67,7	64,5	77,8	94,7	16,7	75	55,2	96,2	81,5	39,1
Teilsolare Heizung	95	20	68,2	96,7	28,6	72	100	100	-	87,5
Pelletsheizung im Keller	100	20	66,7	100	23,1	23,5	94,7	100	13,3	94,7
Wärmepumpe mit Erdreichwärmetauscher	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Öl- oder Gasheizung	34,6	76,5	45	32	20,8	41,4	73,9	79,2	11,1	74,1
Elektroheizkörper	7,1	88,9	54,5	7,4	18,2	66,7	56	52,2	28	96,6
Pelletskaminofen im Wohnraum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Erklärung zur Tabelle 7-1:

- € Werte unter „20“ und über „80“ sind **„fett“** dargestellt
- € Die Antwortkategorien „trifft sehr zu“ und „trifft etwas zu“ sind zusammengefasst zu „trifft zu“
- € [-] Fallzahlen sind zu gering für eine Aussage
- € Die Vor und Nachteile verschiedener Heizsysteme wurden auch in einer offenen Fragestellung abgefragt, bei der die Befragten einfach frei zu Vor- und Nachteilen der einzelnen Heizformen assoziieren konnten.

Eine letzte Fragenbatterie beschäftigte sich mit Aussagen, die verschiedene Möglichkeiten und Verhaltensweisen beschreiben, die bzgl. der Heizsituation eintreten oder ausgeübt werden können. Hier zeigen sich einige Vorlieben der BewohnerInnen, die mit verschiedenen Heizsystemen mehr oder weniger gut erfüllt werden können.

Vor allem zeigen sich hier einige Einstellungen, die bzgl. der Verwendung einer Luftheizung Schwierigkeiten verursachen könnten. So ist der Wunsch, die Heizung im Schlafzimmer nachts abdrehen zu können, sehr ausgeprägt, ebenso die Möglichkeit, die Temperatur in den Räumen getrennt regeln zu können. Genaue Lüftungsvorschriften kommen bei den Befragten auch nicht sehr gut an, nicht lüften zu müssen, wird nicht als Bequemlichkeit empfunden. Eine Luftheizung als einziges Heizsystem ohne Sicherungssystem wird als eher unsicher empfunden, auch eine vollautomatische Regelung der Heizung findet nicht viel Anklang (vgl. Abbildung 7-8).

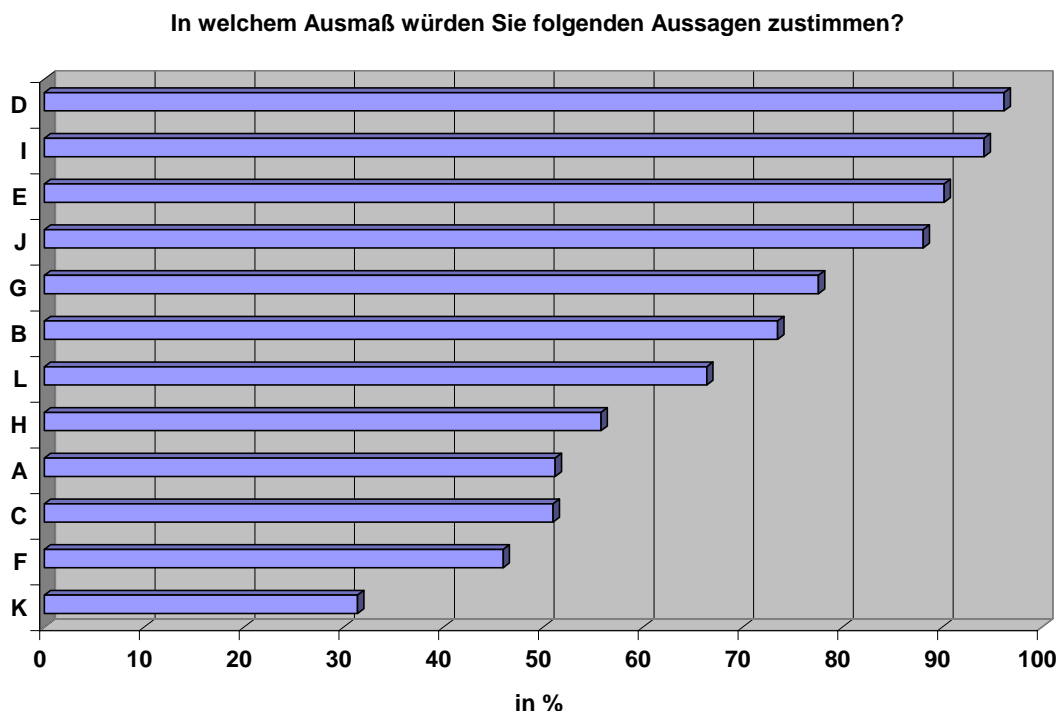


Abbildung 7-8: Grad der Zustimmung zu verschiedenen Aussagen, die Heizung betreffend

Legende zu Abbildung 7-8:

D	Die Heizung im Schlafzimmer möchte ich nachts abdrehen können.
I	Mir ist es wichtig, die Temperaturen in den Räumen getrennt regeln zu können.
E	Wenn ich meine Wohnung nicht lüften kann wie ich möchte, dann fühle ich mich unwohl.
J	Eine Luftheizung ohne zusätzliches Heizsystem ist mir zu unsicher.
G	Mir ist es wichtig, zum Heizen erneuerbare Energieträger zu verwenden.
B	Es ist ein Vorteil, keine Heizkörper in den Zimmern zu haben.
L	Es ist einfach behaglicher, wenn man eine strahlende Wärmequelle im Haus hat.
H	Auch im Winter lasse ich das Schlafzimmerfenster nachts gerne gekippt.
A	Ein Vorteil einer Luftheizung ist, dass ich mir ein separates Heizsystem erspare.
C	Es ist ein Vorteil, wenn es im ganzen Haus gleichmäßig warm ist.
F	Am liebsten wäre mir, wenn bei der Heizung alles automatisch geregelt würde.
K	Ich fände es bequem, wenn ich zum Lüften nicht die Fenster öffnen müsste.

7.2.1 Auswertung nach verschiedenen Wohnanlagen

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Ergebnisse wird im Folgenden noch versucht, die Ergebnisse getrennt nach den verschiedenen befragten Wohnanlagen darzustellen und – wenn möglich – Unterschiede auszumachen. Vorausgeschickt muss dazu werden, dass die Zahl der Interviews in einigen der Wohnanlagen (Egg, Gniel, Hörbranz) sehr gering ist und daher Interpretationen mit Vorsicht vorgenommen werden müssen.

Bei den Interviews fiel auf, dass in den persönlichen Gesprächen vor allem die BewohnerInnen der Wohnanlage in Kuchl Unzufriedenheiten mit der Heizanlage äußerten. Hier dürften einige Planungsfehler passiert sein bzw. die Heizung auch nicht immer richtig ausgelegt worden sein. Sehr zufrieden waren in den Gesprächen die BewohnerInnen der Wohnanlagen in Vorarlberg – Hörbranz und Egg. Darin zeigt sich auch, dass die kleiner dimensionierten Wohneinheiten offensichtlich mehr Zufriedenheit mit sich bringen – das wird wahrscheinlich auch Gründe haben, die im sozialen Bereich liegen.

Ein erster interessanter Indikator bzgl. dieser Unterschiede ist, ob sich die BewohnerInnen vorstellen können, ausschließlich über die Lüftungsanlage zu heizen. Eine glatte Mehrheit für diese Möglichkeit gibt es in Hörbranz, Skepsis überwiegt in Kuchl. In den anderen Wohnanlagen ist das Bild ziemlich ausgeglichen (vgl. Abbildung 7-9).

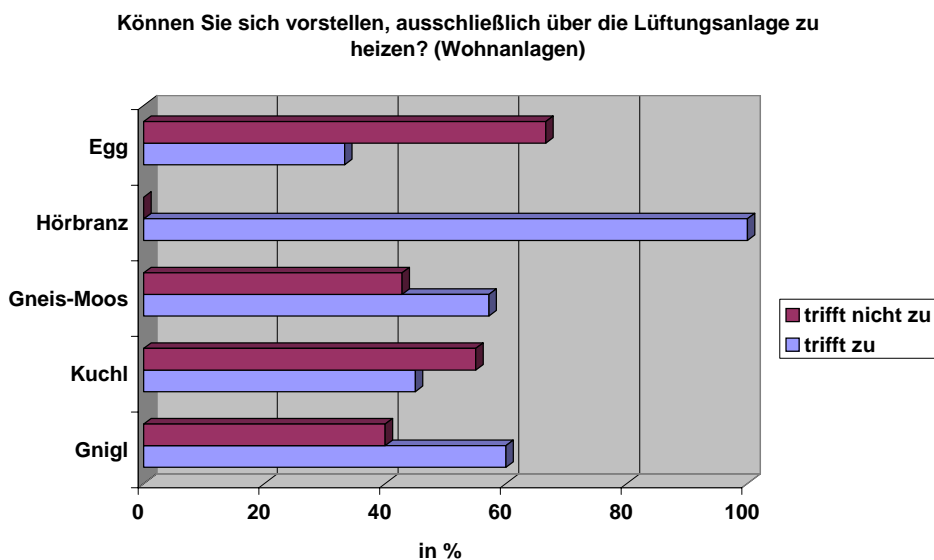


Abbildung 7-9: Können Sie sich vorstellen, ausschließlich über die Lüftungsanlage zu heizen? – differenziert nach Wohnanlagen

Damit zusammenhängend ist die Frage, ob es schon einmal Schwierigkeiten mit der Luftheizung in der Wohnung gegeben hat. In Hörbranz und Kuchl war dies sehr selten der Fall, in Egg und Gnigl ist das Ergebnis wieder ausgewogen (vgl. Abbildung 7-10). Dieses Ergebnis denkt sich nicht ganz mit den mündlich geäußerten Problemen in Kuchl.

Bei der Bewertung von verschiedenen mit der Luftheizung verbundenen Eigenschaften und Verhaltensweisen zeigen sich keine allzu großen Unterschiede, die man auf die verschiedenen Wohnanlagen beziehen könnte. In Hörbranz überwiegen bei allen Fragen die positiven Zuordnungen. Die Meinung, dass die Luftheizung ein sicheres Heizsystem ist, überwiegt in allen Wohnanlagen. Dass die Luftheizung mit einer Geräuschbelastigung verbunden ist, wird vor allem in Kuchl bejaht – dies hat sicher mit den dort aufgetauchten Problemen zu tun.

In Gnigl und Kuchl wird auch am ehesten die mit der Luftheizung verbundene – möglicherweise – zu trockene Luft bemängelt, während in allen Wohnanlagen mit der Luftheizung ein gutes Raumklima verbunden wird. Dass die Luftheizung mit zu aufwendiger Wartung verbunden ist, wird durchgehend verneint (vgl. Abbildung 7-11).

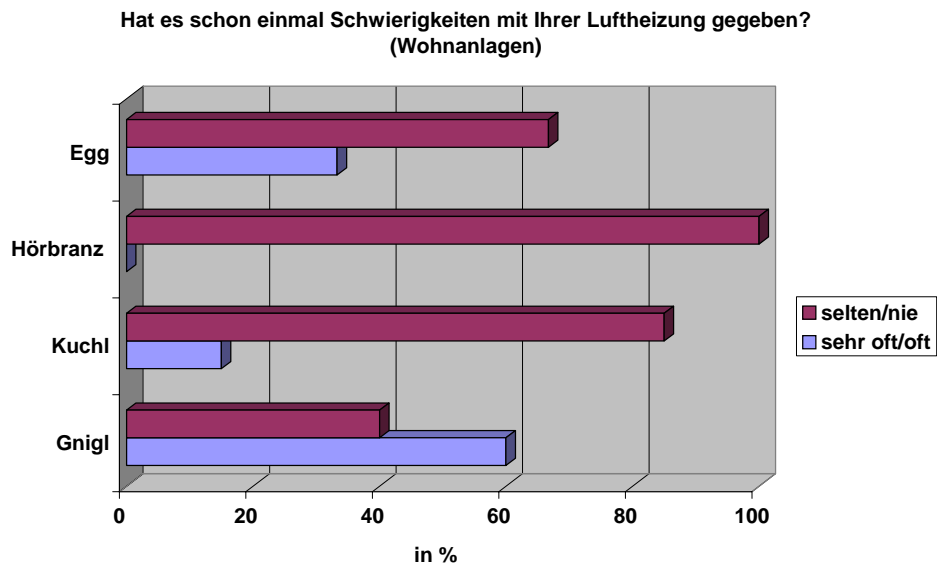


Abbildung 7-10: Hat es schon einmal Schwierigkeiten mit Ihrer Luftheizung gegeben?
– differenziert nach Wohnanlagen

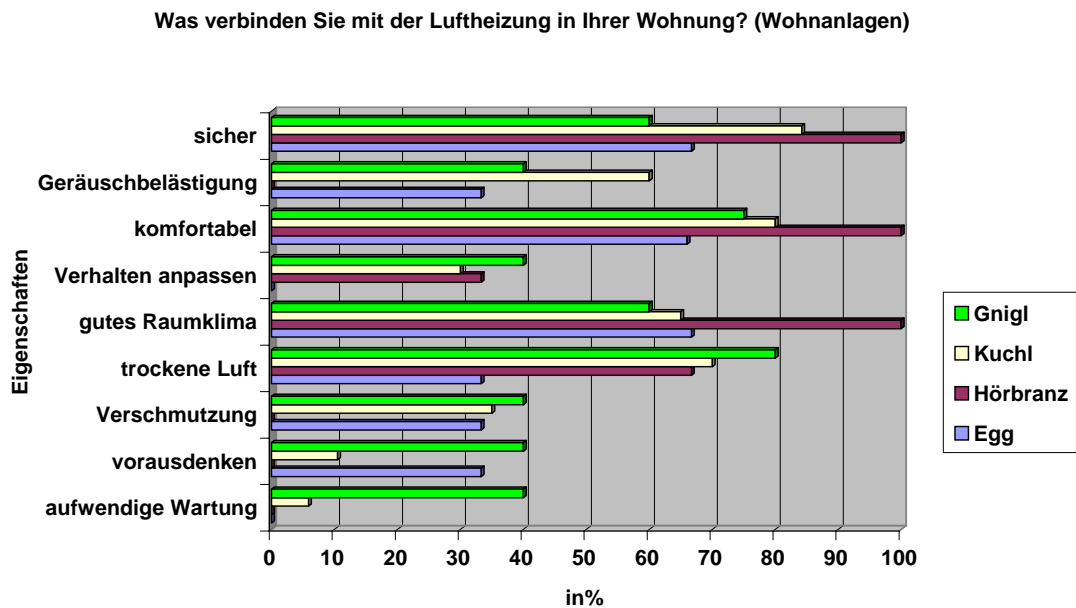


Abbildung 7-11: Wenn Sie an die Luftheizung in Ihrer Wohnung denken, was verbinden Sie damit ?
– differenziert nach Wohnanlagen

Interessant ist auch, wie die Wichtigkeit eines Zusatzheizsystems eingeschätzt wird – vor allem in den Wohnanlagen, in denen ein solches existiert. Hier zeigt sich fast zu 100% in Gnigl, Kuchl und Egg, das mit dem Zusatzheizsystem mehr Sicherheit verbunden ist und es auf keinen Fall als unnötig angesehen wird (vgl. Abbildung 7-12).

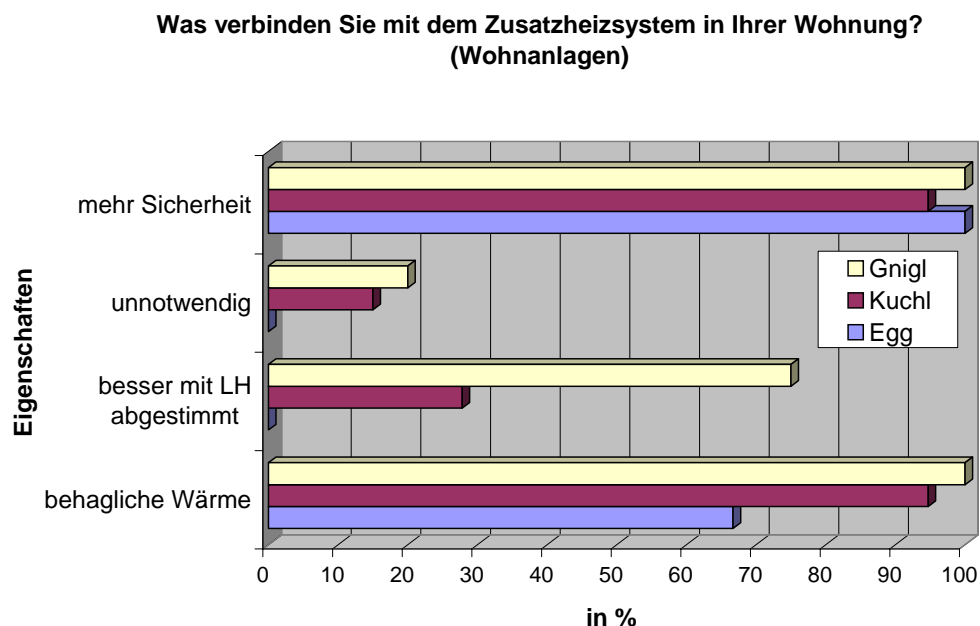


Abbildung 7-12: Wenn Sie an das Zusatzheizsystem in Ihrer Wohnung denken, was verbinden Sie damit?
– differenziert nach Wohnanlagen

7.2.2 Wünschenswerte Heizsysteme

Welche Heizform halten die BewohnerInnen in den einzelnen Wohnanlagen nun wünschenswert für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus?

Die Luftheizung schneidet in allen Wohnanlagen sehr gut ab, der Kachelofen in Kuchl und Gneis-Moos, die teilsolare Heizung vor allem in Kuchl und Gneis-Moos, die Pelletsheizung schneidet in Gnigl, Kuchl und Gneis-Moos hervorragend ab, die Öl- und Gasheizung sowie die Elektroheizung in allen Wohnanlagen durchgängig sehr schlecht (am besten noch in Gneis-Moos). Egg fehlt in diesen Auswertungen, da die Fallzahlen zu gering sind (vgl. Abbildung 7-13).

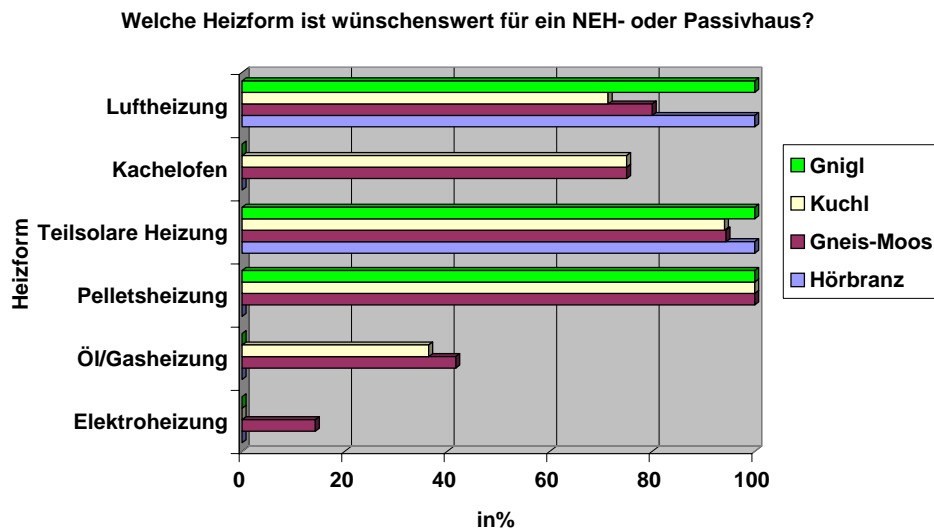


Abbildung 7-13: Welche Heizform ist wünschenswert für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus?
– differenziert nach Wohnanlagen

Zum Abschluss dieser Betrachtung nach Wohnanlagen sei noch kurz auf die Zustimmung oder Ablehnung verschiedener Aussagen eingegangen, die mit der Luftheizung verbunden werden können. Hier sticht bei der Bewertung der Luftheizung vor allem ins Auge, dass in Hörbranz und Egg die Vorteile herausgestrichen werden (z.B. Vorteil kein separates Heizsystem, Vorteil keine Heizkörper, Vorteil ganzes Haus gleichmäßig warm). Sehr eindeutig ist die Antwort auf die Frage, ob es möglich sein soll, die Heizung im Schlafzimmer nachts abdrehen zu können – das möchten – bis auf die BewohnerInnen von Hörbranz – alle Befragten.

Die Befragten in Kuchl und Gneis-Moos möchten lüften können, wie es ihnen passt. Dass die Heizung alles automatisch regelt, ist den meisten Befragten nicht recht. Sehr wichtig ist den Befragten in allen Wohnanlagen, dass sie die Temperaturen in den Räumen getrennt regeln können und dass eine Luftheizung ohne zusätzliches Heizsystem zu unsicher ist (außer Hörbranz). Die Bequemlichkeit, zum Lüften die Fenster nicht öffnen zu müssen, findet zum Großteil keinen Anklang (vor allem in Gneis-Moos nicht). Strahlende Wärmequellen in der Wohnung werden eher bevorzugt.

7.2.3 Resümee aus der Befragung

Als ein Resümee aus der Befragung geht sicher hervor, dass die BewohnerInnen mit ihrer Heizsituation im großen und ganzen zufrieden sind. Dies gilt natürlich vor allem dort, wo alles sehr gut funktioniert (Egg, Hörbranz, Gnigl), weniger dort, wo einiges nicht funktioniert (Kuchl). D.h., die Ergebnisse der Befragung müssen natürlich auch unter diesem Aspekt betrachtet werden – die Zufriedenheit hängt nicht nur von der Form der Beheizung ab, sondern natürlich auch davon, ob diese Form funktioniert.

Dort, wo eine Lüftungsanlage als Heizsystem in den befragten Wohnanlagen eingesetzt wird (bei allen außer in Gneis-Moos), findet diese durchaus Akzeptanz und wird als Heizsystem für Passivhäuser für geeignet befunden. Vor allem dort, wo die Heizversorgung durch die Lüftungsanlage gut und ohne Schwierigkeiten funktioniert (Egg, Gnigl, Hörbranz), wird sie auch positiv gesehen.

Die Luftheizung wird dann auch als sicheres und komfortables Heizsystem empfunden, negative Eigenschaften (außer „zu trockene Luft“ und mit Abstrichen „Geräuschbelästigung“ – dies vor allem in Kuchl) werden ihr kaum zugeschrieben.

Es scheint den Befragten auch nicht unmöglich, ohne ein Zusatzheizsystem nur über die Lüftungsanlage zu heizen. Allerdings wird mit dem Zusatzheizsystem auch zusätzliche Sicherheit verbunden, für unnötig wird es kaum gehalten – am ehesten in den Wohnanlagen, in denen die Luftheizung gut funktioniert.

Für viele Befragte ist es vorstellbar, auch ein anderes Heizsystem für Niedrigenergie- und Passivhäuser einzusetzen: Favoriten sind hier die zentrale Pelletsheizung und die teilsolare Heizung, am wenigsten geeignet erscheinen Gas-, Öl- und Elektroheizung. Dieses Ergebnis ist im Grunde unabhängig davon, in welcher Wohnanlage die Menschen leben – sehr gut schneiden die teilsolare Heizung in Gneis-Moos (die dort im Einsatz ist und recht gut zu funktionieren scheint) und die Pelletsheizung bei allen Befragten ab. Die Pelletsheizung ist damit der Favorit als mögliches Heizsystem neben dem Heizen über die Lüftung in Niedrigenergie- und Passivhäusern.

Einigen Wünschen der Befragten, die im Umgang mit dem Heizsystem in der Wohnung wichtig sind, kann mit verschiedenen Heizsystemen mehr oder weniger gut entsprochen werden: So wünschen sich (außer die Befragten in Egg, Gnigl und Hörbranz) fast alle BewohnerInnen gewisse Freiheiten wie die Heizung im Schlafzimmer nachts abdrehen zu können oder lüften zu können, wie sie wollen. Wenn das Heizsystem den Anschein erweckt, keine Freiheiten mehr zu lassen und alles automatisch geregelt wird, wird dies mit Skepsis betrachtet – außer, dieses automatische System funktioniert wirklich gut.

Abschließend kann gesagt werden, dass die Zufriedenheit der BewohnerInnen weniger davon abhängt, welches Heizsystem im Haus oder in der Wohnung installiert ist als vielmehr davon, dass dieses auch gut funktioniert. Mit einem Niedrigenergie- oder Passivhaus wird aber offensichtlich der Gedanke an Umwelt und Umweltschutz, erneuerbare Energieträger und Energiesparen verbunden: daher schneiden die Luftheizung und die Pelletsheizung in den Einschätzungen sehr gut ab, Öl-, Gas- und Elektroheizung weniger.

7.3 Sekundäranalyse von Projektberichten zur Einschätzung von Heizungssystemen

Wie die weiter vorne stehenden Ausführungen zu Vor- und Nachteilen der unterschiedlichen Systemvarianten und die obenstehende Befragung bereits gezeigt haben, unterscheiden sich die Heizungssysteme nicht nur hinsichtlich technischer, ökonomischer und ökologischer (Effizienz, Emissionen) Charakteristika, sondern vielfach auch in der Wahrnehmung durch die BewohnerInnen des Gebäudes. Unterschiede aus Nutzerperspektive ergeben sich dabei aus den unterschiedlichen Formen der Wärmeabgabe (z.B. gleichmäßige Temperaturverteilung im Gebäude bei Luftheizung vs. punktuelle Wärmequellen wie Radiatoren oder Pelletseinzelöfen), unterschiedlichen Bediencharakteristika der Heizsysteme (Arbeitsaufwand, Regelmöglichkeiten, ‚Flinkheit‘ der Heizung) und möglichen Dysfunktionalitäten (v.a. bei nicht optimaler Planung – etwa Lärmentwicklung, starke Konvektion und Staubeentwicklung, etc.). Die markantesten dieser Punkte sind in den Bewertungslisten des Leitfadens angeführt. Neben diesen isoliert darstellbaren Kriterien wird das Bild, das sich NutzerInnen von Heizsystemen machen, aber auch durch diffusere Einschätzungen und Einstellungen zu unterschiedlichen Heizsystemen geprägt, die von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden können – Marketingaktivitäten inkl. der Darstellung und Beratung durch ‚Multiplikatoren‘ wie Installateure oder Energieberatungsstellen, Einzelerfahrungen mit unterschiedlichen Heizungsformen (die auch weit zurückliegen können), tradierte Vorstellungen, Leitbilder, Konnotationen zu unterschiedlichen Heizungsformen (z.B. Bedeutung von Holz als Energieträger, Vorstellungen über Sicherheit der Energieversorgung, Modernität, Zuverlässigkeit etc.), Erfahrungen von Bekannten, Freunden usw.

Die Einschätzungen und Bewertungen unterschiedlicher Heizsysteme durch NutzerInnen wurde bisher relativ wenig untersucht. Für die folgende Darstellung wird vor allem auf mehrere Nutzerbefragungen im Rahmen des Programms ‚Nachhaltig Wirtschaften‘ – ‚Haus der Zukunft‘ des BMVIT sowie auf einzelnen deutsche Studien Bezug genommen. Zu diesen Sekundärquellen gehören vor allem:

- € Akzeptanzverbesserung von Niedrigenergiehaus-Komponenten als wechselseitiger Lernprozess von Herstellern und AnwenderInnen (Projektleitung: IFF/IFZ, Harald Rohrer)
- € Erfahrungen und Einstellungen von NutzerInnen als Basis für die Entwicklung nachhaltiger Wohnkonzepte mit hoher sozialer Akzeptanz (Projektleitung: Zentrum für Soziale Innovation (ZSI), Michael Ornetzeder)
- € Analyse fördernder und hemmender Faktoren bei der Markteinführung von innovativen Wohnbauten (Projektleitung: Institut für Energiewirtschaft der Technischen Universität Wien, Peter Biermayr)
- € Anforderungsprofile für Biomassefeuerungen zur Wärmeversorgung in Objekten mit niedrigem Energiebedarf (Projektleitung: Institut für Energieforschung – Joanneum Research, Kurt Könighofer)
- € Analyse des NutzerInnenverhaltens und der Erfahrungen von BewohnerInnen bestehender Wohn- und Bürobauten mit Pilot- und Demonstrationscharakter (Projektleitung: Institut für Hochbau und Entwerfen für Architekten der Technischen Universität Wien, Karin Stieldorf)
- € Adensam, Heidi u.a.: Kachelöfen im nachhaltigen Energiekonzept, Projekt-Endbericht, Österreichisches Ökologie-Institut, Wien 2000.
- € imug Beratungsgesellschaft für sozial-ökologische Innovationen mbH, Das SynergieHaus im Urteil seiner Bewohner. Gesamtauswertung der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung 1997-1999. Hannover 2000.
- € Rohrer, Harald; Suschek-Berger, Jürgen: Verbreitung von Biomasse-Kleinanlagen. Situationsanalyse und Handlungsempfehlungen. Projekt-Endbericht, IFZ, Graz 1997.
- € Rohrman, Bernd (EPSILON Team): Sozialwissenschaftliche Evaluation des Passivhauses in Darmstadt. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1994.
- € Rohrman, B. (EPSILON Team): Sozialwissenschaftliche Evaluation hessischer Niedrigenergie-Häuser. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt 1995.

Auch in der im vorangegangenen Kapitel präsentierten Befragung wurden PassivhausbewohnerInnen bezüglich ihrer Einschätzung unterschiedlicher Heizsysteme (nicht nur Erfahrungen mit dem eigenen) befragt. Allerdings beziehen sich die anderen angeführten Studien meist auf Erfahrungen und Einstellungen nur bei ganz bestimmten Heizsystemen. Eine systematische Analyse der Erfahrungen mit unterschiedlichen Heizsystemen (etwa der bisher diskutierten verschiedenen Systemvarianten) liegt leider bisher nicht vor. Die folgende Darstellung beschränkt sich daher auf eine kurze Übersicht der Einschätzungen ausgewählter Gruppen (z.B. PassivhausbewohnerInnen, NutzerInnen von Niedrigenergiehäusern mit Lüftungsanlagen), die interessante Hinweise geben können, aber nicht repräsentativ für die österreichische Bevölkerung sind, und die exemplarische Darstellung zweier Heizungsformen – Luftheizung in Niedrigenergie- und Passivhäusern sowie Heizen mit Holz – zu welchen ausführlichere Untersuchungen vorliegen.

7.3.1 Einschätzung unterschiedlicher Heizsysteme

Im vorliegenden Projekt wurde eine Befragung von BewohnerInnen in mehrgeschossigen Passivhaus- oder Niedrigenergiesiedlungen in Salzburg durchgeführt, die sich mit der Frage auseinandersetzt, wie sich BewohnerInnen von Niedrigenergie- und Passivhäusern in ihren Wohnungen verhalten, wie sie mit den darin vorhandenen Heizsystemen zurechtkommen, wie zufrieden sie damit sind, welche Schwierigkeiten es gibt und welche Heizsysteme sie für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus geeignet halten.

Insgesamt wurden 53 Interviews in fünf Wohnanlagen durchgeführt, die genauen Ergebnisse dieser Befragung sind im vorangehenden Kapitel dargestellt. Nachstehend werden zum Vergleich mit anderen Studien nochmals einige Ergebnisse herausgegriffen, die in Bezug auf die Fragestellung der Zufriedenheit mit und der Einstellung zu Heizungsanlagen und Wärmeabgabesystemen interessant sind.

Einschätzung verschiedener Heizungssysteme

In einer Fragebatterie konnten acht Heizsystemen zehn verschiedene Vor- und Nachteile zugeordnet und diese bewertet werden. In Tabelle 7-1 sind alle Antworten bzgl. der verschiedenen Heizsysteme zusammengefasst.

Es zeigt sich, dass die zentrale Pelletsheizung als am wünschenswertesten für ein Niedrigenergie- oder Passivhaus angesehen wird, gefolgt von der teilsolaren Heizung und der Heizung über die Lüftung. Der Pelletsheizung und der teilsolaren Heizung werden die wenigsten Nachteile zugeordnet, ebenso wie gute Erfahrungen damit (gilt auch für den Kachelofen und das Heizen über die Lüftung). Die Investitionskosten werden bei der Öl- oder Gasheizung als eher niedrig eingestuft, beim Kachelofen als eher hoch. Die Betriebskosten wiederum gelten bei der Pelletsheizung, dem Heizen über die Lüftung, der teilsolaren Heizung und dem Kachelofen als niedrig. Als sehr fehleranfällig wird eigentlich kein Heizsystem eingestuft, dafür werden das Heizen über die Lüftung und der Kachelofen als alleiniges Heizsystem meist für ungeeignet gehalten. Die teilsolare Heizung und die Pelletsheizung, aber auch das Heizen über die Lüftung bieten hohen Komfort. Unzureichende Regelungsmöglichkeiten werden nur dem Kachelofen attestiert. Die Elektroheizung und das Heizen über die Lüftung werden am bedienerfreundlichsten eingestuft.

Die Ergebnisse bzgl. der Wärmepumpe und des Pelletskaminofens können nicht dargestellt werden, weil hier die Antwortzahlen zu gering für eine seriöse Auswertung waren.

Die Vor und Nachteile verschiedener Heizsysteme wurden auch in einer offenen Fragestellung abgefragt, bei der die Befragten einfach frei zu Vor- und Nachteilen der einzelnen Heizformen assoziieren konnten.

So wurden als Vorteile der Heizform „Kachelofen“ vor allem die „behagliche, angenehme, wohlige, gemütliche“ Wärme angeführt; als Nachteile wurden vor allem der hohe Arbeitsaufwand, die damit verbundene Schmutzentwicklung und die schlechte Regelbarkeit ins Treffen geführt.

Die Pelletsheizung wurde vor allem als umweltfreundliche Heizform mit einem erneuerbaren, einheimischen Energieträger angesehen; der Platzbedarf für die Pellets und die hohen Anschaffungskosten wurden als Nachteil erlebt.

Das Heizen über die Lüftung wird als bedienungs- und benutzungsfreundlich angesehen, es wurden die Begriffe „frische Luft“ und „angenehmes Raumklima“ damit assoziiert. Die Wärmerückgewinnung wird als positiv eingestuft. Als Nachteile wurden Zugluft, eine hohe Geräuschbelästigung und die Notwendigkeit eines Sicherungs-Zusatzheizsystems angegeben.

Zu vergleichbaren Ergebnissen (wenn auch abweichender Reihung) kommt eine standardisierte Fragebogenerhebung von 144 BewohnerInnen von Niedrigenergiehäusern mit kontrollierter Wohnraumlüftung, d.h. mit Wärmerückgewinnung, aber nicht notwendigerweise mit Heizung über die Lüftung (siehe Rohracher et al. 2001). Die Befragten gaben dabei auch Auskunft über ihre Vorstellung von Heizsystemen, die am besten für Niedrigenergiehäuser geeignet sind.

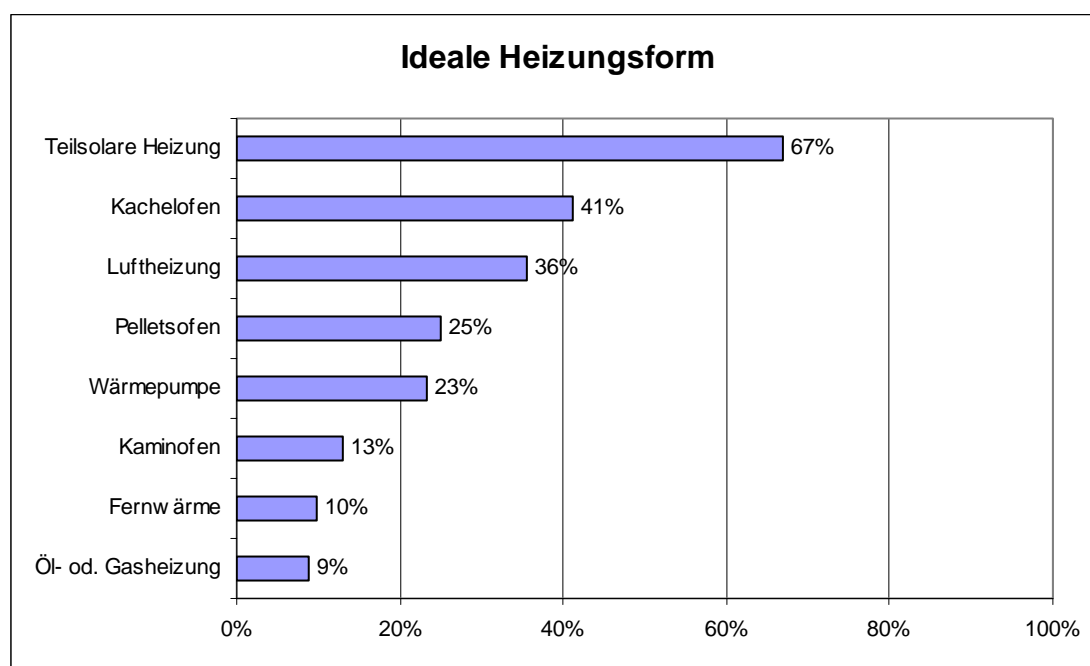


Abbildung 7-14: Ideale Heizungsform bei einem Niedrigenergiehaus in Prozenten

Abbildung 7-14 zeigt, welche Heizungssysteme sich BewohnerInnen von Niedrigenergiehäusern mit bestehenden Lüftungsanlagen am ehesten wünschen würden. Der teilsolaren Heizung mit Warmwasserbereitung wird mit 66,9 Prozent eindeutig der Vorrang eingeräumt. Aber sowohl der Kachelofen mit 41,1 Prozent als auch die Luftheizung (38,2%) werden als gute Alternativen gesehen. Vor allem beim Kachelofen ist die Diskrepanz zwischen der bereits im Gebäude bestehenden (13%) und gewünschten (41%) Heizungsform am größten, bei Lüftungsanlagen decken sich die beiden Werte in etwa, d.h. diejenigen befragten NutzerInnen, die derzeit keine alleinige Luftheizung haben, wünschen sich im Fall dieser Befragung auch keine.

Vor der traditionellen Fernwärme bzw. Öl- oder Gasheizung rangieren schließlich noch der Pelletsofen, die Wärmepumpe und der Kaminofen.

Fast die Hälfte der Befragten (45,2%) meinen in dieser Studie darüber hinaus, es gebe eine ausreichende Auswahl an Heizsystemen, die auch für sehr geringen Energieverbrauch ausgelegt sind – immerhin 27% der Befragten können dem jedoch nicht zustimmen.

Einschätzung verschiedener Wärmeabgabesysteme

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die BewohnerInnen auch zur Einschätzung verschiedener Wärmeabgabesysteme (Heizkörper, Fußbodenheizung, Wandheizung) befragt. Bei der Frage, welches System sie bevorzugen, nannten die meisten Befragten Heizkörper, gefolgt von der Fußbodenheizung und schon abgeschlagen die Wandheizung.

Bzgl. Fußbodenheizung/Wandheizung wurde vor allem das Argument der angenehmen Wärme ins Treffen geführt, eine Heizform, die vor allem für das Badezimmer als geeignet eingestuft wird. Als nachteilig angesehen werden bei der Fußbodenheizung mögliche gesundheitliche Bedenken (z.B. Venenprobleme) und die hohen Anschaffungskosten sowohl bei Fußboden- als auch Wandheizung.

Wie weiter oben erwähnt, sollen nun etwas detaillierter zwei Heizformen herausgegriffen werden, zu denen ausführlichere Untersuchungen vorliegen.

7.3.2 Heizen mit Biomasse aus Sicht der NutzerInnen – eine Sekundäranalyse

Zum Thema „Heizen mit Holz“ wurden in Österreich sowohl im Eigenheimbereich als auch im mehrgeschossigen Wohnbau in den letzten Jahren einige Studien durchgeführt (nicht zuletzt im der Programmlinie „Haus der Zukunft“), die sich mit den Erfahrungen, Problemen und Wünschen von betroffenen BewohnerInnen beschäftigten (siehe Literaturliste). Diese Ergebnisse werden hier zusammengefasst dargestellt, um eine Bewertung der Heizsysteme, die auf Biomassebasis beruhen, auch aus Sicht der BewohnerInnen vornehmen zu können.

Biomasse-Kleinanlagen in Ein-/Zweifamilienhäusern

Die Ergebnisse der Biomassestudie von Rohracher/Suschek-Berger (1997) zeigen, dass Hackschnitzelheizungen und Stückholzkessel im Eigenheimbereich vor allem von Personen eingesetzt werden, die leichten Zugang zum erforderlichen Brennstoff Holz haben oder diesen selbst besitzen. Daher ist das landwirtschaftliche Segment hier auch relativ bedeutend. Es muss auch genügend Platz für die Aufstellung der Anlage und für das Lagern des Brennstoffs vorhanden sein. Vor allem in der Landwirtschaft spielen auch Förderungen für die Anlage eine große Rolle.

Weitere wichtige Motive, die für die Installation der Anlage eine Rolle spielten, sind die Bedienerfreundlichkeit der Anlage, die Unabhängigkeit vom Ausland und die niedrige Höhe der Betriebskosten. Auch der Aspekt des Umweltschutzes durch die Verwendung eines erneuerbaren Energieträgers spielt eine wesentliche Rolle.

Die Zufriedenheit mit den Heizanlagen in diesem Bereich ist recht groß. Sie sind wenig störanfällig und kleinere Reparaturen werden meist selbst ausgeführt. Technisches Know-how der BesitzerInnen spielt hier natürlich eine wichtige Rolle.

Biomasse-Kleinanlagen in Mehrgeschosswohnbauten

Wie der sozialwissenschaftliche Teil der Biomassestudie von Könighofer (2001) zeigt, unterscheiden sich die Erfahrungen von BewohnerInnen in Eigenheimen und im Mehrgeschosswohnbauten vor allem dadurch, dass die Auseinandersetzung mit der Heizanlage in Ein- und Zweifamilienhäusern wesentlich intensiver ist. In Mehrgeschosswohnbauten ist es den BewohnerInnen am wichtigsten, dass die zentrale Heizanlage im Haus funktioniert und ihre Wohnung mit Wärme versorgt, egal, mit welcher Technologie oder mit welchem Heizsystem dies zustande gebracht wird. Meist wissen sie auch gar nicht, um welchen Heizungstyp es sich in ihrem Heizkeller handelt. Auch beim Interesse für eine Wohnung oder bei der Kaufentscheidung für eine Wohnung spielt die Art der Heizung keine Rolle.

Wenn eine Biomasseheizung in einem Mehrparteienhaus installiert ist, ist die Zufriedenheit damit nicht besser oder schlechter als mit anderen Heizformen – sowohl mit der Heiztechnik als auch dem eingesetzten Brennstoff.

Wichtig sind den Befragten in der Studie bei der Beurteilung des Heizsystems Kosten- und Umweltaspekte, Kriterien, die von einer gut eingestellten Biomassekleinanlage in positiver Weise erfüllt werden.

Da von den BewohnerInnen im Mehrgeschosswohnbau wenig Auseinandersetzung mit dem in ihrem Gebäude eingesetzten Heizsystem zu erwarten ist, sind in diesem Segment die Wohnbaugenossenschaften erste Ansprechpartner. Motivation für diese, Hackschnitzelheizungen im Mehrgeschosswohnbau zu forcieren, sind oft Interessen der Gemeinden, in denen die Bauten errichtet werden – die Bauern der Region haben großes Interesse, ihr Holz in Form von Hackgut zu verkaufen und die Wohnanlagen damit zu beliefern. Die niedrigen Betriebskosten sprechen für die Biomasseanlagen, die höheren Investitionskosten dagegen. Probleme mit den Anlagen gab es eher bei schon länger in der Vergangenheit installierten, manchmal gibt es auch Anfangsprobleme bei neueren Anlagen, die aber relativ leicht behoben werden können.

Kachelöfen in Ein-/Zweifamilienhäusern

Auch Kachelöfen werden forciert im Eigenheimbereich eingesetzt, und hier sehr oft als Zusatzheizung, eher selten als Ganzhausheizung. Als Zusatzheizung werden sie – wie die Kachelofenstudie von Adensam u.a. (2000) zeigt – intensiv genutzt. Die Kundenzufriedenheit mit der Heizform „Kachelofen“ ist weitgehend groß. Motive für die Anschaffung eines Kachelofens sind die behagliche Wärme, die er ausstrahlt und die Faszination des offenen Feuers, das mit dem Kachelofen in Verbindung gebracht wird. Die hohen Anschaffungskosten spielen eine geringe Rolle bei der Kaufentscheidung.

Als Hindernisse für die Forcierung von Kachelöfen (vgl. Biermayr u.a. 2001) kann hauptsächlich der erhöhte Bedienungsaufwand angeführt werden, der es Singles, Berufstätigen oder älteren Menschen erschwert, einen Kachelofen einzusetzen. Das aktive manuelle Einheizen und die Aschenentsorgung stellen hier mögliche Hinderungsgründe dar. Der Holzbezug stellt für diejenigen, die einen Kachelofen betreiben, kein großes Problem dar. Von den BetreiberInnen wird der Kachelofen auch als ökologische Heizform eingestuft. Nicht zuletzt spielt sicher auch eine Rolle, dass der Besitz eines Kachelofens eine Art „Statussymbol“ ist.

Soll der Kachelofen als Ganzhausheizung genutzt werden, müssen schon bei der Planung des Gebäudes die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, zumindest muss der Kachelofen zentral gesetzt werden und kann dann sämtliche Räume mittels Strahlungswärme versorgen. Auch eine Versorgung über Leitungen oder Luftschächte (Wasser oder Hypokausten) ist denkbar und möglich.

Aufgrund der durchgeführten Interviews zeigt sich ein positives Bild des Kachelofens als Hauptheizung.

Kachelöfen in Mehrgeschosswohnbauten

Kachelöfen in Wohnungen sind naturgemäß weniger weit verbreitet. Wenn sie aber im mehrgeschossigen Wohnbau zum Einsatz kommen, dann zeigt sich bei den BenutzerInnen ein ebenso positives Bild wie bei den BewohnerInnen von Eigenheimen. Auch eine Wärmeversorgung der ganzen Wohnung mit dem Kachelofen ist in diesem Fall denkbar.

Pellets-Einzelöfen in Ein-/Zweifamilienhäusern/Wohnungen

Wie die Studie von Biermayr u.a. (2001) zeigt, ist die Technologie der Pelletsöfen den KonsumentInnen relativ unbekannt. Dies erschwert natürlich auch ihren Einsatz als Ganzhaus- oder Ganzwohnungsheizung. Wenn Pelletsöfen bekannt sind oder vielleicht sogar eingesetzt werden, dann spielt sicher die „Kaminatmosphäre“ wie beim Kachelofen eine wichtige Rolle. Pellets werden auch als heimischer, erneuerbarer Rohstoff angesehen, wenn sie auch vom Preis her von den meisten Befragten überschätzt werden, ebenso auch die Investitionskosten eines Pelletskaminofens. Als hemmende Faktoren können auch die Brennstoffbesorgung (der Pelletsmarkt ist noch immer relativ jung), das Brennstoffhandling (manuelles Einheizen) und die Aschenentsorgung angesehen werden.

Pelletsessel in Mehrgeschosswohnbauten

Für Pelletsessel (kleinster Leistung), die voll automatisierte Heizsysteme darstellen und durchaus – abgesehen vom verwendeten Brennstoff Holz – einer Öl-Zentralheizung im mehrgeschossigen Wohnbau entsprechen, gilt bzgl. der Informiertheit der KonsumentInnen dasselbe wie für die Pellets-Einzelöfen – sie sind den potentiellen BenutzerInnen meist unbekannt. Ebenso gilt hier als positives Signal wiederum die Verwendung eines heimischen, erneuerbaren Energieträgers und, dass es sich um ein vollautomatisches System handelt. Als negative Faktoren sind auch hier die Unsicherheit der Brennstoffversorgung, weiters die mögliche Geräuschentwicklung durch die Heizanlage und die höheren Investitionskosten als bei einer Gas- oder Ölheizung anzuführen.

Allgemein gilt hier sicher wiederum das schon für die zentralen Hackschnitzelheizungen in Mehrfamilienwohngebäuden Gesagte, nämlich, dass den BewohnerInnen die Art der zentralen Heizanlage nicht besonders wichtig ist, solange diese gut funktioniert.

7.3.3 Heizen über die Lüftungsanlage aus Sicht der NutzerInnen

Auf Lüftungsanlagen und Luftheizungen in Niedrigenergie- und Passivhäusern wird in mehreren Studien ausführlich Bezug genommen. Dies hat nicht zuletzt den Grund darin, dass kontrollierte Wohnraumlüftung bei hocheffizienten Niedrigenergiehäusern zu einer Notwendigkeit wird und das Passivhauskonzept explizit darauf ausgerichtet ist, dass eine Energieversorgung ausschließlich über die Lüftungsanlage möglich ist (und zumindest ökonomisch gesehen daher auch nahe liegt, da eine kontrollierte Wohnraumlüftung ohnehin erforderlich ist). Lüftungsanlagen sind eine Haustechnikkomponente, die darüber hinaus für BewohnerInnen durchaus einen Unterschied machen und als anders wahrgenommen werden (im Gegensatz etwa dazu, ob im Keller ein Pellets- oder Ölkessel oder eine Fernwärmeübergabestation steht). Der zentrale Stellenwert der Lüftungsanlage in solchen Konzepten führt daher vielfach zu kontroversiellen Diskussionen über die Vor- und Nachteile dieser Entwicklung.

Im Rahmen eines Projektes der Programmlinie ‚Haus der Zukunft‘ (Rohracher et al. 2001) wurde eine Befragung von 144 Einfamilienhäusern und Wohnungen mit kontrollierter Wohnraumlüftung durchgeführt. Bei den positiven und negativen Erfahrungen in Abbildung 7-15 zeigen sich vor allem auch große Unterschiede zwischen Anlagen in Ein/Zweifamilienhäusern und in Geschosswohnbauten. Das zeigt auch, wie wichtig der Kontext der Lüftungsanlage ist: Haben sich die BewohnerInnen selbst

für dieses System entschieden? Haben Sie frühzeitig ausreichende Informationen erhalten? Gibt es ausreichende Flexibilität bei der Bedienung der Luftheizung? Solche Fragen müssen für Luftheizungen in Geschosswohnbauten und in Eigenheimen oft sehr unterschiedlich beantwortet werden und führen auch zu unterschiedlicher Zufriedenheit mit dem Heizsystem.

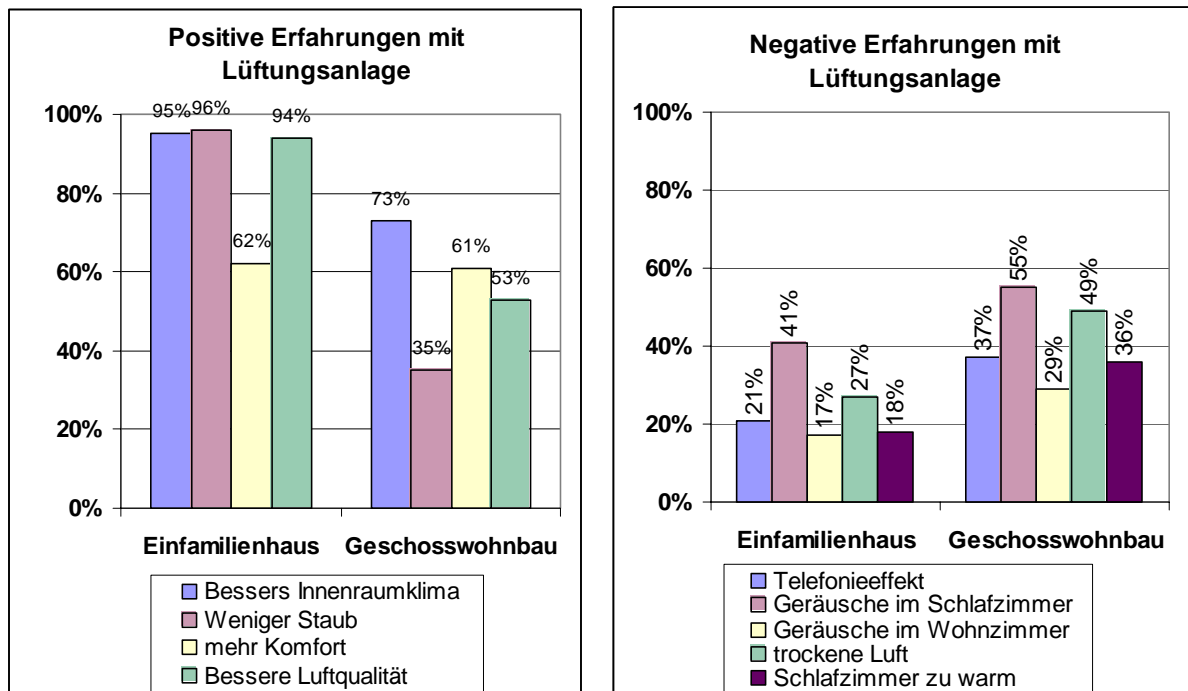


Abbildung 7-15: Positive und negative Erfahrungen mit Lüftungsanlagen

Grundsätzlich ist die Zufriedenheit mit Lüftungsanlagen (oft mit Luftheizungen) sehr hoch. Geschätzt werden besonders das gute Innenraumklima und die frische Luft. An den negativen Erfahrungen – vor allem Geräusentwicklung oder trockene Luft – zeigt sich jedoch, dass die Planung und Errichtung der Lüftungsanlage häufig nicht optimal erfolgt, bzw. dass Luftheizungen sensitiv gegenüber Planungsfehlern sind. Denn ein Großteil der Probleme mit kontrollierter Wohnraumlüftung hängt nicht mit unausgereiften technischen Komponenten zusammen, sondern mit der Planung und Ausführung der Anlage, der Integration in das Gesamtgebäude, der Information der NutzerInnen, dem Kostendruck, der Einregulierung der Anlage nach Fertigstellung, etc. Zwar lassen sich deutliche Lernprozesse und ein Know-how Zuwachs bei spezialisierten Planern, Architekten und Herstellern konstatieren, doch ist für einen großen Teil der einschlägigen Professionisten die Planung und Errichtung von Lüftungsanlagen im Wohnbau - insbesondere wenn über die Lüftungsanlage teilweise oder vollständig geheizt werden soll - ein Aufgabenfeld, in dem sie noch nicht über ausreichende Erfahrungen und Kompetenzen verfügen.

Auch die im Rahmen der vorliegenden Studie erhobenen Erfahrungen von BewohnerInnen in ausgewählten Passivhausanlagen zeigen die beträchtliche Streuung zwischen den unterschiedlichen Objekten (siehe Abbildung 7-16).

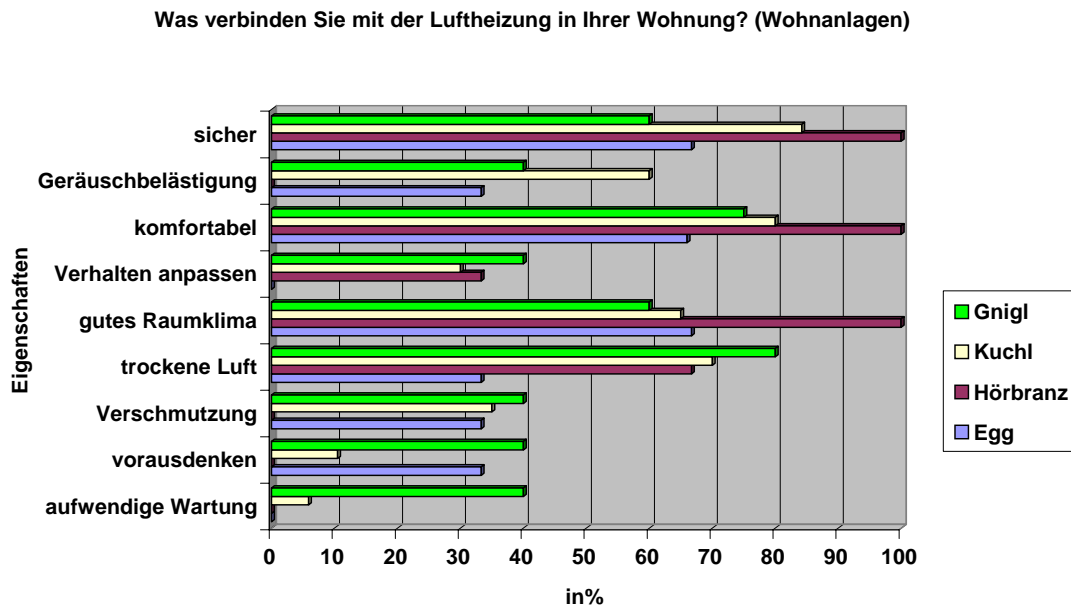


Abbildung 7-16: Erfahrungen mit Luftheizung in vier Passivhausanlagen

Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch mehrere deutsche Studien – vor allem Begleitforschungen zu Passivhäusern und Niedrigenergiehäusern in Deutschland (Rohrmann 1994, 1995), und das vor kurzem abgeschlossene Synergiehausprojekt, bei dem bei 400 Niedrigenergiehäusern mit Lüftungsanlagen eine Begleitforschung durchgeführt wurde.

Aus Sicht der BewohnerInnen fällt daher die Beurteilung der Luftheizung durchaus ambivalent aus: Sehr positiven Erfahrungen von BewohnerInnen in Gebäuden mit gut geplanten und installierten Anlagen stehen oft sehr negative Erfahrungen von NutzerInnen schlecht funktionierender Anlagen gegenüber. Solche Erfahrungen unterstreichen auch, wie sehr die in der Darstellung der Systemvarianten angeführten Charakteristika der Systeme mit ihren Vor- und Nachteilen von der tatsächlichen Ausführungsqualität beeinflusst werden. Es erfordert langfristige Lernprozesse der Herausbildung entsprechender Kompetenzen, Erfahrungen und Qualitätsstandards, bis die technischen Potentiale bisher wenig gebräuchlicher Technologien (in diesem Fall Luftheizungen, vor nicht langer Zeit etwa Wärmepumpen oder Hackschnitzelheizungen) auch auf breiter Front genutzt werden.

8. Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Problembeschreibung

Der Energieverbrauch neuer Gebäude hat sich in den letzten 30 Jahren drastisch reduziert. Ein Niedrigenergiebau verbraucht nur ca. ein Sechstel der Betriebsenergie eines durchschnittlichen Hauses, dass vor 30 Jahren erbaut wurde. Mit geringen Mehrkosten kann der Energieverbrauch noch weiter gesenkt werden.

Gebäude in Niedrigenergiebauweise (bzw. Passivhausstandard) stellen aber andere Anforderungen an das Heizungssystem als herkömmliche Gebäude. In diesen Systemen haben Benutzerverhalten, passive Solargewinne und innere Wärmequellen einen wesentlichen größeren Einfluss auf den Energiebedarf. Untersuchungen von (BÜHRING, 2000) zeigen, dass eine Erhöhung der Raumtemperatur von 20 auf 22 °C bei einem Passivhaus (15,3 kWh/m²a in der Basisvariante) zu einer Erhöhung des Heizwärmebedarfs von 41 % führt. (LARI, 1999) stellte für die Erhöhung der Raumlufttemperatur von 20°C auf 24°C für ein Niedrigenergiehaus (Basisvariante 32 kWh/m²a) eine Verdoppelung des Heizenergiebedarfes fest.

Aus diesen Gründen muss gerade bei Niedrigenergiegebäuden das Heizungs- und Lüftungssystem gut auf den Nutzer gut abgestimmt sein. Um eine hohe Marktakzeptanz zu erreichen sollte das Gebäude im Zusammenspiel mit dem Heizungssystem ein breites Spektrum an Benutzerverhalten ermöglichen (z.B. gewünschte Raumtemperatur und Lüftungsverhalten).

Bisher wird folgendes Heizungssystem für Passivhäuser favorisiert: Luftheizung in Kombination mit kontrollierter Wohnraumlüftung mit Abluftwärmerückgewinnung und Wärmepumpe sowie Luftvorwärmung in einem Erdkanal. Die Brauchwasserbereitung erfolgt über die Wärmepumpe mit der Abluft als Wärmequelle, über eine Solaranlage, mit einem konventionellen Nachheizgerät (z.B. Biomassekessel) oder elektrisch.

Passivhäuser sind nicht nur über den spezifischen Rest-Heizenergiebedarf bezogen auf die Wohnnutzfläche von **15 kWh/m²a** (hierbei ist die Abluftwärmerückgewinnung bereits berücksichtigt, allerdings deren Strombedarf nicht inkludiert) sondern auch über **42 kWh/m²a** Endenergiebedarf für alle Verbraucher (Heizung, Warmwasser, Elektrogeräte etc.) bzw. **120 kWh/m²a** Primärenergiebedarf definiert. Um diese energetischen Passivhauskriterien zu erreichen braucht das Passivhauskonzept ein „dichtes Gebäude“ als Voraussetzung für eine funktionierende kontrollierte Wohnraumlüftung und ein „sehr gut gedämmtes Gebäude“ um den Wärmebedarf über das Lüftungssystem decken zu können. Bei knappem Erreichen der energetischen Passivhauskriterien kann der Fall eintreten, dass nur eine eingeschränkte Variation des Benutzerverhaltens zugelassen ist, da die Lufteintrittsgeschwindigkeit und –temperatur der Zuluft aus Komfortgründen begrenzt sind.

8.2 Zielrichtung des Projektes

Die Energiebedarfswerte des Passivhaussystems lassen sich aber auch mit anderen Heizungstechnologien erreichen, die gewisse Vor- aber auch Nachteile gegenüber der oben beschriebenen Variante des Passivhauses haben. Das Projekt „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ soll nun einige dieser Alternativen aufzeigen, dem Passivhauskonzept gegenüberstellen und einer Bewertung unterziehen. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt somit in der Bewertung von verschiedenen Heizungssystemen für Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude in Niedrigenergie- und Passivhausbauweise in Bezug auf Erfüllung des weiten Spektrums der Benutzerwünsche sowie ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte. Es soll die Frage- „Welches Heizungssystem bietet für welche Anforderungen welche Eigenschaften?“ -leichter beantwortet werden können.

8.3 Durchgeführte Arbeiten

Die Umsetzung dieser Ziele stützt sich auf ein Paket unterschiedlicher Untersuchungen und Analysen, die durch Kombination und durch gegenseitigen Abgleich zu Ergebnissen führen sollen.

Diskussion in Expertenrunden über Vor- und Nachteile diverser Heizungssysteme.

Ein wichtiger Punkt im Erreichen des gesteckten Zieles liegt in der Einbindung personeller Sachkompetenz. Speziell auf dem Gebiet des Passivhaussystems ist sowohl der wissenschaftliche als auch die praktische Wissensstand sehr weit fortgeschritten. Mit der Einbindung entsprechender Fachfirmen und Institutionen in das Projekt und die umfangreichen Diskussion mit Fachkräften (siehe Projekttreffen und 1. Workshop) wurden diesbezüglich Akzente gesetzt.

Messdaten aus dem EU-Projekt CEPHEUS

Durch Einbinden der AEE INTEC und des Energieinstitutes Vorarlberg ist es gelungen, wesentliche Erfahrungen auf dem Gebiet der Vermessung von Passivhäusern (EU-Projekt CEPHEUS „Cost Efficient Passive Houses as European Standards“) und die damit verbundenen Messdaten in das Projekt einzubinden.

Definition der Referenzwohnbauten

Auf Grundlage der dadurch entstandenen Datenlage war eine Definition der Referenzsysteme aus den Reihen der im Rahmen des CEPHEUS Projektes vermessenen Gebäude naheliegend. Nach Analyse der Datenlage wurde ein Gebäude in der Gemeinde Hörbranz (Vorarlberg) als Beispiel eines Reihenhauses mit drei Wohneinheiten und ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten entwickelt in (KÖNIGHOFER et al., 2001) mit den Wandaufbauten des Objektes Hörbranz als Beispiel eines Geschosswohnbaus gewählt.

Aufstellen von Simulationssystemen und Abgleichen der Referenzsysteme

Für die Referenzgebäude wurden im thermischen Simulationsprogramm TRNSYS Referenzsysteme aufgebaut und mit analysierten Messdaten ergänzt. Die Sensitivitätsanalyse der diesbezüglich relevanten Parameter wird derzeit bearbeitet und ist im 2. Zwischenbericht noch nicht enthalten.

Erstellen der Nutzerprofile mit Normenvergleich

Wie bereits in der Einleitung beschrieben erhöht sich bei Niedrigenergiebauten und im Besonderen bei Passivhäusern der Einfluss des Benutzerverhaltens auf die Wärmebilanz eines Gebäudes. Da sich aufgrund hoher Dämmstärken die Transmissionsverluste stark und durch eine Abluftwärmerückgewinnung die Lüftungswärmeverluste deutlich verkleinern, rücken andere Komponenten der Wärmebilanz, so auch das Benutzerverhalten, ins Zentrum der Betrachtungen. Aus diesem Grund wurde im Zuge dieses Projektes eine Befragung in 53 Wohneinheiten durchgeführt. Für die Befragung wurden Wohnanlagen in Gnigl, Kuchl, Gneis-Moos, Egg und Hörbranz gewählt (CEPHEUS-Projekte). Es wurde das Verhalten von BewohnerInnen in ihren Wohnungen bezüglich Anwesenheit, Temperaturregelung, Fensterlüftung, Jalousienbenützung und Warmwasserverbrauch befragt und in Zusammenhang mit den CEPHEUS-Messdaten in Benutzerprofile verarbeitet. Das Gegenüberstellen dieser Profile, mit den wesentlichen Aussagen diesbezüglich relevanter Normen, bietet die Möglichkeit die erhaltenen Ergebnisse zu bewerten und einzuordnen.

Typologie und qualitative Bewertung niederenergie- und passivhaustauglicher Heizungssysteme

Erstellung und Diskussion eines Inventars von möglichen Heizungstechnologien für Niedrigenergie- und Passivgebäude basierend auf Wärmerückgewinnung und/oder erneuerbaren Energieträgern. Auswahl von vier viel versprechenden Systemen zur weiteren simulationstechnischen Bearbeitung.

Simulation und quantitative Bewertung der Heizungssysteme

Quantitative Bewertung unterschiedlicher Heizungs- und Lüftungssysteme für Passiv- und Niedrigenergie Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude unter Berücksichtigung von Raumklima, mögliche Bandbreite des Benutzerverhaltens, Endenergie- und Primärenergiebedarf, CO₂-äquivalent

Emissionen, Wärmegestehungskosten, Platzbedarf und Fehlerfreundlichkeit bei Installation und Betrieb mit Hilfe von Simulationen, Richtofferten, Erfahrungen mit realisierten Anlagen.

Sozialwissenschaftliche Studie

Die Erstellung eines Fragebogens und vertiefte face-to-face-Interviews zur Erhebung der Zufriedenheit, der Akzeptanz und des Benutzerverhaltens der Bewohner sowie die Zuverlässigkeit der verschiedenen Heizungs- und Lüftungssysteme wurden in 53 Wohneinheiten durchgeführt und ausgewertet.

Sozialwissenschaftliche Sekundäranalyse

Eine Aufgabe des IFF/IFZ in diesem Projekt ist die Sekundäranalyse von verschiedenen Projektendberichten, die im Rahmen der Programmlinie „Haus der Zukunft“ erstellt wurden und sich mit Benutzereinschätzungen zu verschiedenen Technologien – auch im Bereich Lüftung und Heizung – und mit dem Verhalten von BewohnerInnen auseinandersetzen. Diese Daten werden die Ergebnisse aus der Benutzerbefragung ergänzen. Für den Endbericht werden die komprimierten Ergebnisse aus der Benutzerbefragung mit den Ergebnissen aus der Sekundäranalyse in Relation gesetzt.

Schriftlicher Leitfaden

Als Ergebnis wird ein Leitfaden der Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser mit deren Vor- und Nachteilen, Einsatzgrenzen, Kosten, Endenergie- und Primärenergiebedarf, etc. vorliegen und im Rahmen eines Workshops dem interessierten Fachpublikum (Architekten, Bauträger, Haustechnikplaner, Förderstellen, Betreiber und Benutzer) vorgestellt und diskutiert.

8.4 Kurzzusammenfassung der Ergebnisse

Simulation von Passivhäusern

Es ist prinzipiell möglich, zwischen Messung und Simulation eine hohe Übereinstimmung im Raumlufttemperaturverlauf zu erzielen. Der nötige Detaillierungsgrad der dazu nötigen Eingabedaten ist als sehr hoch zu bezeichnen, da bereits kleine Schwankungen sensitiver Parameter das Ergebnis entscheidend beeinflussen können.

Das Simulationsmodell darf nicht nur anhand von Planmaterial erstellt werden. Ein Abgleichen mit dem tatsächlichem Baubestand ist unerlässlich. Nach Planungsabschluss geänderte Konstruktionen oder Baufehler können Änderungen im Bewertungsergebnis verursachen (Thermographie, Blower Door Test etc.) .

Bei solchen Gebäuden spielt das Benutzerverhalten eine sehr große Rolle bei der Vorhersage des Energieverbrauchs. Eine Erhöhung der Raumtemperatur von 20°C auf 25°C bei dem in der Studie definierten Referenzgebäude 1 erhöht, bei sonst gleichbleibendem Verhalten, den Heizenergiebedarf um 57 % (vgl. Tabelle 1-1). Bei zwei angenommenen Extremszenarien des Benutzerverhaltens (Raumtemperatur, Innenwärmen und Lüftung) schwankt der Heizenergiebedarf zwischen 11,6 und 100,7 kWh/m²a (vgl. Tabelle 1-1).

Für einen genauen Vergleich reicht es nicht aus das Nutzungsverhalten aus Normangaben zu beziehen. Selbst durch Befragungen erstellte Nutzungsprofile weisen noch größere Unsicherheiten auf. Im besonderen das Lüftungsverhalten ist durch Befragungen nicht genau genug zu erfassen.

Dem Globalstrahlungsverlauf bei solaren Passivhäusern kommt eine wesentliche Bedeutung für das Gesamtergebnis zu. Die Genauigkeit des Außenlufttemperaturverlaufes ist, aufgrund der höheren Messgenauigkeit und der hohen Qualität der Außenhülle weniger kritisch. Die Schwankungsbreiten der messtechnischen Erfassung einzelner Parameter kann bedeutende Verschiebungen in der Bewertung eines Systems bewirken und muss daher berücksichtigt werden.

Heizungssysteme für Gebäude gedämmt nach Passivhausstandard

Gebäude in Niedrigenergiebauweise (bzw. Passivhausstandard) stellen andere Anforderungen an das Heizungssystem als herkömmliche Gebäude. In der vorliegenden Arbeit wurden ausschließlich Mehrfamilienhäuser, gedämmt nach Passivhausstandard, betrachtet.

Als Wärmeabgabesysteme eignen sich reine Luftheizungen (sofern die spezifische Heizlast aufgrund Transmission und Infiltration nicht 14 W/m^2 überschreitet) sowie alle gängigen Warmwasser-Wärmeabgabesysteme (Radiators-, Fußboden- und Wandheizung). Die Innenoberflächentemperatur der Außenbauteile bei solch hoch wärmedämmten Gebäuden liegen immer nahe der Raumtemperatur, womit generell ein gutes Raumklima gewährleistet ist. Die Wärmeabgabeflächen können, aufgrund der geringen Heizlast, mit geringen Übertemperaturen gegenüber der Raumtemperatur betrieben werden, womit ebenfalls eine gleichmäßige Raumtemperatur gewährleistet ist.

Die Benutzerwünsche von Bewohnern von Niedrigenergie-Mehrfamilienhäusern wurden in einer Befragung erhoben. Primäres Ergebnis ist, dass den Bewohnern die Art der Heizung nicht so wichtig ist, vorausgesetzt die Anlage ist einfach bedienbar, wenig fehleranfällig und arbeitet möglichst wartungsfrei. Auftretende Akzeptanzprobleme konnten immer wieder auf nicht optimal geplante und errichtete Heizanlagen (Dimensionierung, Regelung, Geräusentwicklung etc.) zurückgeführt werden – relativ unabhängig vom Typus des Heizsystems.

In einer, sicher nicht vollständigen, Betrachtung von 9 verschiedenen Heizungssystemen für solche Gebäude (4 Luftheizungs- und 5 Wasserheizungssysteme) mit den Wärmequellen dezentrale Abluftwärmepumpe, zentrale Erdreichwärmepumpe, zentraler Pellets- und Gaskessel sowie dezentraler Kaminofen und dezentraler Kachelofen wurden deren Eigenschaften, Vor- und Nachteile sowie der Platzbedarf beschrieben.

Simulation der Referenzanlagen

Vier dieser Systeme (dezentrale Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpe, zentrale Sole/Wasser-Wärmepumpe, zentraler Gas- und zentraler Pelletskessel (alle zentralen Systeme mit Zweileiternetzen) wurden in einer detaillierten Simulation auf ihre Eigenschaften, End-, und Primärenergiebedarf, CO_2 -äquivalent Emissionen, Betriebskosten und auf den Einfluss von verschiedenem Benutzerverhalten getestet. Hierfür wurden zuerst zwei Referenzgebäude, ein Reihenhause mit 3 Wohneinheiten und ein Geschosswohnbau mit 12 Wohneinheiten, basierend auf Untersuchungen aus vorausgegangenen Projekten (Cepheus, 2001, Könighofer et al., 2001) definiert. Das Benutzerverhalten wurde zum einen aus Messungen in Cepheus (2001) sowie einer in dieser Arbeit durchgeführten Befragung in 52 Wohnungen von Mehrfamilien-Passiv- und Niedrigenergiehäusern erstellt. In diesen Erhebungen und Messungen zeigte sich, dass die durchschnittliche Raumlufttemperatur mit $22,5^\circ\text{C}$ anzusetzen ist. Dies wurde für alle weiteren Betrachtungen angenommen.

Bis auf das System zentrale Sole/Wasser-Wärmepumpe wurden zudem alle Systeme mit und ohne Einbeziehung einer thermischen Solaranlage für Brauchwarmwasserbereitung und Heizung (Heizung nur bei den zentralen Systemen) betrachtet.

Den geringsten Energiebedarf hat das dezentrale System Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Solaranlage, gefolgt vom zentralen Sole-Wasser-Wärmepumpensystem und etwa gleichwertig dem dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystem ohne Solaranlage. Dies gilt auch für die Betriebskosten. Die geringsten CO_2 -äquivalent Emissionen hat hingegen das zentrale Pelletssystem. Von großer Bedeutung für den gesamten Primärenergiebedarf ist der Haushaltsstrom, der eigentlich nichts

mit dem Heizungssystem zu tun hat. Daher wurde er auch in den neuesten Passivhauskriterien in Deutschland aus der Betrachtung herausgenommen.

Für „normales“ Benutzerverhalten können alle Systeme die gewünschte Raumlufitemperatur und Raumluftheuchte über die gesamte Heizperiode halten. Bei extremen Benutzerverhalten (hohe Heizlast durch hohe Raumtemperatur und geringe Innenwärmen) und nach Auskühlvorgängen wird jedoch die limitierte Heizlast des dezentralen Luft/Luft/Wasser-Wärmepumpensystems ersichtlich. Bei einer Wiederaufheizung reagiert die Fußbodenheizung naturgemäß träger als eine Radiatorheizung, allerdings ist auch die Auskühlung geringer.

Zwischen den beiden Referenzgebäuden konnten keine großen Unterschiede im Verhältnis der Energieverbräuche, Emissionen und Betriebskosten für die verschiedenen Heizungssysteme festgestellt werden. Der Endenergiebedarf war im größeren Gebäude aufgrund der höheren Wirkungsgrade der Wärmeerzeuger (und weniger aufgrund der größerem Kompaktheit) allerdings um ca.10 % geringer. Auch die Wärmegestehungskosten liegen aufgrund der Investitionskostendegression bei größeren Einheiten und dem geringeren Energiebedarf im größeren Gebäude um 10 % günstiger.

Generelle Aussagen

Generell kann nicht gesagt werden, dass dieses oder jenes Heizungssystem das beste darstellt – jeder Typus hat ein spezifisches Stärke-Schwächenprofil, dessen Gesamtbewertung letztlich von Art und Umfeld des Gebäudes und den jeweiligen Nutzerpräferenzen abhängt. Daher werden im Leitfaden vor allem die Vor- und Nachteile der einzelnen Systeme dargestellt und können von den Benutzern des Handbuchs selbst bewertet werden.

8.5 Ausblick und Empfehlungen

In dieser Arbeit wurde ein Instrumentarium zur Bewertung von verschiedenen Heizungssystemen für Mehrfamilienhäuser, gedämmt nach dem Passivhausstandard, entwickelt und an vier ausgewählten Systemen angewendet. Als logische Nachfolgearbeiten ergeben sich nun die folgenden Aspekte:

- € Technische Optimierung der bisher betrachteten Systeme in Bezug auf Energieeffizienz, ökologische Kriterien, Investitions- und Betriebskosten, sowie qualitative Kriterien.
- € Erarbeitung von weiteren Randbedingungen (Referenzgebäude, Nutzungen)
- € Überprüfen der Ergebnisse für andere Randbedingungen (Gebäude, Nutzungen etc.)
- € Bewertung von weiteren Systemen unter den gleichen Randbedingungen und Kriterien
- € Verbesserung bzw. Vereinfachung des Bewertungsalgorithmus

Im Hinblick auf die Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden und aufgrund des steigenden Kühlenergiebedarfs im Gebäudebereich sind natürlich auch die folgenden Punkte als Nachfolgearbeiten notwendig

- € Bewertung des Heizungs- und Kühlenergiebedarfs von Gebäuden
- € Heizungs- und Kühlungssysteme von Niedrigenergiehäusern unter Berechnung nicht nur der Kühlleistung sondern auch des jährlichen Kühlenergiebedarfs. Hierfür können die im vorliegenden Projekt erarbeiteten Randbedingungen und die Bewertungsschemata verwendet werden.

Die Ergebnisse des hier vorliegenden Projektes fließen natürlich in zukünftige Gebäudeplanungen der Projektpartner ein.

Außerdem kann der Schlussworkshop natürlich jederzeit an anderer Stelle wiederholt werden und die Ergebnisse werden auf internationalen Tagungen präsentiert werden.

9. Literaturangaben

Adensam, H. et al. (2000), Kachelöfen im nachhaltigen Energiekonzept, Projekt-Endbericht, Österreichisches Ökologie-Institut, Wien.

Afje, Th., Bühring, A., Dürig, M., Huber, A., Keller, P., Shafai, E., Widmer, P., Zweifel, G., (2000), Kostengünstige Wärmepumpenheizung für Niedrigenergiehäuser, Technisches Handbuch: Grundlagen, Planungsvorgehen und Praxisbeispiele, Bundesamt für Energie, Schweiz

AK WIEN (2001), Erfahrungen und Ergebnisse aus der Messbegleitung

Baumbach, G., Angerer, M., Zuberbühler, U., Straub, D. (1995), Schadstoffemissionen gewerblicher und industrieller Holzfeuerungen – Ergebnisse eines Feldmessprogramms; im Selbstverlag des Institutes für Verfahrens- und Dampfkesselwesen der Universität Stuttgart.

Biermayr, P. et al. (2001), Analyse fördernder und hemmender Faktoren bei der Markteinführung von innovativen Wohnbauten. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 25/2001, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.

Blümel, E., Fink, Ch., Puschnig, P., HEimrath, R., Streicher, W., Galli, Sumann, Eder, K (in Arbeit), COOLSAN – Kältetechnische Sanierungskonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, AEE INTEC, Gleisdorf und Institut für Wärmetechnik TU-Graz

Buderus (1994), Buderus Heiztechnik Information 2/94, Buderus Heiztechnik GmbH, Wetzlar

Bühring A. (2001), Theoretische und experimentelle Untersuchungen zum Einsatz von Lüftungs-Kompaktgeräten mit integrierter Kompressionswärmepumpe, Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg.

Bühring A. (2000), Feldtest von Lüftungs-Kompaktgeräten, HLK 10/2000-10-23

CEPHEUS (2001), Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standard; Ein Projekt innerhalb des THERMIE-Programms der Europäischen Kommission, Generaldirektion Transport und Energie, Projekt-Nummer: BU/0127/97, Laufzeit: 1/98 bis 12/01

CEPHEUS 1 (2002), Krapmeier, H., Müller, E., CEPHEUS – Projektinformation Nr. 24, Reihenhäuser Hörbranz, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn

CEPHEUS 2 (2002), Krapmeier, H., Müller, E., CEPHEUS – Projektinformation Nr. 23, Mehrfamilienhaus Egg, Energieinstitut Vorarlberg, Dornbirn

DIN 1946-2 (1994), Raumluftechnik; Gesundheitstechnische Anforderungen (VDI-Lüftungsregeln), Januar 1994.

DIN 4108 (1997), Wärmeschutz im Hochbau, Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte. Entnommen aus: Jenisch R., Lehrbuch der Bauphysik, B. G. Teubner, Stuttgart 1997.

DIN 4701, Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden

E+E Elektronik, E+E Elektronik, Montage- und Betriebsanleitung Feuchte- und Temperatur-Messumformer Serie EE20, Engerwitzdorf

Egg (1999), Angebot Wohnraumlüftung, Projekt Kohler Wohnbau, Egg der Firma Drexel Solarluftechnik und Lüftungsbau GmbH

EN1264 (1997), Fußbodenheizung - Systeme und Komponenten, November 1997

EMLTD, ENVIRONMENTAL MEASUREMENTS LIMITED, England
<http://www.emltd.net/sks1110.pdf>, 09.03.2002

- ENERMET**, ENERMET AG, technische Daten Elektronischer Drehstromzähler ...K420iNN..., Fehraltorf
- ENNOS**, <http://www.ennos.de/produkte/ac-zaehler.pdf>, 09.03.2002
- EVA (2002)**, Marktübersicht für Pelletskessel der Energieverwertungsagentur, <http://www.eva.wsr.ac.at/service/pelletkessel.htm>
- EVA**, Beschaffung energieeffizienter Bürogeräte, Energieverwertungsagentur (E.V.A.), <http://www.eva.wsr.ac.at/projekte/eebuero.htm>
- Feist, W. (2000)**, Passivhaus-Vorprojektierung, Energiekennwert Heizwärme, vereinfachte, kostenlose Fassung des Passivhaus Projektierungs Pakets
- Feist, (2001)**, Passivhaus Projektierungs Paket PHPP, Passivhaus-Institut , Darmstadt
- Feist, (2003)**, Was ist ein Passivhaus, Passivhaus-Institut, (<http://www.passiv.de/>)
- Fink C., Blüml E., Kouba R., Heimrath R., Mach T. (2002)**, Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels Luft- bzw. Wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern“, Projekt der Programmlinie „Haus der Zukunft“. 2. Zwischenbericht.
- Fischer H.M. et al. (1997)**, Lehrbuch der Bauphysik, B.G. Teubner, Stuttgart, 1997
- Flade A. (1997)**, Begleitforschung innovativer Wohnprojekte in Hessen: Projekt Frankfurt-Praunheim. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt.
- Ganslat et. al (1992)**, Handbuch der Lichtplanung, Ganslat Hofmann, ERCO Leuchten GmbH, Lüdenscheidt, Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH Braunschweig/Wiesbaden
- Gemis 4.1 (2002)**, Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme, Ökoinstitut e.V., Freiburg, Deutschland, <http://www.oeko.de/service/gemis/de/index.htm>
- Imug, (2000)**, Beratungsgesellschaft für sozial-ökologische Innovationen mbH, Das SynergieHaus im Urteil seiner Bewohner. Gesamtauswertung der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung 1997-1999. Hannover 2000.
- ISO EN 7730 (1994)**, ISO EN 7730, Moderate thermal environments - Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort.
- Jordan U., Vajen K. (2001)**, Realistisches Trinkwasser-Zapfprofil für bis zu 60 Wohneinheiten, OTTI '01, Tagungsbericht, 11. Symposium Thermische Solarenergie, 9.-11.5. 2001, Staffelstein.
- Jungmeier et al. (1995)**, Emissionsfaktoren und energietechnische Parameter für die Erstellung von Energie- und Emissionsbilanzen i Bereich Raumwärme, Joanneum Research, Graz.
- Kaltschmitt, M., Wiese, A., Streicher, W. (2003)**, Erneuerbare Energien, Systemtechnik, Wirtschaftlichkeit und Umweltaspekte, 3. Auflage, Springer.
- Klengel M. (1974)**, Beitrag zur Problematik der Belastung von Räumen mit diffuser Sonnenstrahlung, Diss, TU-Dresden
- Könighofer, K., Padinger, R., Suschek-Berger, H., Mach, Th., Streicher, W. (2001)**, Anforderungsprofile für Biomassefeuerungen zur Wärmeversorgung von Objekten mit niedrigem Energiebedarf, Endbericht zu „Haus der Zukunft“ Forschungsprojektes im Auftrag des BMVIT, Hrsg.: Joanneum Research, Institut für Energieforschung, Elisabethstr. 5, 8010 Graz
- Kouba R., Streicher W. (2001)**, Referenzbürogebäude, Internes Papier, IEA –SHC 25, Solar assisted air conditioning of buildings.
- KUNDO (1996)**, KUNDO System Technik GmbH, 1996, Universal-Rechenwerk für Wärmezähler optocom, Montage- und Betriebsanleitung für 2-Leiter-Version, St. Georgen

- Landesgewerbeamt Baden-Württemberg Hrsg., 2002**, Effiziente Wärmeversorgung von Wohngebäuden – Systemvergleich, Herausgeber: Landesgewerbeamt Baden Württemberg – Informationszentrum Energie-, 4.aktualisierte Auflage, Oktober 2002
- Lari A. (1999)**, Wissenschaftliche Begleitung zur Sicherung der energetischen Optimierung für das Projekt Solarsiedlung Plabutsch, Dissertation am Institut für Städtebau und Umweltgestaltung und dem Institut für Wärmetechnik, TU Graz
- Lari A. (2001)**, Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch, Sicherung der Energie-Optimierung Solarsiedlung Plabutsch, Wien 2001
- Mach, Th., Heimrath, R., Streicher, W.(2000)**, Abschattung des Institutsgebäudes Inffeldgasse 25 – Berechnung der thermischen Effekte, Institut für Wärmetechnik TU-Graz
- Mach, Th, Streicher, W. (2002)**, Thermische Simulation zum Neubau der Betriebsanlage der Firma Sonnenkraft, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, AEE INTEC, Gleisdorf und Institut für Wärmetechnik TU-Graz
- Mach, Th, Blümel, E., Fink, Ch., Streicher, W., Schweyer, K. (2003)**, Thermische Simulation zum Christophorus Haus, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, AEE INTEC, Gleisdorf und Institut für Wärmetechnik TU-Graz
- Maico (1999)**, AEREX Planungsunterlagen
- Mangold D., (2000)**, Solar unterstützte Nahwärme, Bine Projektinfo 8/00, Fachinformationszentrum Karlsruhe, <http://bine.fiz-karlsruhe.de/bine>
- Margreiter, G. (1987)**, Baubiologie und Heizung - Gesundheit in Wohnung und Haus, Jahrestagung 1987 des österreichischen Institutes für Baubiologie in St. Wolfgang / Salzkammergut
- Meteonorm**, Version 4.00, (1999), METEOTEST, Fabriksstrasse 14, CH-3012 Bern
- MIVA (2003)**, Kostenaufstellung für die Technikzentrale für das Christophorus-Haus von Ing. Schloßgangl, Stand: 5.5.2003
- Müller, A., Walter, F. (1992)**, Ravel zahlt sich aus - Praktischer Leitfaden für wirtschaftliche Berechnungen, Bundesamt für Konjunkturfragen, Bern.
- Neubarth, J., Kaltschmitt, M. (2000)**, Erneuerbare Energien für Österreich, Springer
- ÖNORM B-8110-1**, Wärmeschutz im Hochbau; Anforderungen an den Wärmeschutz und Nachweisverfahren. Medieninhaber und Hersteller: Österreichisches Normungsinstitut, 1021 Wien; Vornorm 1. Juni 1998.
- Ö-NORM B 8135**, Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlustes (Heizlast) von Gebäuden
- ÖN H 6000**, ÖNORM H 6000 Teil 3, S.3, 4, 7, 10
- ÖN H 6040**, Lüftungstechnische Anlagen, Kühllastberechnung. Medieninhaber und Hersteller: Österreichisches Normungsinstitut, 1021 Wien; 1997.
- ÖN M 7500**, ÖNORM M 7500 Teil 4, S.13 – 14
- Olesen B.W., Schøler M. und Fanger P.O. (1979)**, Indoor Climate 36. S. 561/579.
- Opfermann et. Al (2003)**, Arbeitsstätten Opfermann, Streit Pernack, Forkel Verlag, 6. Auflage
- Österreichische Nationalbank (2000)**, Diskont- und Lombardsätze der Österreichischen Nationalbank. (<http://www.oenb.co.at>) Wien, 2000
- Paul (2002)**, Preisliste Wärmerückgewinnungsgeräte und Wärmepumpen, Stand: 3.7.2002
- Pettneu (2001)**, Angebot der Firma Kaplenig GmbH, Kötschach-Mauthen vom 20.3.2001 für eine Pellets-Zentralheizungsanlage

Pfeiffer F., Struschka M., von Lepel F. und Baumbach G. (1999), Start- und Stopp-Emissionen von Öl- und Gasfeuerungen, *Wärmetechnik, Versorgungstechnik*, 5/1999, S. 34-41.

PHPP, (1999), Passivhaus Projektierungs Paket, Passivhaus Institut Darmstadt, Deutschland

PREBID (1997), PREBID, An Interface for creating the building description of TYPE 56–Version 4.0, TRNSYS 1997

Recknagel, Sprenger, Hönnmann (1992), Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenburg Verlag GmbH, München 1992

Recknagel H., Sprenger E., Schramek E.-R. (2001), Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, Oldenbourg Industrieverlag, München 2001

Rohracher, H., Kukovetz, B., Ornetzeder, M., Zelger, T., Enzensberger, G., Gadner, J., Zelger, J., Buber, R. (2001) Akzeptanzverbesserung von Niedrigenergiehaus-Komponenten als wechselseitiger Lernprozess von Herstellern und AnwenderInnen, *Berichte aus Energie- und Umweltforschung* 26/01, Wien: BMVIT,.

Rohracher, H., Suschek-Berger, J. (1997), Verbreitung von Biomasse-Kleinanlagen. Situationsanalyse und Handlungsempfehlungen. Projekt-Endbericht, IFZ, Graz.

Rohrman, B. (1994), (EPSILON Team): Sozialwissenschaftliche Evaluation des Passivhauses in Darmstadt. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt.

Rohrman, B. (1995), (EPSILON Team): Sozialwissenschaftliche Evaluation hessischer Niedrigenergie-Häuser. Institut für Wohnen und Umwelt, Darmstadt.

Sagelsdorff (1982), Langzeituntersuchungen über Luftdurchlässigkeit und Luftwechsel eines Einfamilienhauses. *Bauphysik* 1982, Heft 2

Schweyer K. (2002), Messung und thermische Gebäudesimulation zweier Passivhäuser im Vergleich, Diplomarbeit Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik.

Seitz G. (1993), *Gesund heizen*, Schriftenreihe der S-Bausparkasse, Band 2 Wien.

SKYE, Single Channel Light Sensors, England

Statistik Austria (2001), Statistisches Jahrbuch Österreichs, hrsg. von Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich, Wien

Steimle, Schädlich, 2003, Anteile der Wärmeabfuhr des menschlichen Körpers in Abhängigkeit von der Lufttemperatur (Voraussetzung: keine direkte Sonnenbestrahlung) und Anteile der Wärmeabgabe bei steigendem Wärmeumsatz des menschlichen Körpers, aus Volker Witzel GmbH, 2003, http://www.volker-witzel.de/leistungsfahigkeit_nach_moog.htm

Stockinger, H., Oberberger, I. (1998), Systemanalyse der Nahwärmerversorgung mit Biomasse, dbv – Verlag, Graz.

Streicher, W., (2003), *Sonnenenergienutzung*, Skriptum, Institut für Wärmetechnik, TU Graz, <http://wt.tu-graz.ac.at>

Streicher W., Fink C., Heimrath R., Heinz A., Riva R., Mach T. (2001), Solarunterstützte Wärmenetze Projekt der Programmlinie „Haus der Zukunft“, Endbericht 2001

Task 25, 2003, Definition of reference office building IEA SHC TASK 25 Solar Assisted Air conditioning of Buildings, Kouba, R., Streicher, W., Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology

Thür A., Glatzl R. (2001a), Messkonzept für das EU – Projekt CEPHEUS für das Projekt V2 – Hörbranz, 2001

Thür A., Glatzl R. (2001b), Messkonzept für das EU – Projekt CEPHEUS für das Projekt V1 – Egg, 2001

Thür A. (2002), CEPHEUS – Austria, Erfahrungen und Ergebnisse aus der Messbegleitung, Alexander Thür, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, AEE INTEC, Gleisdorf, Vortrag in Basel 2002

TRNSYS (2000), A Transient System Simulation Program – Version 15, Klein S.A., Beckmann W.A. et al., Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, USA.

Vaillant (2000), Seminar und Trainingshandbuch: Wärmepumpen für Sole-Wasser, Wasser-Wasser und Direktverdampfung, Ausgabe 12/2000.

Vaillant (2001), Preisliste 10 Heizungswärmepumpen Sole-Wasser GEOTHERM exklusiv.

Vajen, K., (1996), Systemuntersuchungen und Modellierung solarunterstützter Warmwasserbereitungssysteme in Freibädern. Dissertation. Universität Marburg,

VDI 2067, Blatt 1, (2000), Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung,

VDI 2067 Blatt 2, Jahres- Heizwärmeverbrauch, Raumheizung, hrsg. vom Verein Deutscher Ingenieure. VDI-Verlag, Düsseldorf 1993

VDI 2078 (1996), Richtlinie VDI 2078 - Berechnung der Kühllast klimatisierter Räume, VDI-Gesellschaft Technische Gebäudeausrüstung (TGA)

VDI 4640 Blatt 2 (2001): Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen, VDI-Gesellschaft Energietechnik

VITERRA, <http://www.viterra-es.com/204.html>, 09.03.2002

wdb TU München, <http://wdb.ebb1.arch.tu-muenchen.de>

Zelger (2003), Angebot der Firma Ing. Kerschbaum Haustechnik, Korneuburg, für eine Pelletsheizanlage für das Passivhaus Zelger in Korneuburg

10.2 Durchgeführte Arbeiten zu den einzelnen „workpackages“

WP 1.1 Benutzerprofile und Komfortansprüche

Durchgeführte Arbeiten:

- € Ausarbeiten eines Fragebogens zur Nutzerbefragung
- € Durchführung von face-to-face-Interviews in 53 Wohneinheiten in 5 verschiedenen Wohnanlagen
- € Auswerten der Fragebögen und Vorbereitung der Ergebnisse für den 1. Workshop
- € Präsentation und Diskussion einzelner Benutzerprofile am 1. Workshop
- € Analyse einzelner Messergebnisse aus den Messdaten des „CEPHEUS“ Projektes
- € Überarbeitung der Nutzungsdaten für Mehrfamilienhäuser anderer „Haus der Zukunft“ Projekte
- € Einarbeitung der Ergebnisse des Workshops, der Messdatenanalyse und anderer Projekte
- € Erstellen der Benutzerprofile in Form von „minimal“ und „maximal“ Varianten
- € Sekundäranalyse in Bezug auf Untersuchungen des Nutzerverhaltens anderer Projekte
- € Präsentation der Ergebnisse am Abschlussworkshop am 17. Juni 2003

WP 1.2 Heizungskonzepte für Niedrigenergie- und Passivhäuser

Durchgeführte Arbeiten:

- € Überblick über die Behaglichkeitskriterien von Gebäuden
- € Darstellung und Analyse von verschiedenen Wärmeerzeugungs-, Wärmeverteil- und Wärmeabgabesystemen unter dem Aspekt der passivhauskonform gedämmten Gebäude.
- € Darstellung und überschlägige Bewertung verschiedener Heizungskonzepte auf Basis der Passivhaus-Definition sowie Biomassekessel und Wärmepumpen als Wärmeerzeuger im Hinblick auf Kosten unter Berücksichtigung der Möglichkeit der Variabilität des Nutzerverhaltens und der Benutzungsfreundlichkeit.
- € Präsentation und Diskussion der Heizungskonzepte am 1. Workshop
- € Einarbeitung der Ergebnisse des Workshops
- € Weitergabe der technische Daten der Heizungssysteme an WP 2 bzw. an WP5
- € Präsentation der Ergebnisse am Abschlussworkshop am 17. Juni 2003

WP 1.3 Definition der Gebäudegeometrie und des Gebäudeaufbaus der Referenzgebäude

Durchgeführte Arbeiten:

- € Auswahl der Referenzwohngebäude (ein Reihnhaus mit drei Wohneinheiten und ein Geschosswohnhaus mit 12 Wohneinheiten) abgeleitet aus der Reihe der in CEPHEUS vermessenen Passivhausprojekte, vorausgegangenen Projekten sowie der Analyse der Vergleichsgebäude in WP2.
- € Die Gebäude wurden mit allen Planunterlagen festgelegt und am 1. Workshop von allen Teilnehmer akzeptiert.
- € Präsentation der Gebäudebeschreibungen- und Auswertungen im 2. Zwischenbericht. Weitergabe der Gebäudebeschreibungen (zwei Mehrfamilienhäuser, ein Bürogebäude) an WP 2 bzw. an WP5
- € Modellierung der Referenzgebäude in TRNSYS inklusive aller Benutzerannahmen aus WP 1.1.
- € Präsentation der Ergebnisse am Abschlussworkshop am 17. Juni 2003

WP 2 Modellierung, Validierung und Sensitivitätsanalyse der Vergleichsanlagen

Durchgeführte Arbeiten:

- € Präsentation erster Grobmodelle für die Simulation zum 1. Workshop
- € Erstellung von Simulationsmodellen für zwei ausgewählte Vergleichsgebäude aus dem CEPHEUS (2001) Projekt und Nachrechnung von gemessenen Zeiträumen in TRNSYS.
- € Analyse der relevanten Messdaten ausgewählter Vergleichsgebäude in „Egg“ und „Hörbranz“ als Grundlage für die Simulation
- € Bearbeitung der für die Simulation benötigten Klimadaten als Analyse der Messdaten der Vorortmessungen im Rahmen des CEPHEUS Projektes.
- € Sensitivitätsanalysen zum Abgleichen der Vergleichsmodelle mit den Messdaten. Dies bietet die Möglichkeit die simulationstechnisch erstellten Vergleichsmodelle mit Messdaten abzugleichen und somit eine abgesicherte Grundlage für weitere Variantenrechnungen herzustellen.
- € Erstellung von Simulationsmodellen für zwei Referenzgebäuden in TRNSYS (siehe WP1.3) .
- € Erstellung von Simulationsmodellen von vier aus WP1.2 ausgewählten Heizungssystemen in TRNSYS inklusive Abbildung detaillierter Regelungsstrategien und Energieflussanalysen. Drei dieser Heizungssysteme wurden wahlweise mit einer Solaranlage gekoppelt.
- € Simulation der Heizungssysteme in den zwei Referenzgebäuden für 3 verschiedene Benutzerannahmen (Standard, hohe Heizlast, niedrige Heizlast).
- € Testen der „Robustheit“ der Heizungssysteme: Simulation der Heizungssysteme in einem Referenzgebäuden für 2 spezielle Aufheizvorgänge (4 stunden Fensterlüftung, 15 Tage Raumtemperaturabsenkung auf 15°C und anschließendes Wiederaufheizen).
- € Analyse der Ergebnisse in Bezug auf: Nutzenergiebedarf, Endenergiebedarf (inklusive Strombedarf der Haustechnik und restlichen Haushaltsstrom), Primärenergiebedarf (inklusive grauer Energie), CO₂-äquivalent Emissionen und Betriebskosten der Heizungssysteme für beide Referenzgebäude.
- € Präsentation der Ergebnisse am Abschlussworkshop am 17. Juni 2003

WP 3 Ökonomische Analyse der untersuchten Heizungssysteme

- € Erhebung der Betriebskosten der verschiedenen Heizungssysteme
- € Versuch der Erhebung der Investitionskosten der verschiedenen Heizungssysteme (abgebrochen)
- € Präsentation der Ergebnisse am Abschlussworkshop am 17. Juni 2003

WP 4 Darstellung weiterer Beurteilungskriterien

- € Durchführung von face-to-face-Interviews in 53 Wohneinheiten in 5 verschiedenen Wohnanlagen über die Einstellung zu verschiedenen Heizungssystemen
- € Analyse der Befragung
- € Darstellung und Gewichtung der weiteren Beurteilungskriterien der Heizungssysteme und Bewertung der einzelnen Systeme hinsichtlich der Erfüllung dieser Kriterien (Nutzwertanalyse).
- € Sekundäranalyse in Bezug auf die subjektive Einschätzung verschiedener Heizungs- und Wärmeabgabesysteme
- € Präsentation der Ergebnisse am Abschlussworkshop am 17. Juni 2003

WP 5 Erstellung des Leitfadens und des Endberichts

- € Erstellung eines Leitfadens mit Planungsunterlagen
- € Endberichtlegung
- € Abschlussworkshop am 17. Juni 2003

10.3 Besprechungen und Workshops

10.3.1 Übersicht

Folgende Besprechungen, Workshops und weitere Tätigkeiten wurden bisher im Rahmen des Projektes durchgeführt:

3. Mai 2001:	Kick Off Meeting mit allen Projektpartnern und beteiligten Firmen
21. Juni 2001:	Interne Projektbesprechung aller wiss.Partner
10 Juli 2001:	Interne Projektbesprechung aller wiss.Partner
1.Juli 2001:	Interne Projektbesprechung aller wiss.Partner
30.-31. August 2001:	Befragung der Bewohner Kuchl, Gnigl, Gneis-Moos,
26. September 2001:	Interne Projektbesprechung aller wiss.Partner
28., 29. September 2001:	Befragung der Bewohner Hörbranz, Egg
4. Oktober 2001:	1. nichtöffentlicher Workshop mit geladenen Teilnehmern zur Diskussion von Benutzerverhalten und Heizungssystemen

Ab Oktober 2001 wurden zahlreiche Besprechungen der wissenschaftlichen Partnern in unterschiedlichen Zusammensetzungen durchgeführt.

17. Juni 2003:	Öffentlicher Endberichtsworkshop
----------------	----------------------------------

10.3.2 Kick-Off-Meeting

Projekt "Heizungssysteme für Niedrigenergiehäuser“ am 3. Mai 2001

Ort: Institut für Wärmetechnik (IWT), Inffeldgasse 25, 8010 Graz, 4. Stock

Anwesenheitsliste:

Ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing.Dr.techn. Wolfgang Streicher	Institut für Wärmetechnik
Dr. Robert Kouba	Institut für Wärmetechnik
Dipl.-Ing. Richard Heimrath	Institut für Wärmetechnik
Dipl.-Ing. Alexander Thür	Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie
Dipl.-Ing. Irene Stadler	Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie
Dipl.-Ing. Mag. MSc. Harald Rohrer	IFZ Graz
Mag. Jürgen Suschek-Berger	IFZ Graz
Ing. Reinhard Weiss	Drexel und Weiss
Josef Steiner	Hexatherm
Rudolf Großbauer	Hexatherm
Ing. Wolfgang Torschitz	KWB Kraft und Wärme aus Biomasse GmbH
Ing. Karl Hofer	Vaillant

Kurzprotokoll:

Nach der Vorstellung der Anwesenden begann das Meeting mit einer kurzen Einleitung durch **Wolfgang Streicher**, in der er das Institut für Wärmetechnik und seine einzelnen Arbeitsgruppen vorstellte. Nach dieser Eröffnung erfolgte eine Vorstellung des Projektes und des dafür vorgesehenen Arbeits- und Zeitplanes.

Im Rahmen der darauffolgenden Gesprächsrunde wurden alle Anwesenden gebeten kurz zu erläutern, wie und in welchem Umfang sich ihr Beitrag zum Projekt gestalten wird.

Wolfgang Streicher vom IWT sieht die primäre Aufgabe des IWT neben der Koordination des Projektes in den Work Packages 1.3 (Gebäudegeometrie und –aufbau), 2 (Modellierung), 4 (weitere Beurteilungskriterien) und 5 (Leitfaden und Endbericht). Am IWT wurden bereits Simulationsmodelle für Mehrfamilienhäuser und Bürogebäude erstellt, welche als Vorlagen für die hier verwendeten Modelle dienen können.

Die weiteren Beurteilungskriterien (WP 4, z.B. Möglichkeit der Kompensation von Planungsfehlern, Platzbedarf, Möglichkeit der sommerlichen Kühlung etc.) werden mit Hilfe der beteiligten Firmen bzw. den Erfahrungen der wissenschaftlichen Projektteilnehmern aus früheren Forschungsprojekten erstellt und die betrachteten Systeme werden auf Basis dieser Kriterien miteinander verglichen.

Alexander Thür von ARGE Erneuerbar Energie (AEE) kann detaillierte Messdaten von den im EU-Projekt CEPHEUS vermessenen Objekten (gemeinsam mit dem nicht anwesenden Helmut Krapmeier vom Energieinstitut Vorarlberg) beisteuern. Außerdem sind Messdaten des Bürogebäudes W.E.I.Z in Weiz verfügbar. Die Hauptaufgabe der AEE wird in den Arbeitpunkten 1.1 (Benutzerprofile und Komfortansprüche), 1.2 (Heizungskonzepte) sowie 3 (Kostenanalyse) liegen wobei sowohl die vorhandenen Messdaten sowie die Planungserfahrung der AEE als Hintergrund dient.

Die Festlegung der zu modellierenden Heizungssysteme wird in enger Abstimmung mit den beteiligten Industriepartnern erfolgen, die auch die technische Daten Ihrer Systeme für die Modellierung beisteuern sollen. Auch bei der ökonomischen Analyse werden die beteiligten Industriepartner um Ihre Mitarbeit gebeten.

Harald Rohracher stellt die Ergebnisse der vom IFZ durchgeführten der Nutzer-Befragungen im Rahmen des „Haus der Zukunft“ bzw. weiteren Projekten vor welche als Basis für den Arbeitspunkt 1.1 dienen werden. Zum Arbeitspunkt 4 (weitere Kriterien) wird eine eigene Umfrage für wassergeführte Heizungssysteme bei relevanten Nutzergruppen durchgeführt werden. Mag. Juergen Suschek-Berger wird ebenfalls am Projekt mitarbeiten.

Reinhard Weiss macht deutlich, dass für die Anwendung der Abluftwärme-rückgewinnungsanlagen mit Wärmepumpe nur für Reihenhäuser interessant ist und diese jedenfalls in die Standardgebäude aufgenommen werden sollten. Streicher erklärt, dass dies auch so gedacht ist.

Rohracher fragt nach der genauen Zielsetzung des Programms. Streicher erläutert, dass die Vor- und Nachteile verschiedener Methoden zur Beheizung von Niedrigenergie- und Passivhäusern (mit und ohne Abluftwärmerückgewinnung) für gleiche Randbedingungen ermittelt werden sollen, um die Bandbreite der eingesetzten Systeme zu erweitern und das „Dogma“ der Abluftwärmerückgewinnung aus energetisch/ökonomischer Sicht aber auch aus der Sicht der Benutzerakzeptanz her zu relativieren. Dabei muss natürlich der Aspekt der Raumluftverbesserung durch kontrollierte Lüftung qualitativ berücksichtigt werden.

10.3.3 Startworkshop

Am 4. Oktober 2001 wurde am Institut für Wärmetechnik (TU Graz) der Startworkshop für das Projekt „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ im Rahmen der Projektklinie „Haus der Zukunft“ abgehalten. Das Workshopprogramm und die Teilnehmerliste liegt bei. Inhalt der Diskussionen waren die vorgestellten Referenzgebäude, die zur weiteren Bearbeitung dargestellten Heizungssysteme und die ersten Ergebnisse aus den Nutzerbefragungen. Die Vortragsfolien liegen diesem Bericht (2. Zwischenbericht) nicht bei weil sie im Anhang des 1. Zwischenberichtes bereits enthalten sind.

WORKSHOP *BENUTZERFREUNDLICHE* *HEIZUNGSSYSTEME FÜR NIEDRIGENERGIE- UND PASSIVHÄUSER*

am 4. Oktober 2001
Institut für Wärmetechnik IWT, Inffeldgasse 25, Graz

Programm:

- 9:45 h Anmeldung und Kennenlernen der Teilnehmer
bei einer Tasse Kaffee oder Tee
- 10:00 h Begrüßung, Ziele und Inhalte des Projektes
Dr. Wolfgang Streicher, IWT, Graz
- 10:20 h Präsentation und Diskussion der ausgewählten Gebäude (Reihenhaus, Mehrfamilienhaus,
Bürohaus) als Referenzgebäude für die dynamische Gebäudesimulation mit TRNSYS.
Dipl.-Ing. Thomas Mach, IWT, Graz
- 10:50 h Präsentation und Diskussion von Heizsystemen für Niedrigenergie- und Passivhäuser für die
Simulation an den Referenzgebäuden und die Ökonomische Analyse der verschiedenen
Heizsysteme.
Dipl.-Ing. Alexander Thür, AEE INTEC, Gleisdorf
- 12:00 h Mittagspause
- 13:00 h Ergebnisse der Befragung zum Benutzerverhalten von Bewohnern von Niedrigenergie- und
Passivhäusern im Projekt CEPHEUS.
Mag. Jürgen Suschek-Berger, IFF/IFZ, Graz
Mag. Dipl.-Ing. Harald Rohrer, IFF/IFZ, Graz
- 13:45 h Benutzerverhalten, Norm und Erhebung, Präsentation und Diskussion von Benutzerprofilen.
Karin Schweyer, IWT, Graz
- 14:15 h Kaffeepause
- 14:45 h Heizsysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser am Beispiel von realisierten Anlagen.
(Haus Streicher, Bergstraße)
Dr. Wolfgang Streicher, IWT, Graz
- 15:15 h Zusammenfassung und Schlusswort
Dr. Wolfgang Streicher, IWT, Graz
- 15:30 h Ende des Workshops

Teilnehmer am Workshop (4.Oktober)

	Firma	Titel	Vorname	Nachname
1	Gas-Wasser-Heizung, Service- und Reparaturdienst		Franz	Wünscher
2	Neue Heimat Graz	Dr. Mag.	Franz	Huber
3	Vaillant Ges.m.b.H.	Ing.	Karl	Hofer
4	KWB Kraft & Wärme aus Biomasse GmbH	Dipl.-Ing.	Wolfgang	Torschitz
5	Drexel und Weiss, Energieeffiziente Haustechniksysteme GmbH,,	Ing.	Christof	Drexel
6	Joanneum Research	Dipl.-Ing.	Kurt	Könighofer
7	Instit für Wärmetechnik	Dipl.-Ing.	Thomas	Mach
8	Instit für Wärmetechnik	Ao.Prof.	Wolfgang	Streicher
9	Instit für Wärmetechnik		Karin	Schweyer
10	Instit für Wärmetechnik	Dr. Mag.	Robert	Kouba
11	Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur	Mag.	Jürgen	Suscek-Berger
12	Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur	Mag. Dipl.-Ing.	Harald	Rohracher
13	Institut für Nachhaltige Technologien, AEE INTEC	Dipl.-Ing.	Alexander	Thür
14	Institut für Nachhaltige Technologien, AEE INTEC	Dipl.-Ing.	Irene	Bergmann
15	Energieinstitut Vorarlberg	Arch. DI.	Helmut	Krapmeier
16	FH - Pinkafeld	Dr. DI.	Johann	Geyer
17	Instit für Wärmetechnik	Prof.	Hermann	Halozan
18	Interuniversitäres Forschungszentrum für Technik, Arbeit und Kultur		Christian	Gummerer
19	Architekturbüro Lari	Arch. Dr.DI.	Adil	Lari
20	Instit für Wärmetechnik	Dr. DI.	Rene	Rieberer
21	Hexatherm		Gerhard	Knedelsdorfer

Kurzprotokoll:

Beginn der Veranstaltung um 10 Uhr mit einer Begrüßung und Vorstellung der Referenten und ihrer Themen durch Wolfgang Streicher. Vorstellung der beteiligten Firmen: - Drexel, Weiss - Hexatherm - KWB- Vaillant

Vortrag Thomas Mach (siehe Vortragsfolien 1. Zwischenbericht)

Diskussionsbeiträge:

Mach: Wie gut die Übereinstimmung der Messung mit der Simulation sein wird, dass kann zum derzeitigem Zeitpunkt noch nicht gesagt werden.

Rohracher: Besser wäre Messung und Protokollführung der Benutzer parallel durchzuführen, noch besser wäre es, das Benutzerverhalten zu messen.

Drexel: Messdaten über die Fensterstellung in der Siedlung Neuenburg sind vorhanden und es hat sich gezeigt, dass es keine Korrelation zwischen Heizwärmebedarf und Fensterstellung gibt.

Krapmeier: Siedlung Kranichstein (vergleich Messen und Simulation ist bereits vorhanden)

Geyer: bei Messungen von Doppelfassaden wurden starke Luftschichtungen im Raumluftvolumen beobachtet)

Allgemeine Diskussion zum Erfassen der Luftwechselzahlen über CO₂-Konzentrationen. Probleme: Oft geschlossene Türen in kleinvolumigen Zimmern (zusätzlich Feuchteproblematik)...Diskussion über die Luftqualität bei nicht vorhersehbaren Benutzerverhalten

Thür: Luftfeuchtigkeit ist ein Behaglichkeitsparameter als Output von TRNSYS vorhanden

Drexel: Erhöhung der Luftwechselzahlen zur Heizlastabdeckung ist als Planungsfehler zu beurteilen.

Vortrag von Alexander Thür (siehe Vortragsfolien 1. Zwischenbericht):

Diskussionsbeiträge:

Drexel: Die Betrachtung von Einzelofenheizung sollte ins Projekt aufgenommen werden

Krapmeier: Für den Geschosswohnbau sind Einzelöfen nicht relevant.

Drexel: Der Primärenergieverbrauch bei der Luft-Luft-WP ist kein Nachteil, sondern ein Vorteil gegenüber Öl bzw. Gasheizungen.

Streicher und der Vertreter der Fa. Vaillant diskutierten über die Direktverdampfer-WP als ein hocheffizientes System und sind zu dem Schluss gekommen, dass dieses System, weil die Installation schwieriger als bei einer Sole-WP ist, wegen der in diesem Fall unzureichenden Ausbildung der Monteure problematisch ist.

Halozan: regt die Einbeziehung der Direktverdampfung-WP an und hält diese für Reihenhäuser für sinnvoll.

Drexel: gibt noch prinzipiell zu bedenken, dass Heizsysteme, die im Keller aufgestellt werden, hohe Energieverluste haben, weil sämtliche Systeme die außerhalb der thermischen Hülle liegen mit Leitungsverlusten belastet sind.

Krapmeier: Luftheizsysteme, die im hygienischen Maß betrieben werden, bringen keine hohen Luftbewegungen.

Drexel: Die Lärmbelästigung bei der kontrollierten Lüftungen in Grenzen zu halten ist durchaus machbar aber man benötigt dazu einen kompetenten Planer.

Hofer: Der am ehesten anfällige Bauteil einer WP ist der Kompressor und dieser sollte mind. 15 Jahre Lebensdauer besitzen .

Vortrag von Jürgen Suschek Berger und Harald Rohrer (siehe Vortragsfolien 1. Zwischenbericht):

Diskussionsbeiträge:

Allgemeine Diskussion über die Problematik das Nutzverhalten für eine bestimmte Zeitdauer im nachhinein durch eine Befragung zu ermitteln. Betont wurde die Wichtigkeit von Messungen, um die Angaben der Befragten prüfen zu können.

Zu diesem Vortrag gab es auch den Hinweis, dass die Siedlungen auf jeden Fall einzeln ausgewertet werden müssen, da es große Unterschiede in der Beurteilung der einzelnen Siedlungen gibt.

Vortrag Karin Schweyer (siehe Vortragsfolien 1. Zwischenbericht):

Diskussionsbeiträge:

- Rohracher: die Nachbetreuung nach dem Bau einer Heizanlage wäre äußerst wichtig, findet in der Praxis aber nicht statt!
- Krapmeier: Am Institut für Hochbau für Architekten wurde eine "Studie mit Tracergasmessungen" durchgeführt, die einbezogen werden sollte.
- Mach: Allgemeine Bitte um Zusendung von Unterlagen, die bei der Durchführung des Projektes berücksichtigt werden sollen.
- Krapmeier: erwähnt diesbezüglich eine Studie vom Solarinstitut Jülich
- Krapmeier: relevante Angebote für Gebäudeteile zu erheben ist, wenn überhaupt, nur bei konkreten Baudurchführungen möglich. Es gibt große Probleme mit der Zuordenbarkeit der Kosten bei der Abrechnung, daher ist eine Kalkulation nur schwer möglich.
- Lari: Hält die Kalkulation von baulichen Maßnahmen aufgrund heizungstechnischer Vorgaben für unmöglich (Architektur besteht nicht nur aus Wärmetechnik!)

Der Vorschlag von Drexel, es sollen für die jeweiligen Heizsysteme die Investitionskosten nur für das technische System angeführt werden, die jeweiligen baulichen Voraussetzung sollen nur angeführt aber nicht bewertet werden, findet allgemeine Zustimmung.

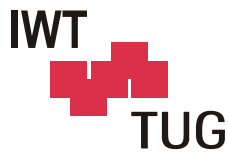
- Drexel: möchte einen Vorschlag für ein Hydrauliksystem einbringen. (Drexel sagt zu bis Mitte November zu liefern)

10.3.4 Endberichtsworkshop

Kurzprotokoll:

Am 17 Juni 2003 wurde der Endberichtsworkshop in Gleisdorf mit der Präsentation der Ergebnisse und des Leitfadens durchgeführt. Es nahmen 55 Personen teil. Die Diskussionen drehten sich primär um die Hygiene von Luftheizungssystemen (besonders im sommerlichen Kühlfall über Erdreichwärmetauscher) sowie um Detailfragen von Auslegung und Regelung der simulierten Anlagen. Einige Teilnehmer äußerten den Wunsch zur weiteren Zusammenarbeit mit den Projektpartnern. Die Kriterienliste sowie die Charakterisierung der Heizungssysteme wurde kommentarlos zur Kenntnis genommen.

Im folgenden ist die Einladung, das Programm und die Teilnehmerliste angeführt.



ABSCHLUSS-TAGUNG

BENUTZERFREUNDLICHE HEIZUNGSSYSTEME FÜR PASSIV- UND NIEDRIGENERGIEHÄUSER

Dienstag, 17. Juni 2003, forum Kloster, Gleisdorf

Programmlinie „Haus der Zukunft“ –

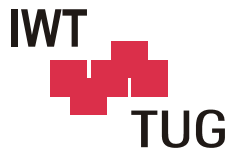
eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

Programm

- 8:45 h **Registrierung**
- 9:00 h Begrüßung und Projektvorstellung
a.o. Prof. Dr. Wolfgang Streicher, IWT, TU Graz
- 9:30 h Erfahrungen aus gemessenen Niedrigenergie- und Passivhäusern
Dipl.-Ing. Alexander Thür, AEE INTEC, Gleisdorf
- 10:00 h Pause
- 10:30 h Benutzerverhalten und Simulation der ausgewählten Passivhäuser
Dipl.-Ing. Thomas Mach, IWT, TU Graz
- 11:15 h Vorstellung des Katalogs von Heizungssystemen für Niedrigenergiehäuser
Dipl.-Ing. Alexander Thür, AEE INTEC, Gleisdorf
- 12:00 h Mittagessen
- 13:30 h Modellierung erfolgversprechender Heizungssysteme im Simulationsprogramm TRNSYS
Dipl.-Ing. Richard Heimrath, IWT, TU Graz
- 14:15 h Quantitative Analyse der untersuchten Heizungssysteme
Dipl.-Ing. Dagmar Jähmig, AEE INTEC, Gleisdorf
- 15:00 h Kaffeepause
- 15:30 h Qualitative Analyse der untersuchten Heizungssysteme
a.o. Prof. Dr. Wolfgang Streicher, IWT, TU Graz
Mag. Jürgen Suschek-Berger, IFF/IFZ, Graz
- 16:15 h Podiumsdiskussion mit Publikumsbeteiligung
- 17:00 h Ende der Veranstaltung

Tagungsbeitrag inkl. Mittagessen, Pausengetränken und der CD Rom des Leitfadens „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ €80,- bzw. €55,- für Mitglieder der AEE, €25,- für Studierende mit Studentenausweis

Nach der Anmeldung erhalten Sie eine Anmeldebestätigung mit der Kontonummer für die Einzahlung des Tagungsbeitrags. Nach vollständigem Eingang Ihres Tagungsbeitrags wird Ihnen die CD Rom mit dem Leitfaden „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser“ zugeschickt.



Programmlinie „Haus der Zukunft“ – eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)

Anmeldeabschnitt

BITTE VOLLSTÄNDIG UND LESERLICH AUSFÜLLEN

Ich melde mich hiermit verbindlich an:

Tagung „Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Passiv- und Niedrigenergiehäuser“ am 17.6.2003 in Gleisdorf, forum Kloster

Firma

Titel, Vorname, Name

Strasse, PLZ, Ort

Tel., Fax

e-Mail

Datum: _____ Unterschrift: _____

Bitte rücksenden an:

AEE INTEC
Feldgasse 19, Postfach 212
A-8200 Gleisdorf
Fax: 03112 / 5886-18
e-Mail: seminare-aeointec@aee.at

TEILNEHMERLISTE
ABSCHLUSS-TAGUNG
BENUTZERFREUNDLICHE HEIZUNGSSYSTEME FÜR PASSIV- UND
NIEDRIGENERGIEHÄUSER

Dienstag, 17. Juni 2003, forum Kloster, Gleisdorf

*Programmlinie „Haus der Zukunft“ –
eine Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT)*

Dipl.-Ing. Michael Berger	AEE NÖ-Wien	Bahngasse 46, 2700 Wr. Neustadt
Gebhard Bertsch	Erneuerbare Energie Bertsch	Dorfstraße 192, 6713 Ludesch
Dipl.-Ing. Marcus Deopito	Neue Heimat	Wastiangasse 7, 8010 Graz
Janusz Diechoum		Ul. Sakowuza 1, PL-10-758 Olsten
Ing. Wolfgang Furch	Furch GmbH	Bahnstraße 47, 2130 Mistelbach
Dr. Ernst Giglmayr	MAB Anlagenbau Austria GmbH	Oberlaaerstraße 331, 1230 Wien
Ing. Rudolf Großauer	Hexatherm Energietechnik	Industriestraße 9, 2353 Guntramsdorf
Hannes Gstrein		, 6460 Karrösten 163
Mag. Katharina Guschlbauer	AEE NÖ-Wien	Bahngasse 46, 2700 Wr. Neustadt
Dipl.-Ing. Astrid Habiger		Feldgasse 159, 2534 Alland
Dipl.-Ing. Helmut Hafner		Pichung 3, 8510 Stainz
Ing. Bernhard Hammer	TB Hammer	Hans List Str. 3, 8750 Judenburg
Doris Hammermüller	AEE NÖ-Wien	Bahngasse 46, 2700 Wr. Neustadt
Otmar Handler		Auf der Weide 27, 8605 Parschlug
Arch Dipl.-Ing. Hermann Handler		Herrengasse 21, 8230 Hartberg
Alfred Hauer	Hauer Alfred GmbH	Hauptstraße 2, 4552 Wartberg / Krems
Reinhard Hausbauer	Fa. Herbitschek GmbH - Tanno	Kirchenviertel 216, 8673 Ratten
Dipl.-Ing. Richard Heimrath	IWT, TU Graz	Inffeldgasse 25, 8010 Graz
Dipl.-Ing. Andreas Heinz	IWT, TU Graz	Inffeldgasse 25, 8010 Graz
Dipl.-Ing. Dagmar Jähniq	AEE INTEC	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Ing. Gerald Jungteithmayr	Solution	Im Öko- und Gewerbezentrum, 4560 Kirchdorf
Dipl.-Ing. Roland Kapferer	Energie Tirol	Adamgasse 4, 6020 Innsbruck
Ing. Werner Karner	Ing. Herbert Karner	Unterhaser 12, 7434 Bernstein
Dipl.-Ing. Christina Krimbauer	Energie Tirol	Adamgasse 4, 6020 Innsbruck
Ing. Manfred Kurz	Mag. der Stadt Wien	Muthgasse 62, 1190 Wien
Dkfm. Klaus Lipka	Seminare für Hausbauer	Schillingergasse 10, 1230 Wien
Dipl.-Ing. Thomas Mach	IWT, TU Graz	Inffeldgasse 25, 8010 Graz
Harald Mitterhammer		Niederschöckelstraße 103, 8044 Weinitzen
Helmut Mock	Fa. Herbitschek GmbH - Tanno	Kirchenviertel 216, 8673 Ratten
Josef Motsch		Unterdanegg 25, 2620 Neunkirchen
Peter Naßwetter	Ing. Büro Naßwetter	Dürn 2, 6832 Zwischenwasser
Ing. Harald Perl	Perl GmbH	Franz Perlstraße 1, 8200 Gleisdorf
Anita Preisler	Arsenal Research	Faradaygasse 3, 1030 Wien
Dipl.-Ing. Kurt Prenner		Am Hutfeld 7, 2620 Mollram
Peter Puschnig	IWT, TU Graz	Inffeldgasse 25, 8010 Graz
Wolfgang Scherz	AEE NÖ-Wien	Bahngasse 46, 2700 Wr. Neustadt
Guido Scheucher	SÖB & SUN	Ulzstraße 1, 8480 Mureck
Dipl.-Ing. Rudolf Schmid	BRAMAC	Bramacstraße 9, 3390 Pöchlarn
Dipl.-Ing. Wilhelm Schmid	KWB	, 8321 St. Margarathen 235
Heinz Schönleitner	Capito Heiztechnik GmbH	Waldstraße 34, 4421 Aschach
Reinhold Seeböck	Viessmann GmbH	Werkstraße 2, 2332 Hengersdorf
Alois Spitzer		Rennweg 6, 9560 Feldkirchen
Prof. Dr. Wolfgang Steicher	IWT, TU Graz	Inffeldgasse 25, 8010 Graz
Rosa-Magdalena Stranzl	AEE INTEC	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Dipl.-Ing. Heidrun Stückler	LEV	Burggasse 9/2, 8010 Graz
Dipl.-Ing. Heimo Suntinger	Holzbau Themessl	Kraser Dorfstraße 5, 9541 Einöd
Isa Suppan	SÖB & SUN	Ulzstraße 1, 8480 Mureck
Mag. Jürgen Suschek-Berger	IFZ	Schlögelgasse 2, 8010 Graz
Ing. Robert Täubl	Mag. der Stadt Wien	Muthgasse 62, 1190 Wien
Dipl.-Ing. Alexander Thür	AEE INTEC	Feldgasse 19, 8200 GLEISDORF
Ing. Sebastian Unger		Czepagasse 16/11, 1030 Wien
Dipl.-Ing. Thomas Waldhans		Rathausstraße 4, 3375 Krummnussbaum
Ing. Erich Wrentschur		Josefweg 45 H, 8043 Graz
Günter Zink	Rehau GesmbH	Neuseiersberger Straße 195, 8055 Graz
Hubert Zwarnig	Zwarnig Installationsunternehmen GmbH	Nikolaus Dumbastraße 12, 8940 Liezen