

Verringerung des Energieeinsatzes im
„Haus der Zukunft“ durch Nutzung
innovativer Informationstechnologien

R. Padinger

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

20/2004

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

Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ durch Nutzung innovativer Informationstechnologien

Auftragnehmer:
Institut für Energieforschung, Joanneum Research

Autoren:
Dipl.-Ing. Dr. techn. Reinhard Padinger (Projektleitung)
Ing. Anton Wenzel

Joanneum Research, Institut für Energieforschung

Dipl.-Ing. Herwig Zeiner

Dipl.-Ing. Gert Kienast

Joanneum Research, Institut für Informationssysteme und Informationsmanagement

Dipl.-Ing. Dr. rer. nat. Peter Puschnig

TU Graz, Institut für Wärmetechnik

Graz 13.02.2003

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

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

ABSTRACT

Im Rahmen des Projekts werden Möglichkeiten untersucht, durch Fernkontakt der Bewohnerinnen und Bewohner über Mobiltelefon und/oder Internet unter Berücksichtigung der Möglichkeiten der „Location Awareness“ (z. B. GPS) der Energieeinsatz im „Haus der Zukunft“ zu verringern. Dies betrifft vor allem die Möglichkeit der Temperaturabsenkung von Raumluft und Warmwasser während der Abwesenheit der Bewohnerinnen und Bewohner.

ABSTRACT

The purpose of the work is to analyze the possibilities of the reduction of the energy demand of residential buildings by using telecommunication technologies such as mobile phones or Internet. Lowering room and water temperature during the absence of the inhabitants are of particular relevance.

Kurzfassung

- Ziele

Die Ziele des Projekts bestanden in der Analyse der Möglichkeiten, den Energieeinsatz im „Haus der Zukunft“ durch Nutzung innovativer Informationstechnologien zu verringern, sowie in der Bewertung der Möglichkeiten im Hinblick auf technische Brauchbarkeit, praktische Einsetzbarkeit, Fragen des Datenschutzes und Kosten.

- Motivation

Die Motivation zur Verringerung des Energieeinsatz im Haus der Zukunft ist durch die Notwendigkeit des Klimaschutzes im Wege der Verringerung des Einsatzes fossiler Energieträger und durch den Wunsch nach bestmöglicher Ökonomie im Sinne der Verbraucher begründet.

- Inhalte und Methodik

Das Projekt wurde in 4 Arbeitsschritten durchgeführt

- 1) Erhebung und Charakterisierung der energetisch relevanten Komponenten und Systeme unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeiten der Informatik und der Bussysteme

In diesem Arbeitsschritt wurden die energietechnisch relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft in Bezug auf die Schnittstellen für den Eingriff innovativer Informationstechnologien sowie in der Untersuchung der Möglichkeiten, innovative Informationstechnologie zur Durchführung eines Energiemanagements für das „Haus der Zukunft“ einzusetzen, untersucht.

- 2) Internes Energie-Management des Hauses der Zukunft

In diesem Arbeitsschritt wurden die Möglichkeiten der energetisch optimierender Einflussnahme auf die relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft durch innerhalb des Hauses installierte bzw. wirkende Informationstechnologie untersucht.

- 3) Externes Energie-Management des Hauses der Zukunft

In diesem Arbeitsschritt wurden die Möglichkeiten der energetisch optimierender Einflussnahme auf die relevanten Komponenten des Hauses aus der Entfernung untersucht.

- 4) Gesamtkonzept zur Minimierung des Energiebedarfs des Hauses der Zukunft

In diesem Arbeitsschritt wurde unter Berücksichtigung der Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitsschritte ein Gesamtkonzept zur Minimierung des Energiebedarfs des Hauses der Zukunft erstellt.

- Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Komponente der Haustechnik mit der größten Relevanz in Bezug auf die Verringerung des Energieeinsatzes mit Hilfe von Informationstechnologie ist die Heizanlage bzw. die zu ihr gehörenden Komponenten. Die Absenkung des Sollwertes der Raumtemperatur während der Abwesenheit der Bewohner ist die wichtigste Maßnahme hierzu. Durch eine entsprechende Fernsteuerung des

Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ durch
Nutzung innovativer Informationstechnologien

Heizsystems kann der Sollwert der Raumtemperatur entsprechend den An- und Abwesenheitszeiträumen erreicht werden.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme hängt vor allem von folgenden Parametern ab:

- * Klimatische Randbedingungen
- * Bauart des Gebäudes, insbesondere die Wärmedurchgangszahl und das Wärmespeichervermögen der Wände
- * Dauer der Temperaturabsenkung

Für den beispielhaft betrachteten Fall eines Einfamilienhauses unter in Österreich geltenden klimatischen Bedingungen wurden in Modellrechnungen folgende Ergebnisse erzielt:

- * Die Absenkung der Sollwertes der Raumtemperatur ist bereits bei einer Dauer von nur wenigen Stunden sinnvoll. Die „Nachtabenkung“ von 21 auf 15 °C beispielsweise bringt im Jahresmittel eine Verringerung des Energieeinsatzes bei einem Gebäude in Leichtbauweise (Holzständerleichtbau) um mehr als 10 %. Bei Gebäuden in Massivbauweise (Stahlbetonbau mit Polystyrolämmung) beträgt die Verringerung ca. 7 %. Im „Wochenendhaus“ wird durch Temperaturabsenkung während der Wochentage eine Verringerung des Energieeinsatzes im Jahresmittel um mehr als 20 % erreicht.
- * Auch bei nicht periodischer Abwesenheit kann der Energieeinsatz durch Temperaturabsenkung erheblich verringert werden. Die Absenkung des Sollwertes der Raumtemperatur von 21 auf 5 °C während eines „1-wöchigen Urlaubs“ bringt im Fall des Leichtbaus um bis zu 60 %, im Fall des Massivbaus um rund 23 % an Verringerung des Energieeinsatzes in dieser Periode. Während eines „3-wöchigen Urlaubs“ können durch Absenkung des Temperatur-Sollwertes im Fall des Leichtbaus ca. 75 %, im Fall des Massivbaues ca. 40 % der eingesetzten Energie vermieden werden.

Die zur Umsetzung der obigen Maßnahmen geeigneten Informationstechnologien sind zu einem gewissen Teil Stand der Technik. Insbesondere werden die für das „Interne Energiemanagement“ des Hauses der Zukunft benötigten Anlagen bereits seit längerem in den „Smart-Homes“ eingesetzt. Auch „Externes Energiemanagement“ ist heute mit handelsüblichen Komponenten realisierbar, zum Beispiel mit einer manuell über Mobiltelefon steuerbaren Feuerung. Auch die automatische energetisch optimierende Einflussnahme auf die Haustechnik in Abhängigkeit von der Entfernung des Benutzers (z. B. über eine GPS-unterstützte Datenübertragung) ist derzeit bereits möglich steckt allerdings noch in den „Kinderschuhen“. Die Kosten der Nutzung solcher Methoden sind im Verhältnis zum Nutzen der oben genannten Einsparungsmöglichkeiten gering. Die zusammenfassende Empfehlung an Planer und Nutzer lautet daher, die Möglichkeiten der energetischen Optimierung des Hauses der Zukunft mit Hilfe von Informationstechnologie gezielt zu nutzen.

Summary

- Purpose of the work

The purpose of the work was to analyze the possibilities of the reduction of the energy demand of residential buildings by using advanced telecommunication technologies and to assess the possibilities with respect to practical application, personal data protection and costs.

- Motivation

The motivation of reduction of the energy demand of the “Buildings of Tomorrow” are needs of climate protection by reduction of the use of fossile energy sources and the goal to improve economy of residential heating.

- Contents and methodology

The project has been carried out in 4 main tasks:

- * Analysis of the energy-relevant components and systems considering the use of information technologies and bus systems

The purpose of this task was to investigate energy-relevant components of the “Building of Tomorrow” in view of interfaces for information technologies and to investigate the possibilities of the use of information technologies for an intelligent energy management of the “Building of Tomorrow”.

- * Internal energy management of the “Building of Tomorrow”

The purpose of this task was the search for an optimized control strategy for energy-relevant devices and building components using extended innovative information technologies to achieve a comprehensive energy optimization of the “Building of Tomorrow”.

- * External energy management of the “Building of Tomorrow”

The purpose of this task was to investigate the possibilities and effects of controlling the energy-relevant devices and building components of the “Building of Tomorrow” using innovative information technologies from a distant location.

- * General concept for minimization of energy demand of the “Building of Tomorrow”

In this task a general concept for minimization of the energy demand of the “Building of Tomorrow” has been developed considering the results of the previous tasks.

- Results

The component of highest relevance in view of the reduction of the energy demand using information technologies is the heating system. The most effective measure in this field is the lowering of the room temperature set point during the absence of the occupants.

The effect of lowering the temperature in general depends on the following parameters:

- * Climatic conditions
- * Construction of the building in terms of heat transfer coefficient heat storage capacity of the walls
- * Duration of temperature lowering

Model calculations for model houses, carried out by the Institute of Thermal Engineering, TU-Graz show under typical Austrian climatic condition the following results:

- . Lowering the temperature is already effective during a few hours. By lowering the temperature from 21 °C down to 15 °C during the night for example, a reduction of some 10 % of the energy demand of a wooden building can be achieved in the annual average. In concrete buildings, the reduction of the energy demand is some 7 %. In a weekend cottage the possible reduction is some 20 %.
- . Also during non periodic absence the energy demand of the building can be reduced significantly. Lowering the temperature from 21 down to 5 °C during “1-week holydays” for example leads to a reduction of the energy demand in case of a wooden building of some 60 %, and in case of a concrete building of some 23 %. During “3-week holydays”, some 75 % of the energy demand of a wooden building, and some 40 % of the energy demand of a concrete building can be saved.

This is possible by state of the art information technology as well as innovative information technologies entering the market.

Automatically control from a distant location with the goal of minimizing the energy demand of the building is possible today, but such methods are not really applied to heating control up to now. Cost of such innovative information technologies are low in relation to the benefit of the energy cost reduction achieved.

Building planners and users therefore should consider the possibilities of energetic optimization of the “Building of Tomorrow” by using innovative information technologies.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	9
2	Erhebung und Charakterisierung der energetisch relevanten Komponenten und Systeme unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeiten der Informatik und der Bussysteme	11
2.1	Identifikation der energetisch relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft in Bezug auf Schnittstellen für den Eingriff innovativer Informationstechnologien	12
2.2	Untersuchung der Möglichkeiten der zentralen energetisch optimierenden Steuerung mit Hilfe von Daten-Fernübertragungssystemen (Datenbussystemen)	13
2.2.1	„Profibus“	13
2.2.2	„CAN“ (Controller Area Network)	15
2.2.3	„LON“ (Local Operation Network)	17
2.2.4	„EIB“ (European Installation Bus)	19
2.2.5	„EHS“ (European Home System).....	22
2.2.6	„LCN“ (Local Control Network)	22
2.3	Zusammenfassende Bewertung der Möglichkeiten des Einsatzes innovativer Informationstechnologien im „Haus der Zukunft“	23
3	Internes Energiemanagement des „Hauses der Zukunft“	24
3.1	Strategien für das interne Energiemanagement des „Hauses der Zukunft“	24
3.2	Quantifizierung der möglichen Verringerung des Energieeinsatzes	28
3.2.1	Beschreibung der untersuchten Modellfälle	28
3.2.2	„Dreiwöchiger Urlaub“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 21 Tage)	34
3.2.3	„Einwöchiger Urlaub“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 7 Tage)	38

3.2.4	„Wochenendhaus“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 5 Tage)	44
3.2.5	„Arbeitsdomizil“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 2 Tage)	46
3.2.6	„Tagesabsenkung“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 11 Stunden)	48
3.2.7	Nachtabsenkung (Dauer der Temperaturabsenkung: 5 Stunden)	50
4	Externes Energiemanagement des „Hauses der Zukunft“	52
4.1	Manuelle externe Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“	52
4.2	Automatische externe Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“	53
4.2.1	Positionsbestimmung mittels satellitengestützter Navigationssysteme (GNSS, GPS)	53
4.2.2	Positionsbestimmung mittels Mobilfunkbetreiber (LBS - Services)	58
4.2.3	Privatsphäre – Rechtliche Erwägungen	64
5	ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	67
5.1	Gesamtkonzept zur Minimierung des Energiebedarfs des Hauses der Zukunft	67
5.2	Geeignete Informationstechnologien	73
6	Berücksichtigung der „Sieben Leitprinzipien Nachhaltiger TechnologieEntwicklung“ Bei der Projektdurchführung	79
6.1	Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzerorientierung	79
6.2	Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen	79
6.3	Effizienzprinzip	80
6.4	Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit	80

6.5	Prinzip der Anpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit.....	80
6.6	Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge.....	81
6.7	Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität.....	81
7	Zusammenfassung	82
8	Literatur	86
9	Anhang	87
9.1	Veröffentlichungen im Rahmen des gegenständlichen Projekts	87
9.1.1	Beitrag zur Internationale Fachtagung „tcmc“ am 11./12. März 2003 in Graz.....	87
9.1.2	Projektpräsentation im Rahmen der vom bmvit veranstalteten Fachtagung „Heizen und Lüften im Haus der Zukunft“ am 11. März 2004 in Kufstein.....	91
9.2	Bericht zum Subwerkvertrag mit dem Institut für Wärmetechnik der TU-Graz betreffend die Durchführung von Thermischen Simulationsrechnungen	92

1 EINLEITUNG

Die Möglichkeiten der Telekommunikation machen es heute für jedermann zu vertretbaren Kosten möglich, aus der Ferne mit der Haustechnik seines Hauses, zum Beispiel mit den Komponenten des Heizsystems, in Verbindung zu treten. Über das Internet oder das Telefonnetz ist sowohl die Fernabfrage des Betriebszustandes der Heizung, als auch dessen Steuerung von einem beliebigen Ort aus möglich. Dadurch ergeben sich unter Anderem Möglichkeiten, die Steuerungseinstellungen veränderlichen Bedingungen anzupassen und damit den Energieverbrauch zu verringern.

Das einfachste Beispiel hierzu wäre etwa eine „Short Message“ („SMS“), mit der die Heizung aus- und eingeschaltet bzw. in Ihrer Leistung geregelt wird. Bei zusätzlicher Einbindung von „Global Positioning Systemen“ (GPS) bzw. „Local Awareness Systemen“ können solche Vorgänge auch automatisiert werden.

Die im gegenständlichen Projekt durchgeführten Untersuchungen erstrecken sich im Besonderen auf folgende energetisch relevanten Komponenten des „Hauses der Zukunft“:

- die Raumwärmebereitstellungssysteme (Feuerungsanlagen, Solarkollektoren, Wärmespeicheranlagen, Wärmepumpen) sowie Systeme zur Steuerung des Wärmeeintrags aus der Umgebung (Jalousien etc.),
- die Warmwasserbereitstellungssysteme (Boiler, Solarkollektoren),
- die Klimaanlage (inkl. Lüftungssysteme),
- die Kühlanlagen
- die Wärmerückgewinnungssysteme und
- die Beleuchtungssysteme.

Die hierfür notwendige Informationsübermittlung innerhalb des Hauses wie auch die Informationsübermittlung zwischen externen Stellen und dem Haus wurden hierzu analysiert und bewertet.

Die hierbei zu betrachtenden Techniken sind:

- der Einsatz eines Datenbusses innerhalb des Gebäudes,
- der Einsatz erweiterter Gebäudemessstechnik (Temperaturen in der Raumluft und in gewissen Gebäudeteilen, Beleuchtungsstärke, Luftfeuchte etc.),
- die Regelungen und Steuerungen von Einzelkomponenten bzw. Geräten mit Schnittstellen zur Informationsübertragung,
- die Nutzung von Zugriffsmöglichkeiten auf die Informationen über den energetisch relevanten Zustand des Gebäudes über das Internet und das Telefon bzw. das Mobiltelefon per SMS,
- die Nutzung von Eingriffsmöglichkeiten in das Betriebverhalten der energetisch relevanten Komponenten des Gebäudes von außen über Internet und das Telefon bzw. das Mobiltelefon per SMS sowie
- die Nutzung von Möglichkeiten automatischer Eingriffe in das Betriebsverhalten der energetisch relevanten Komponenten des Gebäudes, durch Einbeziehung von Informationen über den elektronisch erfassten Standort der Bewohner.

Die Ziele des Projekts bestanden

- in der Analyse der Möglichkeiten, den Energieeinsatz im „Haus der Zukunft“ zu verringern unter Beachtung unterschiedlicher Randbedingungen mit Hilfe eines mathematischen Gebäudemodells und
- in der Bewertung verschiedener Kommunikationstechnologien in Hinblick auf
 - * technische Brauchbarkeit,
 - * praktische Einsetzbarkeit,
 - * Fragen des Datenschutzes und
 - * Kosten.

Das übergeordnete Gesamtziel des Projekts bestand in der qualitativen und quantitativen Erhebung der Möglichkeiten, den Energiebedarf des „Hauses der Zukunft“ durch Einsatz moderner Informationstechnologien zu minimieren.

Das Projekt wurde in 4 Arbeitsschritten durchgeführt:

- **Arbeitsschritt 1:** „Erhebung und Charakterisierung der energetisch relevanten Komponenten und Systeme unter besonderer Berücksichtigung der

sichtigung der Möglichkeiten der Informatik und der Bussysteme“ (siehe Abschnitt 2)

- **Arbeitsschritt 2:** „Internes Energie-Management des Hauses der Zukunft“ (siehe Abschnitt 3)
- **Arbeitsschritt 3:** „Externes Energie-Management des Hauses der Zukunft“ (siehe Abschnitt 4)
- **Arbeitsschritt 4:** „Gesamtkonzept für das Energiemanagement des Hauses der Zukunft“ (siehe Abschnitt 5)

Bei der Durchführung des Projekts wurden die „Sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung“, nämlich

- das Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzerorientierung,
- das Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen,
- das Effizienzprinzip,
- das Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit,
- das Prinzip der Anpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit,
- das Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge und
- das Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

berücksichtigt.

2 ERHEBUNG UND CHARAKTERISIERUNG DER ENERGETISCH RELEVANTEN KOMPONENTEN UND SYSTEME UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER MÖGLICHKEITEN DER INFORMATIK UND DER BUSSYSTEME

In diesem Arbeitsschritt wurden einerseits die energietechnisch relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft in Bezug auf die Schnittstellen für den Eingriff innovativer Informationstechnologien untersucht (siehe Abschnitt 2.1). Andererseits

wurden auch die Möglichkeiten zur Durchführung eines Energiemanagements für das „Haus der Zukunft“ untersucht (siehe Abschnitt 2.2).

2.1 Identifikation der energetisch relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft in Bezug auf Schnittstellen für den Eingriff innovativer Informationstechnologien

Das Kriterium für die Eignung der Komponenten ist die zur Erreichung des Projektziels notwendige Adressierbarkeit ihrer Steuerungselemente durch Einsatz von Informatik bzw. Datenbussystemen sowie Ihre Relevanz in Bezug auf den Energieeinsatz. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die relevanten Komponenten sowie eine Bewertung deren Adressierbarkeit und Relevanz in Bezug auf die mögliche Reduktion des Energieeinsatzes.

Tabelle 1: Übersicht über die relevanten Komponenten

Komponente	Adressierbarkeit der Steuerungselemente	Relevanz in Bezug auf Reduktion des Energieeinsatzes
Feuerungsanlagen	Heute meist sehr gut, da viele Feuerungsregelungen bereits über Schnittstellen verfügen	Hoch
Wärmepumpen	Gegeben	Hoch
Solarkollektoren	Gegeben	Gering
Systeme zur Steuerung des Wärmeeintrags aus der Umgebung (Jalousien etc.),	Gegeben	Hoch
Wärmespeicheranlagen	Gegeben	Gering
Brauchwasserboiler	Gegeben	Hoch
Klimaanlagen (inkl. Lüftungssysteme)	Gegeben	Hoch
Wärmerückgewinnungssysteme	Gegeben	Gering
Beleuchtungssysteme	Gegeben jedoch aufwendig Bussystem erforderlich	Gering

2.2 Untersuchung der Möglichkeiten der zentralen energetisch optimierenden Steuerung mit Hilfe von Daten-Fernübertragungssystemen (Datenbussystemen)

Um die Frage des optimalen Bussystems zu klären und hierzu Empfehlungen abgeben zu können wurden in dieser Analyse alle wichtigen derzeit verfügbaren, für einen Einsatz in der Gebäude Leittechnik in Frage kommenden Bussysteme auf ihre Eignung hin untersucht.

Ein Datenbus ist dadurch gekennzeichnet, dass von verschiedenen Stellen eines Netzes aus alle angeschlossenen Geräte angewählt werden können.

Der Übertragungsweg kann eine elektrische Leitung, ein Lichtleiter oder ein Radiokanal sein kann. Von allen angeschlossenen Geräten aus können Daten gesendet und empfangen werden.

Da die Leitung jeweils nur eine Information übertragen kann, müssen bei „gleichzeitiger“ Übertragung mehrerer Informationen Prioritätsregeln aufgestellt werden. Dabei kann es zu kurzen Wartezeiten für einzelne Informationen kommen. Die derzeit auf dem Markt erhältlichen Bussysteme weisen diesbezüglich gewisse Unterschiede auf.

Nachstehend werden die wichtigsten für den Einsatz im „Haus der Zukunft“ geeigneten Bussysteme in Bezug auf ihre spezifischen Eigenschaften beschrieben.

2.2.1 „Profibus“

In der PROFIBUS Nutzerorganisation e. V. (PNO) haben sich mehr als 260 Hersteller und Anwender des standardisierten Kommunikationssystems PROFIBUS zusammengefunden, um gemeinsam die technische Weiterentwicklung sowie die internationale Durchsetzung der Technologie zu fördern. Bild 1 zeigt eine Übersicht über die wichtigsten Komponenten der „Profibus-Familie“ der Serie 303.

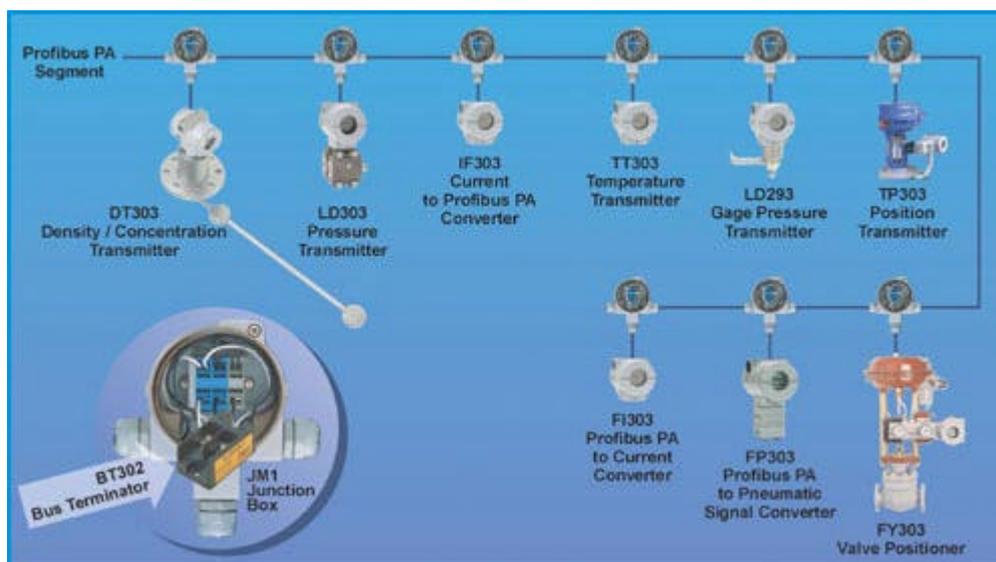


Bild 1: Übersicht über die wichtigsten Komponenten der „Profibus-Familie“ der Serie 303 (Quelle <http://www.ferret.com.au/articles/ab/0c01c9ab.asp>)

Wie in Bild 1 ersichtlich weist die „Profibus-Familie“ unter Anderem Temperatur-Messsignalkonverter und Steuersignalkonverter auf, die für die Anwendung im Haus der Zukunft in Hinblick auf die Energieeinsparung eingesetzt werden können.

Die Anbindung der Komponenten der „Profibus-Familie“ an einen PC ist zum Beispiel auf einfache Weise über entsprechende Einschubkarten möglich (Siehe Bild 2).



Bild 2: Profibus „DP Multi-Slave“ Interface Card (Quelle:
<http://www.mysst.com/cards/profibus/pfbmspci.asp>)

Mit Hilfe der in Bild 2 dargestellten „DP Multi-Slave“ Interface Card ist die Steuerung und das Monitoring von bis zu 125 mit einer einzigen Leitung verbundenen Komponenten der „Profibus-Familie“ möglich. Diese Anzahl von Kanälen dürfte für die Messung und Steuerung der energetisch relevanten Komponenten des „Hauses der Zukunft“ ausreichend sein.

Beim Profibus ist als Übertragungsmedium eine geschirmte, symmetrische Zwei-Drahtleitung vorgesehen, es kann aber auch ein Lichtwellenleiter verwendet werden. Die maximale Leitungslänge hängt von der gewählten Übertragungsgeschwindigkeit ab und beträgt

- bei 0,2 km 500 kbit/s,
- bei 0,6 km 187,5 kbit/s und
- bei 1,2 km 93,75 kbit/s.

Eine Vergrößerung der Leitungslänge lässt sich mittels eines bidirektionalen Repeaters erreichen. Maximal dürfen 3 Repeater zwischen 2 Teilnehmer geschaltet werden. Es kann damit eine Buslänge von 4,8 km realisiert werden. Die Spezifikationen für den elektrischen Anschluss entsprechen dem Standard RS 485 (Kupfer-Zweidrahtleitung).

2.2.2 „CAN“ (Controller Area Network)

CAN wird als Feldbus für die Vernetzung komplexer Controller und Steuergeräte verwendet. Der wichtigste Anwendungsbereich ist die Automobilindustrie, die CAN in den Luxuslimousinen von BMW und Mercedes-Benz zur Vernetzung einsetzt um den wegen des immer höheren Elektronikanteils entstehenden Verkabelungsaufwand zu reduzieren.

Die wesentlichen Merkmale von CAN sind eine hohe Datenübertragungsgeschwindigkeit von 10 kbit/s bis 1 Mbit/s bei einer Buslänge von 40 m bis 1 km. In den geringen Datenblocklängen von bis zu 8 Byte können nur kurze Nachrichten

übermittelt werden, die jedoch geringe Datenübertragungszeiten benötigen. Bei einer Strecke von 40 m und einer Rate von 1 Mbit/s ergibt sich eine maximale Reaktionszeit auf eine hochpriorie Information von 134 s. Die Reaktionszeiten werden durch die mögliche Prioritätsvergabe über eine spezielle Message-ID beeinflusst. Hier ist auch eine gewisse Vorsicht geboten: Hochpriorie Nachrichten können bei entsprechender Übertragungshäufigkeit niederpriorien Nachrichten den Buszugang über längere Zeit oder gar andauernd versperren.

Da CAN als Feldbus im Automobil starken Störeinflüssen (starken elektromagnetischen Einstrahlungen, physikalischen Belastungen) unterliegt, wurde auf die Übertragungssicherheit und Datenkonsistenz besonderer Wert gelegt. Verschiedene Maßnahmen führen zu einer Hammingdistanz von 6 und einer Restfehlerwahrscheinlichkeit von ca. 10^{-13} .

Der CAN Bus entspricht der Norm ISO 11898.

In einem CAN Netzwerk müssen die einzelnen Komponenten nicht extra manuell adressiert werden. Der CAN Bus erlaubt weiters die Zuordnung von Prioritäten einzelner Aufgaben.

Jede CAN Botschaft kann bis zu 8 Byte umfassen. Die maximale Übertragungsgeschwindigkeit beträgt bei einer maximalen Buslänge von 40 Metern 1 Mbit/s. Bis zu Entfernungen von 500 m beträgt die maximale Übertragungsgeschwindigkeit 125 kbit/s. Bis zu Entfernungen von 1.000 m beträgt die maximale Übertragungsgeschwindigkeit 50 kbit/s.

Auch für den CAN Bus sind verschiedene I/O-Komponenten, die sich für die Anwendung im „Haus der Zukunft“ eignen, erhältlich.

Der CAN Bus weist einen sehr hohen technischen Sicherheitsstandard auf und ist daher auch für die Anwendung in Flugzeugen, Schiffen und dergl. sowie in der medizinischen Technik geeignet. Das prinzipielle Schaltschema eines CAN-Bus Systems ist in Bild 3 dargestellt.

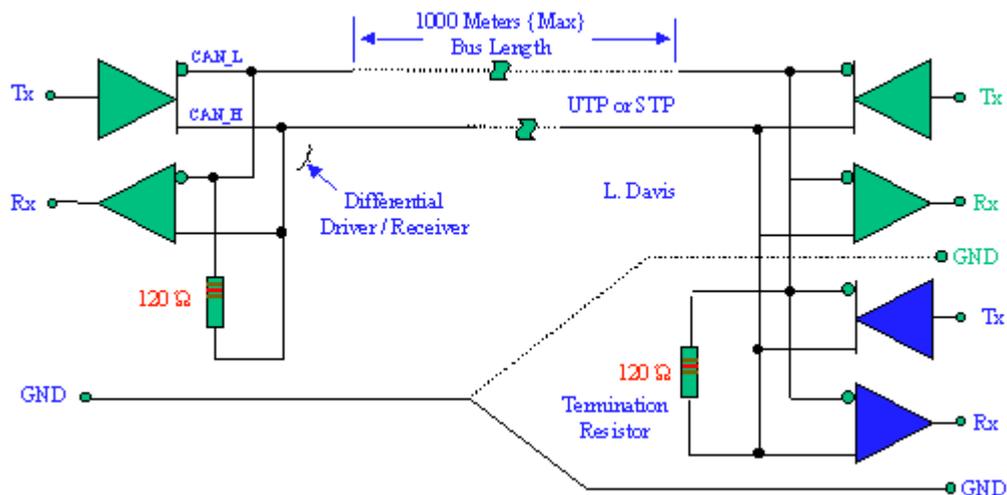


Bild 3: Prinzipielles Schaltschema eines CAN-Bus Systems
 (Quelle: http://www.industrysearch.com.au/new_products/viewrecord.asp?id=3930)

Weitere technische Daten der I/O Komponenten eines CAN-Bus Systems sind nachstehend aufgelistet:

- Ausgangsspannung der Steuersignale, oberer Signallevel: 4,0 bis 5,5 V
- Ausgangsspannung der Steuersignale, unterer Signallevel: 0,0 bis 1,5 V
- Ausgangsstrom 100 mA

2.2.3 „LON“ (Local Operation Network)

LON ist ein Feldbussystem, das speziell für die Gebäudeautomation entwickelt wurde. Mit LNS (LonWorks Network Services) lassen sich LON-Systeme über Gateways in Ethernet-Installationen und in das Internet integrieren. LON arbeitet mit zweiadrigen Leitungen, mit Koaxialkabeln, Kabeln für die Stromversorgung oder drahtlos per Funk.

Je nach Übertragungsweg beträgt die Datenrate 10 kbit/s (Stromkabel) bis zu 1,2 Mbit/s (Glasfaser).

Bild 4 gibt eine Übersicht über die einzelnen Module des LON.

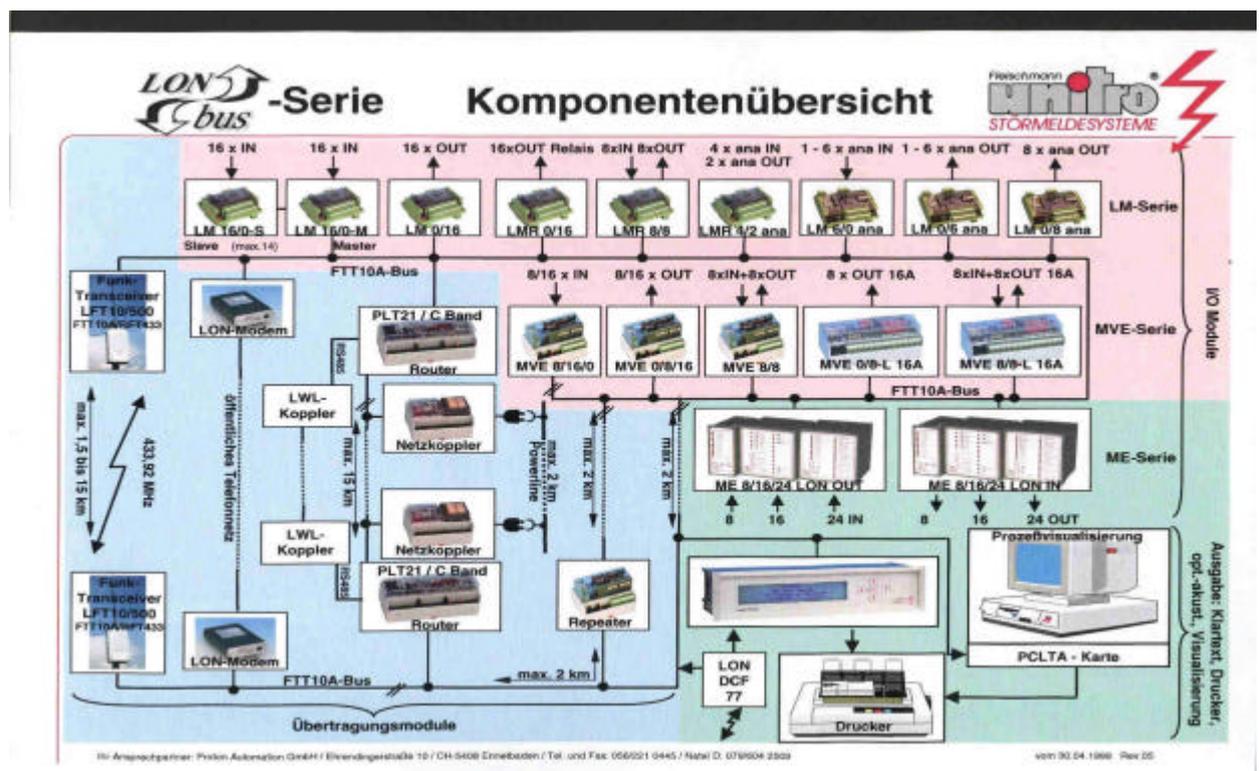


Bild 4: Übersicht über die Module des LON Bussystems (Legende im Text, Quelle: <http://www.unitro.de/LON-Bus-Komponenten/lon-bus-komponenten.html>)

Legende zu Bild 4:

- MVE 8/8 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 150x75x45mm, IP20, Eingang 24VAC/DC, 230VAC, Ausgang Relais mit Wechselkontakt, 250VAC 5A
- MVE 0/8 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 150x75x45mm, IP20, Ausgang Relais mit Wechselkontakt, 250VAC 5A
- MVE 8/0 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 150x75x45mm, IP20, Eingang 24VAC/DC, 230VAC
- MVE 8/8L LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 250x75x45mm, IP20, Eingang 24VAC/DC, 230VAC, Ausgang Relais mit Wechselkontakt, 250VAC 16A, 30VDC 7A
- MVE 0/8L LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 250x75x45mm, IP20, Ausgang Relais mit Wechselkontakt, 250VAC 16A, 30VDC 7A
- MVE 0/16 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 150x75x45mm, IP20, Ausgang Relais mit Wechselkontakt, 250VAC 5A
- MVE 16/0 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 150x75x45mm, IP20, Eingang 24VAC/DC, 230VAC
- MVE - Router, Speisung 18VAC/24DC, FTT10A-PLT21, 150x75x45mm, IP20, Aktiver Signalumsetzer von FTT10A (78 kBit/s) auf C-Band 125-145 kHz
- MVE - Netzkoppler, Speisung 230VAC-1000VAC, 100x75x45mm, IP20, Koppelmodul zu MVE Router PLT21 auf Starkstromnetz, C-Band 125-145 kHz
- MVE Trafomodul 230VAC auf 24VAC

- LMR 8/8 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 145x111x50mm, IP20, Eingang 18-70VDC (2-polig), Ausgang Relais (2-polig), 250VAC 5A, potentialgetrennt
- LMR 0/8 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 145x111x50mm, IP20, ca.380g Ausgang Relais (2-polig), 250VAC 5A, potentialgetrennt
- LMR 8/0 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 145x111x50mm, IP20, Eingang 18-70VDC (2-polig)
- LMR 0/16 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 145x111x50mm, IP20, Ausgang Relais (2-polig), 250VAC 5A, potentialgetrennt!
- LMR 4/2 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 145x111x50mm, IP20, Eingang analog 0-20mA,0-10V, 12 Bit, Ausgang analog 0-20mA, 0-10V, 12 Bit
- LM 6/0 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 145x111x50mm, IP20, Eingang analog 0-20mA,0-10V, 12 Bit
- LM 0/6 LON-Modul, Speisung 24VAC/DC, FTT10, 145x111x50mm, IP20, Ausgang analog 0-20mA, 0-10V, 12 Bit
- LON-Bus Karte für ME-Module, 8/16/24
- Textanzeigemodul, LON FTT10 Anschluss, Speisung 24VAC/DC, 230VAC, 288x72x127mm, IP54, Druckeranschluss, 240 Meldungen, 4x40 Zeichen, Uhr, Datum, Hupe,
- LON-Bus Modem für Datenverbindung via Wählleitung, optional auch mit SMS Ausgabe

Wie in Bild 4 ersichtlich sind die Module des LON Systems sehr gut an den Bedarf für den Einsatz in der Gebäudetechnik und damit auch an die Erfordernisse für die energetischen Optimierung des Hauses der Zukunft angepasst.

2.2.4 „EIB“ (European Installation Bus)

Der EIB ist, ähnlich wie der bereits beschriebene LON Bus, auf die Anwendung im Haushaltsbereich zugeschnitten. Besonders geeignete Komponenten des EIB Bussystems sind beispielsweise regelbare Dimmer für die optimale Einstellung der Licht- bzw. Beleuchtungsstärke.

Bild 5 zeigt beispielsweise das Display eines Steuergeräts für 4 verschiedene Beleuchtungskörper. Selbstverständlich kann die Regelung der Beleuchtung auch automatisch bzw. in Abhängigkeit von der Tageslichtstärke oder über Bewegungssensoren erfolgen.



Bild 5: Display eines 4-Kanal Reglers für die Lichtstärke mit EIB-Bus
(Quelle: <http://www.eib-welt.de/>)

Das EIB-Bussystem verfügt über fertige, speziell in der Gebäudetechnik sehr nutzbringend einsetzbare Komponenten wie

- * Jalousiensteuerung,
- * Regensensoren,
- * Sturmsensoren, und dergl.

Das EIB-Bussystem verfügt weiter über komplette Regler für folgende Aufgaben:

- * Heizungssteuerung
- * Lüftungssteuerung
- * Klimasteuerung
- * Elektrisches Lastmanagement
- * Anzeigen, Melden, Überwachen

Bild 6 zeigt das Beispiel einer Veranda mit über EIB-Bus gesteuerten Jalousien.



Bild 6: Beispiel einer Veranda mit über EIB-Bus gesteuerten Jalousien (Quelle: http://www.eib-home.de/instabus_eib_home.htm)

Das EIB-Bussystem ist ohne Zusatzmaßnahmen über externe Datenübertragungsleitungen, insbesondere über Festnetz, Mobiltelefon und Internet erreichbar. Über zuvor einprogrammierte Codenummern kann jedes angeschlossene Gerät einzeln aus der Ferne erreicht und abgefragt bzw. gesteuert werden. Damit kann man beispielsweise aus der Ferne feststellen, ob die Alarmanlage angesprochen hat oder überprüfen, ob die Küchengeräte abgeschaltet sind.

Für die Etablierung des EIB-Bussystems wurde die EIB-Association („EIBA“), ein herstellerübergreifender Verbund, gegründet. Schon heute bieten über 100 Hersteller und mehr als 8.000 Lizenznehmer europaweit etwa 5.000 EIB-Komponenten an. Der „Instabus“ von Siemens entspricht den Richtlinien der EIBA ebenso wie das System „Domotik“ von Bosch.

Als Übertragungsmedium sieht EIB grundsätzlich ein zweiadriges Kabel vor. Inzwischen sind jedoch auch EIB-Versionen für Stromversorgungsleitungen sowie

drahtlose Systeme für Funk und Infrarot verfügbar. Zusätzlich kann die Version EIB.net normale Datennetze nach IEEE 802.2 verwenden, bis hin zu Ethernet mit 10 Mbit/s. Die Erweiterungskomponente EIB.net ,i' ermöglicht zudem die Weiterleitung und damit die EIB-Anbindung an das Internet. Die theoretische Datenübertragungsrate des EIB liegt bei maximal 9,6 kbit/s.

2.2.5 „EHS” (European Home System)

Das EHS ist, wie die Bezeichnung bereits zum Ausdruck bringt, ebenfalls ein auf die Erfordernisse der Gebäudeleittechnik speziell zugeschnittenes Bussystem. Es enthält insbesondere Komponenten für folgende Anwendungen:

- Heizungssteuerung
- Lastmanagement
- Beleuchtungssteuerung
- Überwachungs- und Sicherheitssysteme
- Telefon Interface

Das EHS ist in der Lage, auch Stromversorgungsleitungen als Übertragungsmedium zu nutzen, und kommt daher im Prinzip ohne zusätzliche Leitungen aus. Auch die Signalübertragung durch Infrarotstrahlung und Funkwellen ist möglich.

Mit Hilfe einer speziellen Softwarebibliothek (EHS-LIB) ist die Programmierung von Mikroprozessoren auf einfache Weise möglich. Die Überwachungsfunktionen des EHS sind in der Lage, gegebenenfalls „Short Messages“ zu versenden.

Das EHS wurde im Rahmen des EU-Projektes ESPRIT (European Strategic Program for Research and Development of Information Technology) entwickelt. Bei Verwendung von Stromversorgungsleitungen als Übertragungsmedium beträgt die Datenübertragungsrate 2,4 kbit/s. Bei Verwendung einer eigenen zweiadrigen Leitung erhöht sich die mögliche Datenübertragungsrate bis zu 48 kbit/s.

2.2.6 „LCN” (Local Control Network)

LCN ist ein von der Issendorff GmbH entwickeltes Installationsbussystem für Wohn- und Zweckbauten. Herkömmliche Installationselemente wie Schalter, Taster,

Sensoren usw. werden durch „intelligente“ Module ersetzt bzw. ergänzt. Alle Module im Gebäude sind mit einer zusätzlichen Ader im Installationskabel (im Prinzip ein um eine Ader als Datenleitung erweiterte vieradrige Stromversorgungsleitung verbunden. Die Komponenten bzw. das Leistungsspektrum ist ähnlich wie bei EHS bzw. IEB. Ergänzend zu herkömmlichen Bewegungsmeldern enthält das LCN-System auch einen „Anwesenheitsmelder“, der auf einer Geräuscherfassung beruht.

2.3 Zusammenfassende Bewertung der Möglichkeiten des Einsatzes innovativer Informationstechnologien im „Haus der Zukunft“

Die für den Einsatz in der Gebäudeleittechnik einzusetzenden Bussysteme ohne Ausnahme an Schnittstellen von Personalcomputern oder SPS-Steuerungen anschließbar. Somit besteht - sofern die Systeme nicht ohnehin bereits über entsprechende Softwaremodule verfügen - die Möglichkeit der Realisierung von individuellen zentralen, und energetisch optimierenden Steuerungen mit Hilfe entsprechender Softwareprogramme. Durch Kombination von busgesteuerter Automation der Komponenten der Haustechnik mit Einrichtungen zur Daten-Fernübertragung können weitere Möglichkeiten zur Verringerung des Energieeinsatzes erschlossen werden. Voraussetzung für eine nähere Detailspezifikation der Programmblöcke einer solchen Software, insbesondere betreffend die Komponenten der Heizanlage, ist eine quantitative Analyse der durch das Programm beeinflussten Wärmeströme. Diese Analyse wurde Untersuchungen zur Frage der Einbindung von Daten-Fernübertragungssystemen wurden in Arbeitsschritt 3 dieses Projekts vorgenommen (siehe Abschnitt 3.2)

Die Vielfalt der bereits heute verfügbaren Übertragungstechniken bietet aus rein technischer Sicht im Prinzip uneingeschränkte Möglichkeiten, innovative Informationstechnologie zur Durchführung eines Energiemanagements für das „Haus der Zukunft“ einzusetzen. Die wichtigsten dieser Möglichkeiten wurden, gegliedert in Möglichkeiten des „Internen Energiemanagements“ (siehe Abschnitt 3) und des „Externen Energiemanagements“ (siehe Abschnitt 4) im Rahmen des gegenständlichen Projekts qualitativ und quantitativ untersucht.

3 INTERNES ENERGIEMANAGEMENT DES „HAUSES DER ZUKUNFT“

Das „Interne Energiemanagement“ des Hauses der Zukunft stützt sich auf die Möglichkeiten der manuellen oder automatischen Einflussnahme auf die energetisch relevanten Komponenten des „Hauses der Zukunft“ von einem Standort im Inneren des Gebäudes aus.

3.1 Strategien für das interne Energiemanagement des „Hauses der Zukunft“

Grundsätzlich kann internes Energiemanagement bis zu einem gewissen Grad manuell erfolgen, also in dem man zum Beispiel beim Verlassen eines Raums manuelle die Lichter abschaltet. Das interne Energiemanagement des „Hauses der Zukunft“ kann aber mit Hilfe moderner Elektronik bzw. Telekommunikation erleichtert und vor allem auch optimiert werden. Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein einer zentralen Steuerung der energetisch relevanten Komponenten über entsprechende Datenübertragungsleitungen bzw. Bussysteme (siehe Abschnitt 2.2)

Die wichtigsten energetisch relevanten Prozesse im „Haus der Zukunft“, die sich unter Einsatz derartiger Bussysteme realisieren lassen sind:

- Zentrales Ausschalten von Energieverbrauchern bei Verlassen des Hauses,
- automatisches Ein- bzw. Ausschalten von Energieverbrauchern in Abhängigkeit von der Anwesenheit von Personen in Räumen, die durch Bewegungssensoren festgestellt wird,
- Einstellen der Raumtemperaturen in verschiedenen Räumen von einer zentralen Stelle aus,
- automatisches Betätigen von energetisch relevanten Komponenten des „Hauses der Zukunft“ (z. B. Jalousien, Komponenten der Lüftung) in Abhängigkeit vom momentanen Wärmeeintrag (Wetter) und der Luftfeuchtigkeit im Raum unter Einbeziehung individueller Wünsche bzw. Bedürfnisse der Bewohner (z. B. erhöhte Lüftung bei anstrengender Arbeit oder bei Fitness-Übungen etc.),
- automatisches Ein- und Ausschalten von Lampen in verschiedenen Räumen nach einem vorgegebenen Programm zur Vortäuschung der Anwesenheit von

Bewohnern zur Abschreckung von Einbrechern (als Ersatz für das andauernde Leuchtenlassen von Lampen während der Abwesenheit),

- Regelung der Lichtstärke von Beleuchtungskörpern in Abhängigkeit vom Bedarf an Beleuchtungsstärke unter Berücksichtigung der Umgebungshelligkeit,
- Regelung und Steuerung der verschiedenen Komponenten der Wärmetechnik des „Houses der Zukunft“ (Feuerungsanlage, Pufferspeicher, Solare Warmwasserbereitung, Photovoltaik, Wärmepumpe) in Hinblick auf die Optimierung des Zusammenwirkens des Gesamtsystems.

Die beteiligten Komponenten sind in Bild 7 dargestellt. Man erkennt in Bild 7 den Datenbus (strichlierte Linien). Weiters eine zentrale Steuerungseinheit, über die folgende Komponenten angesteuert werden:

- Regler
 - * für Beleuchtungskörper,
 - * für Heizkörper,
 - * für die Umwälzpumpen des Heizkreises und der Solarkollektoren und
 - * für Jalousien,
- Heizkessel,
- Wärmepumpe,
- Pufferspeicher und
- Photovoltaikanlage

angesteuert werden.

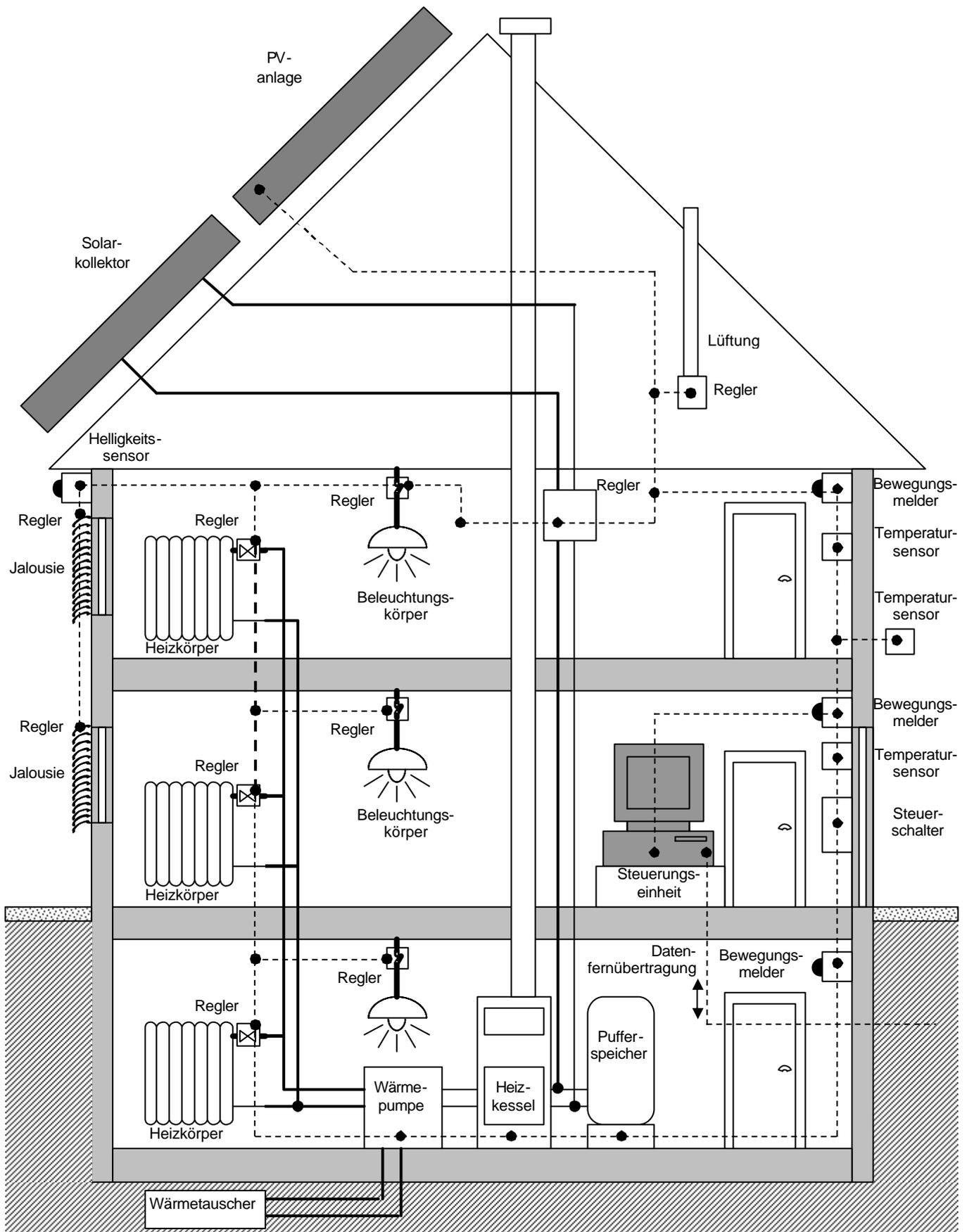


Bild 7: Komponenten für das Energiemanagement des „Hauses der Zukunft“

Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ durch Nutzung innovativer Informationstechnologien

Die zentrale Steuerungseinheit erhält Informationen von den Raumtemperatur- und Helligkeitssensoren und von Zustandsmeldern der einzelnen Komponenten. Die zentrale Steuerungseinheit ist an ein Datenfernübertragungssystem angeschlossen, über das das Wärmemanagement gegebenenfalls überwacht und aus der Ferne beeinflusst werden kann (siehe Abschnitt 4).

Über einen Steuerschalter im Eingangsbereich kann außerdem der zentralen Steuerungseinheit bei Verlassen des Hauses bzw. bei Rückkehr auch manuell die Information vermittelt werden, ob jemand im Haus ist oder nicht. Im „Abwesenheitsfall“ schaltet die zentrale Steuerungseinheit auf ein spezielles Programm um, das auf geringst möglichen Energieverbrauch abzielt:

- Es senkt in jedem Raum die Temperatur auf ein gewünschtes Mindestmaß,
- es schaltet „vergessene“ Beleuchtungskörper oder andere im Abwesenheitsfall nicht benötigte Elektrogeräte aus,
- es reduziert die Luftwechselrate der Lüftung und
- es verändert die Steuerung der Abschattungseinrichtungen (Jalousien) so, dass in den Räumen eine gewisse erhöhte Lufttemperatur eingestellt wird, die zur Speicherung von Wärme in den Massen des Gebäudes führt, die nach der Rückkehr der Bewohner wieder genutzt werden kann.

Auf Wunsch kann auch ein Programm simuliert werden, das mit geringem Energieverbrauch die Anwesenheit von Bewohnern für außenstehende Beobachter simuliert, zum Beispiel indem von Zeit zu Zeit Beleuchtungskörper für kurze Zeit eingeschaltet werden. Diese Maßnahme zur Vortäuschung anwesender Bewohner verringert den Energieeinsatz gegenüber dem schlichten Leuchtenlassen von Beleuchtungskörpern und ist außerdem wirksamer in Bezug auf den Täuschungseffekt.

Die oben beschriebenen Maßnahmen sind in Bezug auf die Möglichkeit der Verringerung des Energieeinsatzes von unterschiedlicher Effizienz. Eine quantitative Analyse hierzu erfolgt im folgenden Abschnitt.

3.2 Quantifizierung der möglichen Verringerung des Energieeinsatzes

Die wichtigste Möglichkeit der Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ besteht darin, dass Temperaturen (vor allem natürlich Raumtemperaturen und die Brauchwassertemperatur) während der Dauer der Abwesenheit der Benutzer auf ein sinnvolles Mindestmaß abgesenkt werden, womit sich die Wärmeabgabe des „Hauses der Zukunft“ an die Umgebung prinzipiell verringert. Für eine quantitative Abschätzung dieser Einsparungsmöglichkeit ist die Ermittlung der zeitlich-dynamischen Wärmeflüsse im „Haus der Zukunft“ bzw. vom „Haus der Zukunft“ an die Umgebung erforderlich. Dies erfolgt am besten durch den Einsatz entsprechender mathematischer Modelle für verschiedene typische Modellfälle bzw. Randbedingungen.

Entsprechende Modellrechnungen wurden im Rahmen eines Sub-Werkvertrags durch das Institut für Wärmetechnik der Technischen Universität Graz mit dem Programmpaket TRNSYS durchgeführt.

Der vollständige Bericht des Instituts für Wärmetechnik betreffend den Sub-Werkvertrag ist im Anhang (Abschnitt 9.2) abgedruckt. In den folgenden Abschnitten werden die wichtigsten Einzelheiten und Ergebnisse zusammengefasst.

3.2.1 Beschreibung der untersuchten Modellfälle

Im gegenständlichen Projekt wurden Modellrechnungen für folgende Modellfälle bzw. Randbedingungen durchgeführt:

- Gebäudeform: Einfamilienhaus gemäß den Skizzen in den Bildern 8 und 9

Die vertikalen Wände des Kellergeschosses (blauer Quader) sind als vollständig erdberührt angenommen. Der Dachkörper ist als gut belüftetes Kaltdach ausgeführt. Bild 8 zeigt den gesamten Baukörper mit seiner inneren Einteilung in Zonen (= Innenräume). Bezüglich der geometrischen Auswertung aller Raumbegrenzungsflächen und Kubaturen sowie bezüglich der für die Thermische Gebäudesimulation verwendete Zonierung wird auf den Anhang (Abschnitt 9.2) verwiesen.

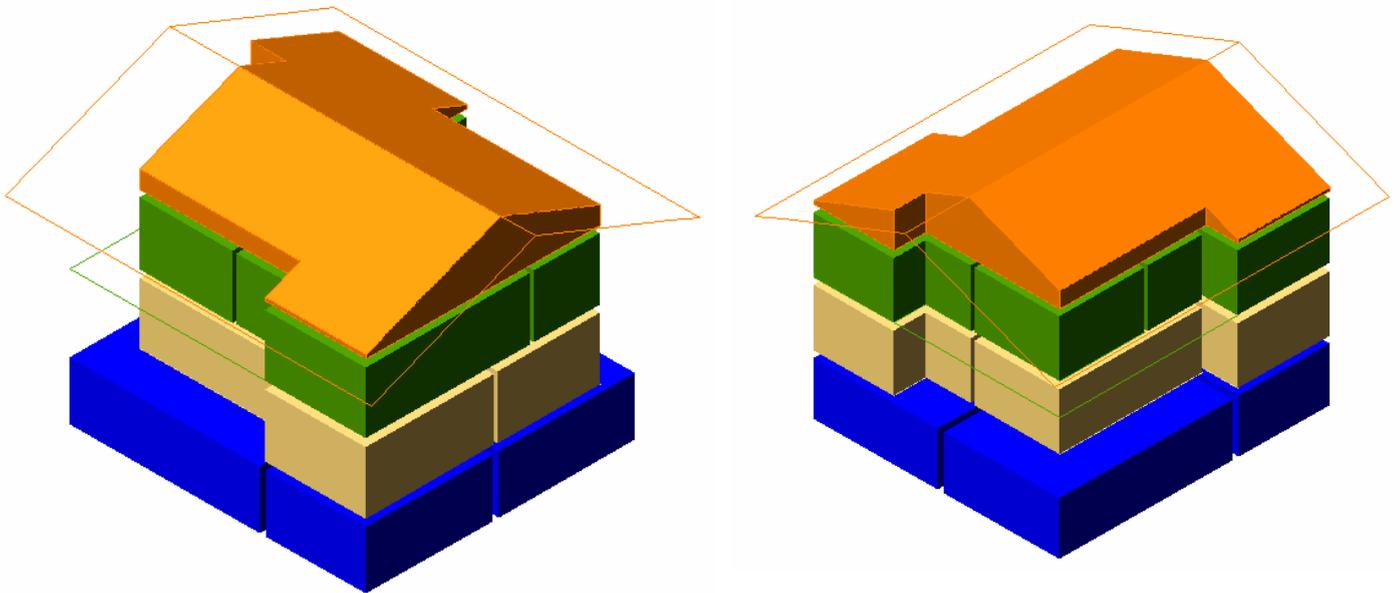
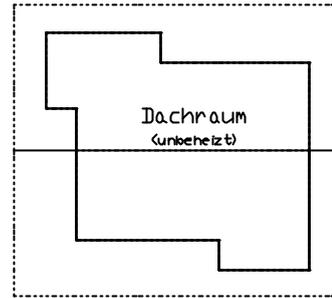
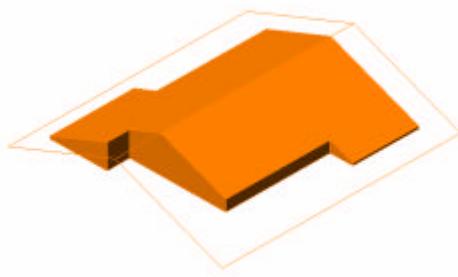


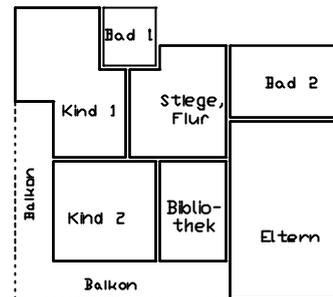
Bild 8: Zwei Ansichten des Modellgebäudes

Bild 9 zeigt die Raumaufteilung in den einzelnen Geschossen. Die Außenmaße das Gebäude ist 12,00 Meter lang und 11,90 Meter breit. Die Kellergeschoßhöhe beträgt 2,35 Meter. Die Höhe der übrigen Geschosse beträgt 2,5 Meter.

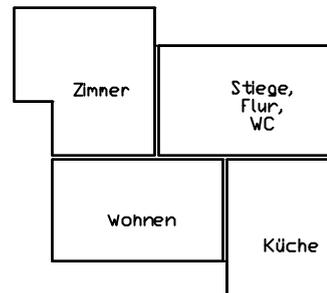
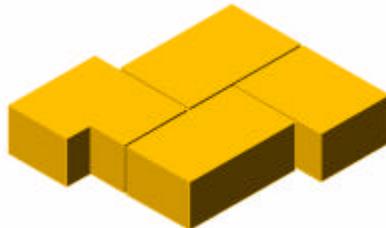
Dachraum



Obergeschoss



Erdgeschoss



Kellergeschoss

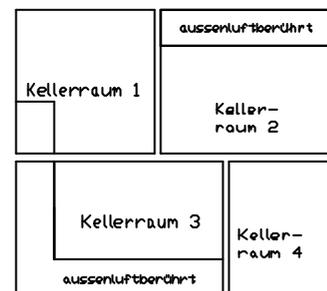
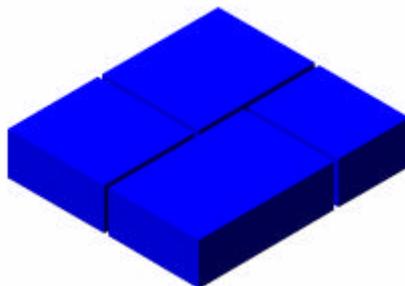


Bild 9: Darstellung der Unterteilung des Baukörpers mit seiner inneren Aufteilung in einzelne Zonen (=Innenräume)

- Konstruktionsvarianten

Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ durch Nutzung innovativer Informationstechnologien

Um den Einfluss verschiedener Konstruktionsvarianten zu untersuchen, wurden fünf verschiedene Konstruktionstypen definiert, die die Bandbreite von Leichtbau bis zur Massivbauweise abdecken sollen. Eine detaillierte Beschreibung aller Wand- und Deckenaufbauten der Konstruktionsvarianten sind dem Anhang (Abschnitt 9.2) zu entnehmen.

- Konstruktionsvariante 1 (KV1): Holzständerleichtbau mit Holzbalkendecken und leichten Innenwänden,
- Konstruktionsvariante 2 (KV2): Ziegelbau (HLZ 38 cm) ohne zusätzliche Wärmedämmung mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden
- Konstruktionsvariante 3 (KV3): Ziegelbau gedämmt, (HLZ 38 cm) mit 10 cm starker zusätzlicher Wärmedämmung mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden
- Konstruktionsvariante 4 (KV4): Massivholzbau System Thoma (17,6 cm) mit 10 cm Flachsdämmung, 500 kg/m³
- Konstruktionsvariante 5 (KV5): Stahlbetonbau mit Polystyroidämmung und Ziegelinnenwänden

Bei -10°C Außentemperatur, einer Luftwechselrate von $0,5\text{ h}^{-1}$, und ohne Berücksichtigung von inneren Wärmen erhält man die spezifischen Heizlasten in Tabelle 2. Der dazugehörige Jahresheizwärmebedarf (HWB) wurde für Klimawerte für Graz 1998 berechnet. Beide Werte sind auf die gesamte Nutzfläche des Vergleichsgebäudes bezogen.

Tabelle 2: Spezifische Heizlasten der verschiedenen Konstruktionsvarianten (Bedeutung der Abkürzungen, siehe oben im Text)

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
Heizlast [W/m^2]	42,0	48,5	40,9	40,4	49,5
HWB [$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$]	81,6	91,3	77,3	76,0	93,7

Da die Konstruktionsvarianten 1 bis 5 einen repräsentativen Querschnitt über gängige Konstruktionen bilden sollen, unterscheiden sich die definierten Konstruktionsvarianten nicht nur durch unterschiedliche thermische Massen, sondern decken auch eine Bandbreite verschiedener U-Werte (Details siehe Anhang, Abschnitt 9.2) und damit Heizlasten ab. Diese Tatsache sollte bei der Interpretation der Ergebnisse in den folgenden Kapitel nicht außer Acht gelassen werden. So weist etwa die Konstruktionsvariante 5 eine um rund 20 % höhere Heizlast auf als die Konstruktionsvariante 4.

- Um das Potential energiesparender Maßnahmen durch Externes Energiemanagement zu zeigen, wurden mehrere Testszenarien spezifiziert, in denen das Vergleichsgebäude für einen definierten Zeitraum unbenützt bleibt, und daher die Raumtemperatur von 21 °C bei Personenanwesenheit abgesenkt werden kann. Die folgenden sechs Testszenarien decken Zeiträume der Raumtemperaturabsenkung von maximal drei Wochen und minimal 7 Stunden ab.

a) „Dreiwöchiger Urlaub“ (Dauer der Absenkung: 21 Tage)

Das Gebäude ist drei Wochen lang unbewohnt. Während dieser Zeit wird der Sollwert der Raumtemperatur abgesenkt, wobei zwei Fälle getrennt untersucht werden:

- Fall 1: Absenkung auf 15 °C
- Fall 2: Absenkung auf 5 °C

b) „Einwöchiger Urlaub“ (Dauer der Absenkung: 7 Tage)

Das Gebäude ist eine Woche lang unbewohnt. Während dieser Zeit wird der Sollwert der Raumtemperatur abgesenkt, wobei wiederum zwei Fälle getrennt untersucht werden:

- Fall 1: Absenkung auf 15 °C
- Fall 2: Absenkung auf 5 °C

c) „Wochenendhaus“ (Dauer der Absenkung: 5 Tage)

Das Gebäude ist nur während der Wochenendtage Samstag und Sonntag bewohnt. Unter der Woche (Montag bis Freitag) wird der Sollwert der Raumtemperatur auf 15 °C abgesenkt (Die Untersuchung der Absenkung

des Sollwerts auf 5 °C ist in diesem Fall, sowie in allen weiteren Fällen mit noch kürzerer Absenkdauer nicht notwendig, weil keines der untersuchten Gebäude unter den gegebenen Bedingungen rasch genug auf 5 °C abkühlt)

d) „Arbeitsdomizil“ (Dauer der Absenkung: 2 Tage)

Das Gebäude ist nur während der Wochentage von Montag bis Freitag bewohnt, an den Wochenenden (Samstag und Sonntag) wird der Sollwert der Raumtemperatur auf 15 °C abgesenkt

e) „Tagesabsenkung“ (Dauer der Absenkung: 11 Stunden)

Das Gebäude ist tagsüber zwischen 07:00 und 18:00 Uhr unbenützt und der Sollwert der Raumtemperatur wird während dieser Zeit auf 15 °C abgesenkt.

f) „Nachtabenkung“ (Dauer der Absenkung: 7 Stunden)

Der Sollwert der Raumtemperatur wird während der Nachtstunden zwischen 23:00 und 06:00 Uhr auf 15 °C abgesenkt

- Klimatische Randbedingungen

Als Klimadaten wurden die von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (A-1190 Wien, Hohe Warte 38) bezogenen Messreihen für den Standort Graz verwendet. Es standen Klimadaten aus den Jahren 1990 bis 2000 zur Verfügung. Als Vergleichsjahr wurde das Jahr 1998 ausgewählt, da die Klimadaten von Graz 1998 am besten zu den mittleren Werten passen und somit ein durchschnittliches Jahr der letzten Dekade für den Standort Graz repräsentieren (Details siehe Anhang, Abschnitt 9.2). Im Einzelnen wurden folgende Daten berücksichtigt (jeweils Monatsmittelwerte).

- * Außentemperatur, gemessen in 2 Meter Höhe
- * Diffusionsstrahlung auf die horizontale Fläche
- * Globalstrahlung auf die horizontale Fläche
- * Relative Luftfeuchtigkeit

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ergebnisse ausgewählter Modellrechnungen zusammengefasst beschrieben. Dabei werden insbesondere die Ergebnisse

- des „leichtesten“ Gebäudes, d. h. des Gebäudes mit dem geringsten Wärmespeichervermögen, nämlich Holzständerbau mit Holzbalkendecken und leichten Innenwänden (Konstruktionsvariante 1)
- und des „schwersten“ Gebäudes, d. h. des Gebäudes mit dem größten Wärmespeichervermögen, nämlich Stahlbetonbau mit Polystyrolämmung und Ziegelinnenwänden (Konstruktionsvariante 5)

einander gegenübergestellt.

Bezüglich der Ergebnisse für die anderen Konstruktionsvarianten wird auf den vollständigen Bericht des Instituts für Wärmetechnik der TU-Graz verwiesen (siehe Anhang, Abschnitt 9.2).

3.2.2 „Dreiwöchiger Urlaub“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 21 Tage)

Bild 10 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während einer dreiwöchigen Abkühlphase vom 19. Dezember 1997 bis zum 10. Jänner 1998 im real gemessenen Klima vom Standort Graz. Der Verlauf der Außentemperatur wird durch die grau hinterlegte Fläche verdeutlicht, die durchschnittliche Außentemperatur während dieses Zeitraums betrug $-1,4\text{ °C}$. Die roten Kurven beschreiben die Verhältnisse bei einer Temperaturabsenkung auf einen Sollwert von 5 °C während die schwarzen Kurven die Verhältnisse bei einer Temperaturabsenkung von 15 °C beschreiben. In Bild 10 ist die Situation im Holzständerleichtbau (KV1) und im Stahlbetonmassivbau (KV5) gegenübergestellt. Man erkennt deutlich das unterschiedliche Auskühlverhalten der beiden Bauten. Während die Raumtemperatur im Holzständerleichtbau (KV1) sehr rasch absinkt, bewirken die Speichermassen des Stahlbetonmassivbaus (KV5) ein viel langsames Auskühlen. Zusätzlich sind zeitliche Schwankungen im Temperaturverlauf bzw. in der Heizlast für den Holzständerleichtbau naturgemäß ausgeprägter als für den Stahlbetonmassivbau.

Es ist zu beachten, dass für den Stahlbetonmassivbau die Raumtemperatur $6,8\text{ °C}$ nicht unterschreitet, d. h. dass der Sollwert von 5 °C während der drei Wochen nicht erreicht wird. Andererseits ist auch eine lange Aufheizzeit von 85 h notwendig.

Der Heizwärmebedarf während der Abkühlphase ergibt sich als Integral über den Heizlastverlauf. Der Vergleichswert – also der Heizwärmebedarf über den selben Zeitraum ohne Temperaturabsenkung – ergibt sich ebenso aus der Integration der Heizlast für diesen Fall.

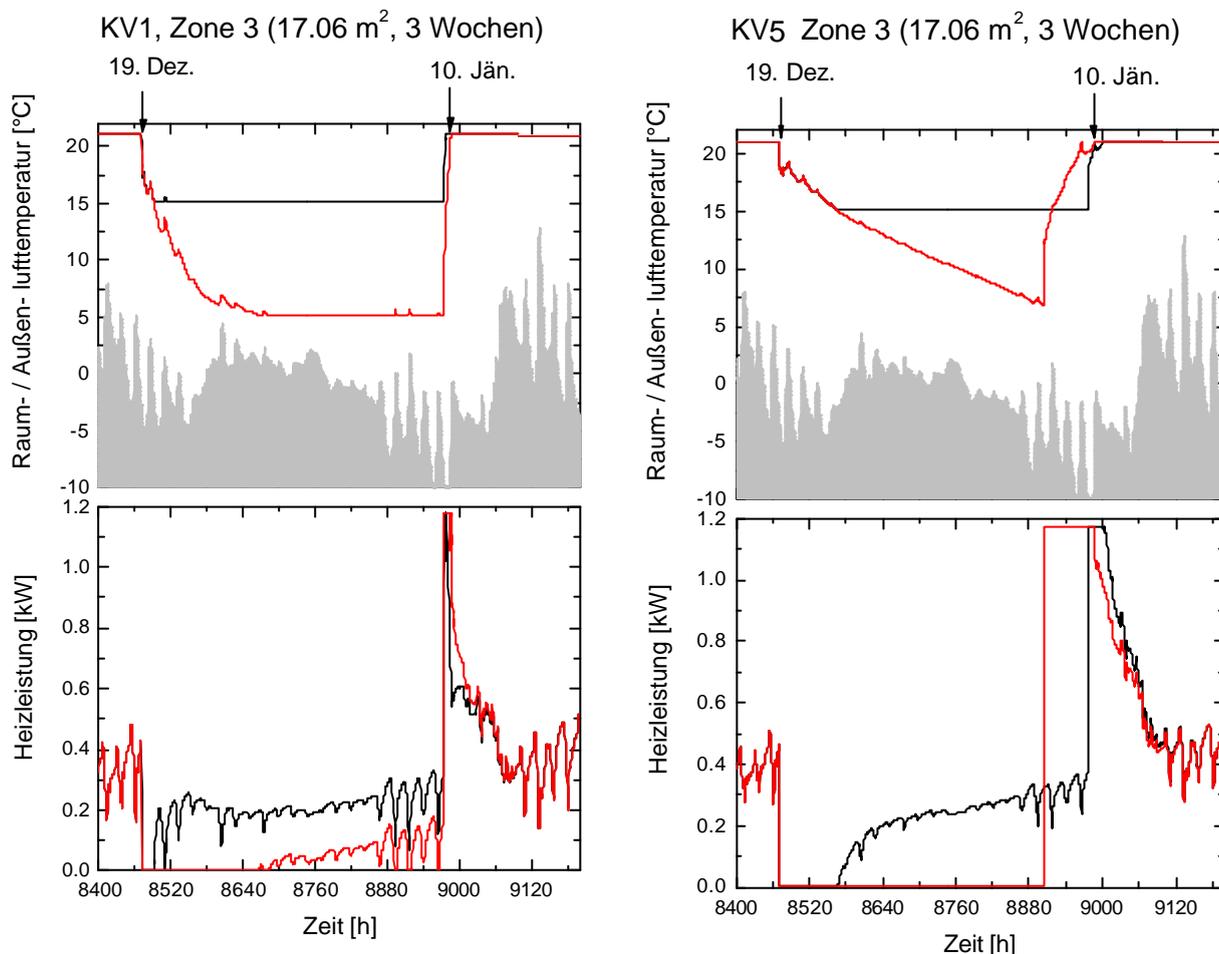


Bild 10: Temperaturverlauf (oben) und Heizlast (unten) während einer dreiwöchigen Abkühlphase für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schwarzen Kurven beschreiben die Verhältnisse bei Absenkung auf 15 °C, die roten bei Absenkung auf 5 °C. Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur.

Eine detaillierte Beschreibung der dieser Auswertung sowie eine prinzipielle Beschreibung der Abkühl- und Aufheizcharakteristika ist in Anhang 9.2 enthalten.

Bild 11 und **Bild 12** zeigen eine dementsprechende Auswertung des Heizwärme-

bedarfs für alle 5 betrachteten Konstruktionsvarianten für eine Temperaturabsenkung auf 5 °C (Bild 11) bzw. auf 15 °C (Bild 12). Die weißen Balken dienen als Referenz und zeigen den Heizwärmebedarf für die betrachteten 3 Wochen *ohne* Absenken der Raumtemperatur, während die Summe der grauen Balken den Bedarf darstellt, der sich ergibt, wenn die Raumtemperatur auf 5 °C bzw. 15 °C abgesenkt wird. Das heißt, der hellgraue Bereich des jeweils kleineren Balkens entspricht dem Wärmebedarf während der reinen Absenkphase, während der dunkelgraue Bereich dem Heizwärmebedarf entspricht, der zum Wiederaufheizen des Raumes samt Speichermassen erforderlich ist. Erwartungsgemäß ist dieser Anteil für den Holzständerleichtbau (KV1) viel kleiner ist als beispielsweise für den Stahlbetonmassivbau (KV5), was man auch deutlich der Abbildung 11 entnehmen kann. Weiters sieht man, dass die Wärmemenge zum Wiederaufheizen bei Abkühlung auf 5 °C im Vergleich zum Absenkszenario auf 15 °C rund den doppelten Wert annimmt. Umgekehrt stellt man aber auch fest, dass der Wärmebedarf während der Abkühlphase (hellgrauer Bereich) naturgemäß stark abnimmt, wenn man die Raumsolltemperatur von 15 °C auf 5 °C reduziert. Insgesamt ergeben sich deutlich höhere Einsparungen bei Absenkung auf 5 °C, wobei der Unterschied für die Leichtbauweisen ausgeprägter ist als für Massivbaukonstruktionen. So erwartet man für die KV1 eine Einsparung von knapp 7 kWh/m² bei 5 °C, bzw. nur 2,8 kWh/m² bei 15 °C Absenkttemperatur, während man für KV5 Werte von 5,1 kWh/m² und 3,4 kWh/m² errechnet.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich Unterschiede in der Konstruktionsart bei einer Raumtemperaturabsenkung auf 15 °C nur wenig auswirken, und die relativen Energieeinsparungen bei rund 30 % für alle betrachteten Konstruktionsvarianten liegen. Lässt man die Raumtemperatur jedoch bis auf 5 °C sinken, so zeigen sich Vorteile der Leichtbauweise, die Einsparungen bis zu 75 % ermöglichen, während beispielsweise mit einer Stahlbetonbauweise nur Einsparungen von rund 45 % erzielt werden können. Der Vorsprung der Leichtbauweise gegenüber der Massivbauweise ergibt sich aus der Tatsache, dass erstere schnellere Auskühl- und Aufheizzeiten aufweist, wodurch der Leichtbau für eine längere Zeit auf niedrigem Temperaturniveau bleibt und somit geringere Transmissionsverluste aufweist.

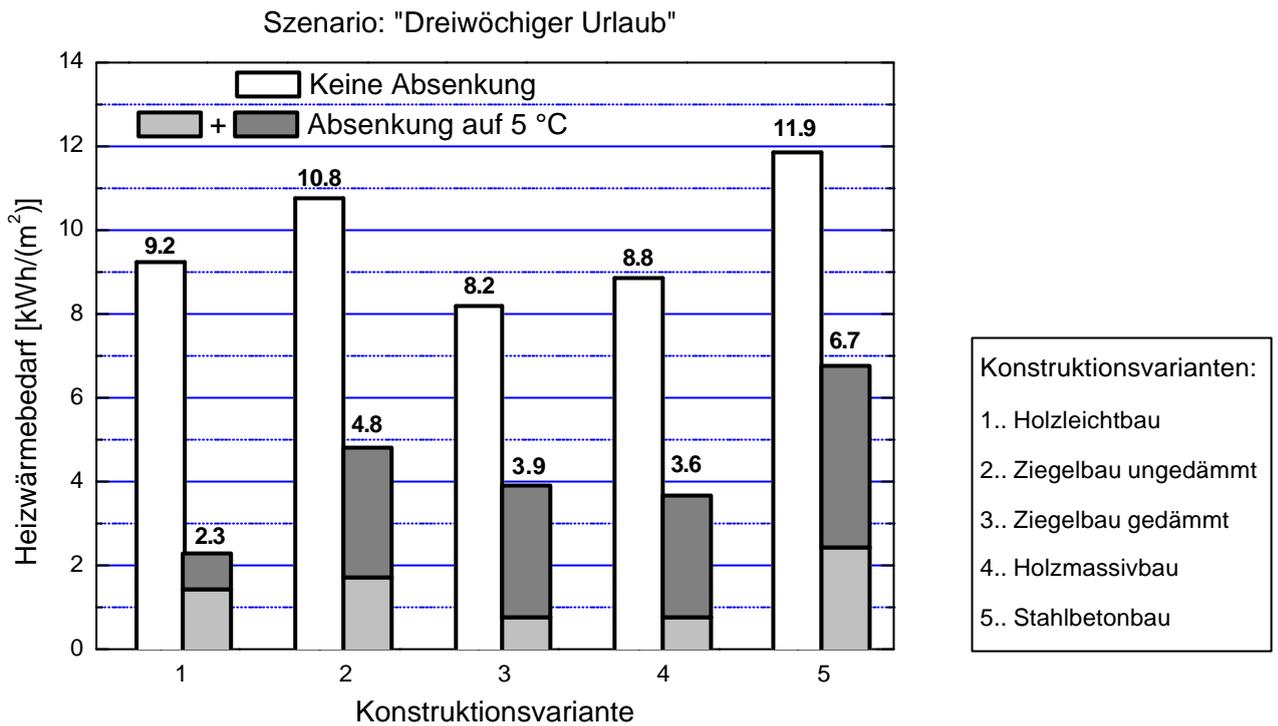


Bild 11: Heizwärmebedarf für 3 Wochen im Winter 97/98, Absenkung auf 5 °C

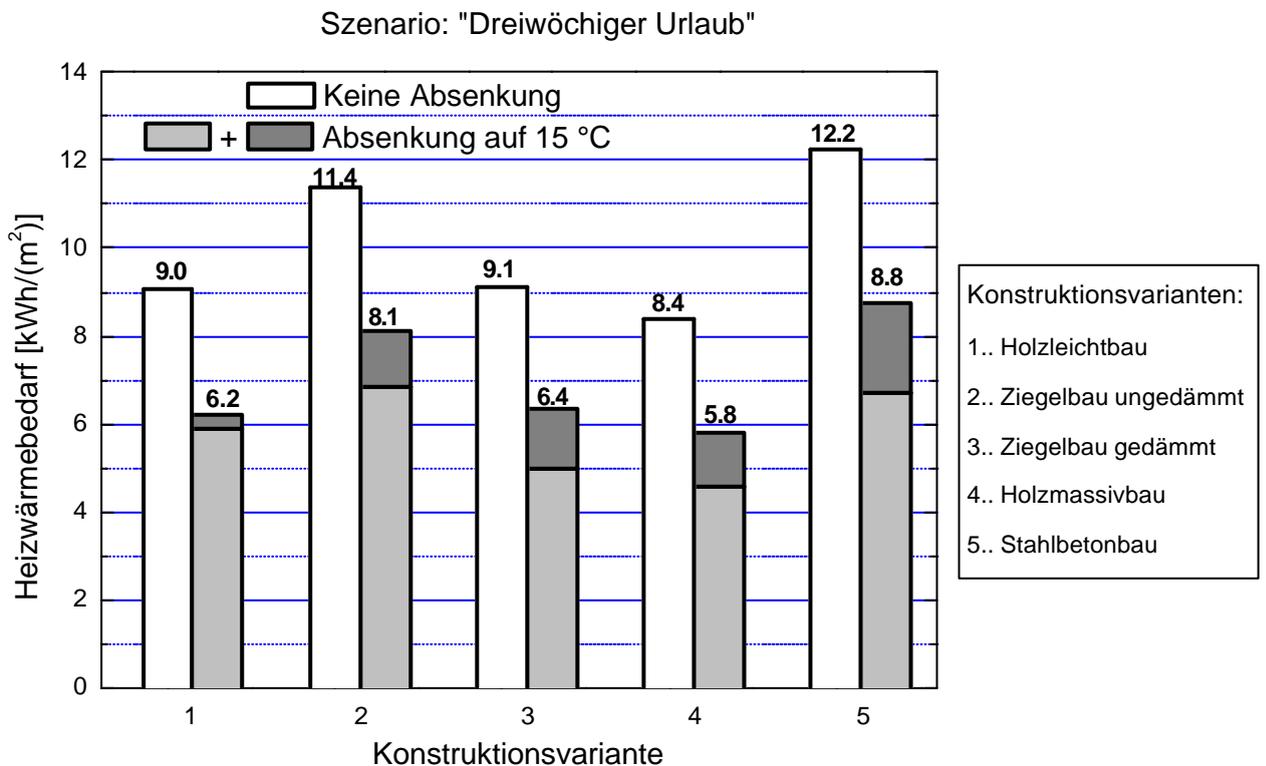


Bild 12: Heizwärmebedarf für 3 Wochen im Winter 97/98, Absenkung auf 15 °C

3.2.3 „Einwöchiger Urlaub“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 7 Tage)

Bild 13 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während einer einwöchigen Urlaubsphase vom 3. bis zum 10. Jänner 1998 im real gemessenen Klima vom Standort Graz. Der Verlauf der Außentemperatur wird durch die grau hinterlegte Fläche verdeutlicht, die durchschnittliche Außentemperatur während dieses Zeitraums betrug $-4,4\text{ °C}$.

Wie im vorhergehenden Kapitel beschreiben die roten Kurven die Verhältnisse bei einer Temperaturabsenkung auf einen Sollwert von 5 °C während die schwarzen Kurven die Verhältnisse bei einer Temperaturabsenkung auf einen Sollwert von 15 °C beschreiben. Wieder werden hier der Holzständerleichtbau (KV1) und der Stahlbetonmassivbau (KV5) gegenübergestellt. Zusätzlich ist der Verlauf der Heizlast für den Fall dargestellt, dass die Raumtemperatur nicht abgesenkt wird (blaue, strichlierte Kurve).

Wie bereits für die dreiwöchige Urlaubsphase zu bemerken war, kühlt der Stahlbetonmassivbau aufgrund seiner hohen Speichermassen innerhalb einer Woche nur sehr langsam aus, und die minimale erreichte Temperatur liegt bei $11,9\text{ °C}$ bevor die Aufheizphase einsetzt.

Die energetische Auswertung der für die oben gezeigte einwöchige Urlaubsphase ist in Bild 14 dargestellt, wobei die Bedeutung der einzelnen Balken jener in Bild 12 entspricht. Im Vergleich zur dreiwöchigen Urlaubsphase sieht man, dass der Heizwärmebedarf für die einwöchige Phase erwartungsgemäß um rund ein Drittel geringer ist. Da der Energieanteil für das Wiederaufheizen (graue Balken) jedoch absolut gesehen unverändert bleibt, ist die zu erwartende Energieeinsparung sowohl relativ als auch absolut gesehen geringer als für die dreiwöchige Urlaubsphase. Bei einer Temperaturabsenkung auf einen Sollwert von 15 °C liegt die Energieeinsparung bei rund 1 kWh/m^2 für alle 5 betrachteten Konstruktionsvarianten, während bei einer Absenkung auf einen Sollwert von 5 °C wiederum Vorteile der Leichtbauweise gegenüber der Massivbauweise sichtbar werden.

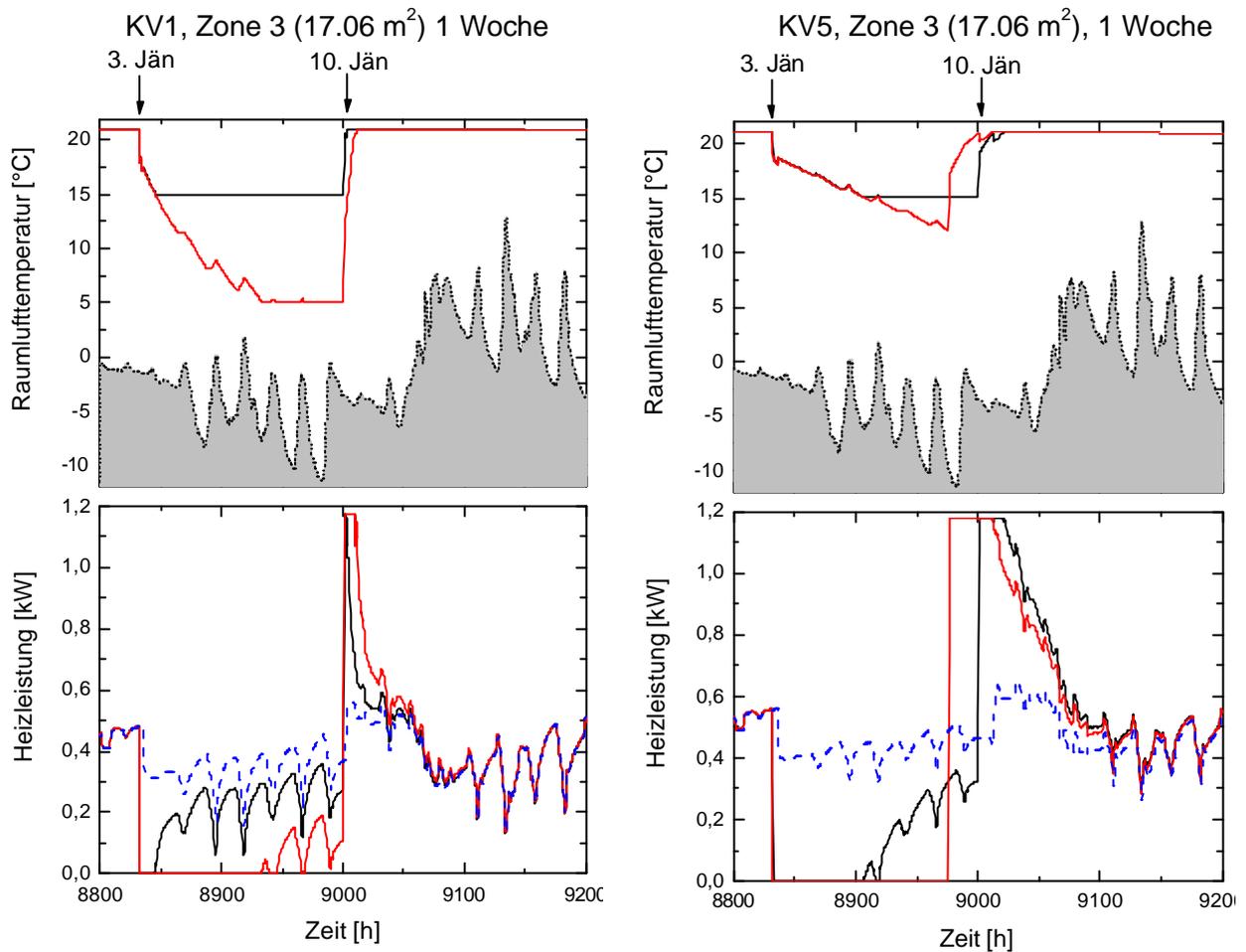


Bild 13: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) während einer einwöchigen Abkühlphase im Jänner 1998 für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schwarzen Kurven beschreiben die Verhältnisse bei Absenkung auf 15 °C, die roten bei Absenkung auf 5 °C. Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur.

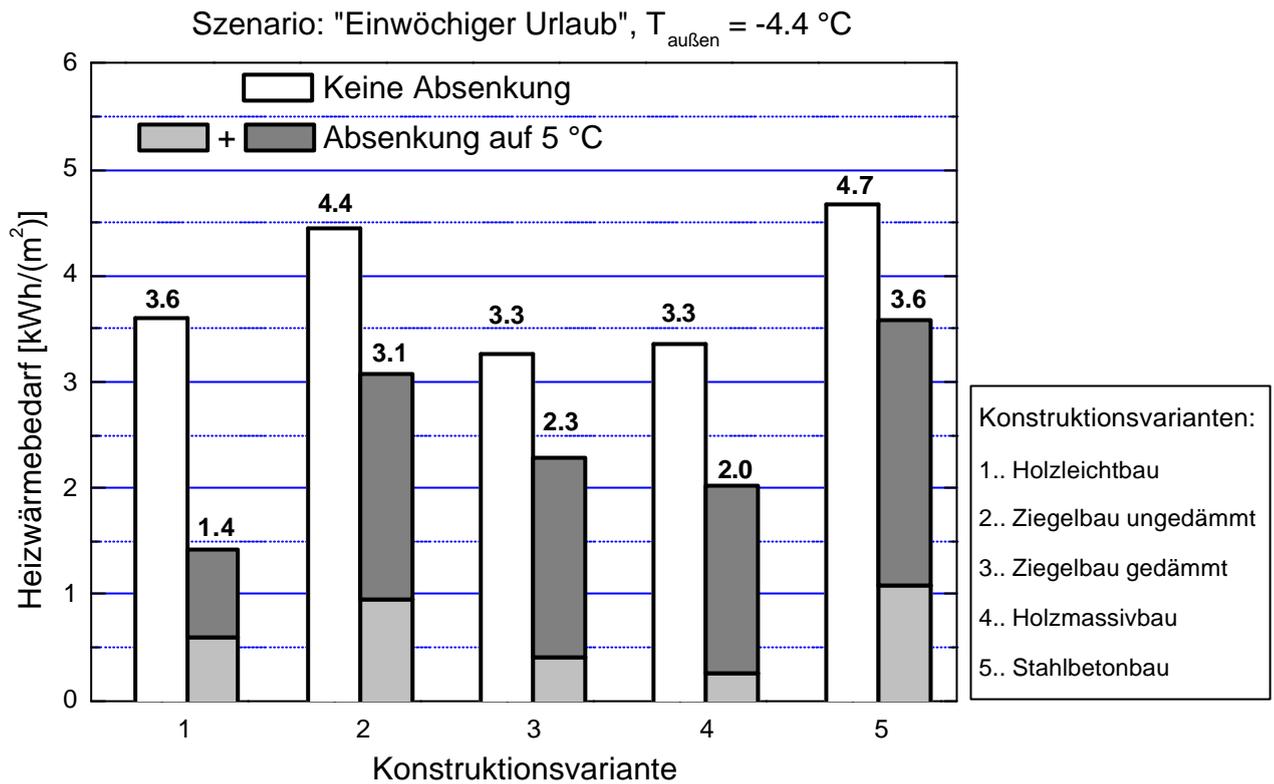


Bild 14: Heizwärmebedarf für 1 Woche im Jänner 97/98, Absenkung auf 5 °C

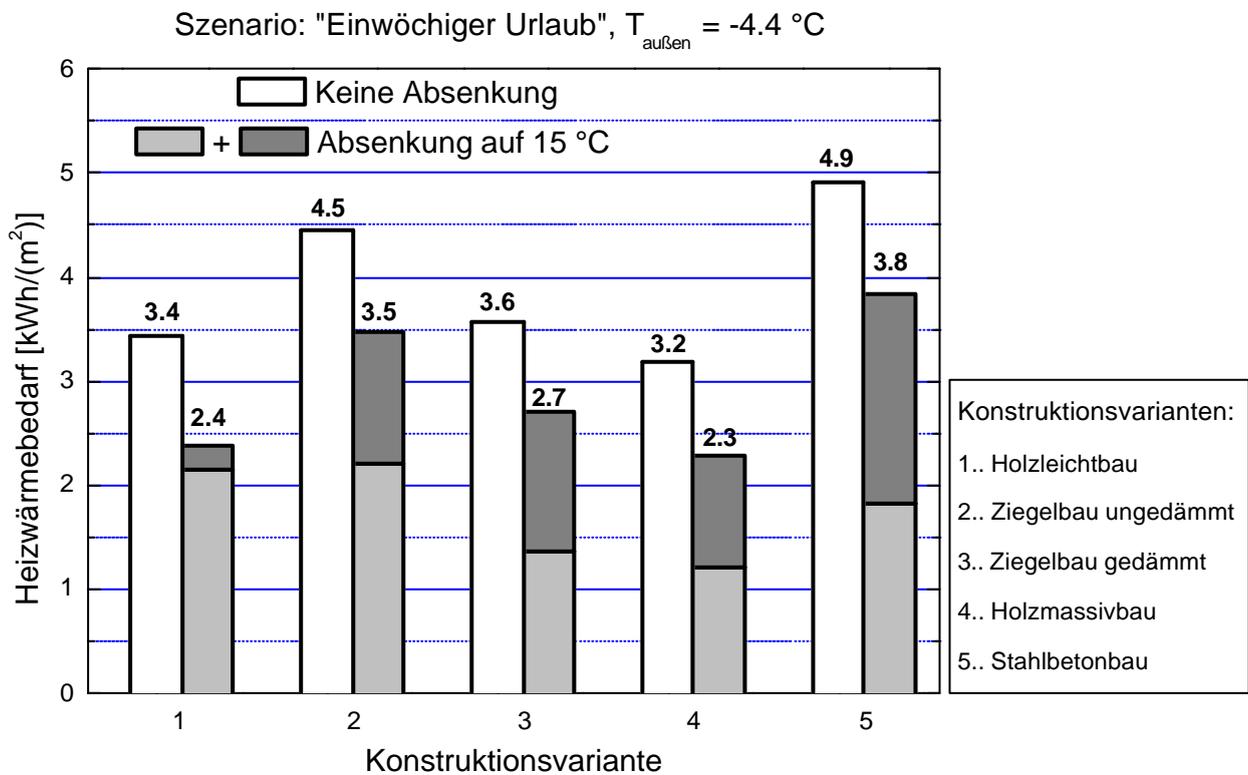


Bild 15: Heizwärmebedarf für 1 Woche im Jänner 97/98, Absenkung auf 15 °C

Die maximale Einsparung von rund 2,2 kWh/m² erwartet man wiederum für den Holzständerleichtbau (KV1) während sich die Einsparungen beim Stahlbetonmassivbau gegenüber der Absenkung auf einen Sollwert 15 °C nicht weiter steigern lassen, weil die Speichermassen keine so große Auskühlung zulassen.

Alle oben genannten Auswertungen beziehen sich auf eine einzige - im Prinzip willkürlich gewählte - Woche im Jänner 1998 mit einer durchschnittlichen Temperatur von - 4,4 °C. Die Minimal- und Maximalwerte liegen bei - 11,4 °C bzw. 1,8 °C. Es ist nun interessant den Einfluss der klimatischen Randbedingungen auf die Heizenergieeinsparung zu diskutieren. Bild 16 zeigt die Temperaturverläufe zusammen mit den Heizlastkurven während einer einwöchigen Urlaubsphase im März mit dem Klimadatensatz von Graz 1998. Die Durchschnittstemperatur liegt hier bei 3,7 °C, die Minimal- und Maximaltemperatur bei -1,3 °C bzw. 12,4 °C. Aufgrund der höheren Außentemperaturen und der größeren solaren Einträge sinkt die Raumtemperatur selbst beim Holzständerleichtbau (KV1) innerhalb dieser Woche nie unter 7,8 °C, beim Stahlbetonmassivbau bleibt die Temperatur immer über 14 °C.

Betrachtet man die energetische Auswertung für diese Märzwoche (Bilder 17 und 18), so sieht man zunächst deutlich reduzierte Heizenergien im Vergleich zur Jännerwoche aufgrund des um beinahe 8 °C höheren Durchschnittswert der Außentemperatur. Absolut gesehen bleiben jedoch die energetischen Einsparungen durch Absenken der Temperatur auf einen Sollwert von 15 °C bei rund 1 kWh/m² für alle 5 Konstruktionsvarianten, die relativen Einsparungen sind für diese Woche mit höherer Außentemperatur etwas größer. Ein Absenken der Temperatur auf einen Sollwert von 5 °C wirkt sich nur mehr für den Holzständerleichtbau (KV1) aus, da die Speichermassen der anderen Konstruktionsvarianten ein so starkes Auskühlen in der kurzen Zeit nicht zulassen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass man durch ein Absenken der Raumtemperatur auf 15 °C während einer einwöchigen Abwesenheit rund 1 kWh/m² an Heizwärme einsparen kann. Dieses Ergebnis trifft sowohl für Leichtbauweisen, wie den Holzständerleichtbau (KV1), als auch für Massivbauweisen wie die Stahlbetonkonstruktion (KV5) gleichermaßen zu. Wie die Auswertung der zwei

Wochen im Jänner (Außentemperatur $-4,4\text{ °C}$) und im März (Außentemperatur $+3,6\text{ °C}$) gezeigt haben, bleiben die Heizwärmeeinsparungen annähernd gleich groß trotz 8 °C Differenz in der Außentemperatur für diese zwei Wochen. Ein Absenken der Raumtemperatur auf 5 °C wirkt sich nur mehr für Leichtbauweisen wie zum Beispiel Holzständerleichtbau (KV1) aus, wodurch sich die Energieeinsparung auf rund $1,5 - 2,2\text{ kWh/m}^2$ für eine einwöchige Urlaubsphase steigern lassen.

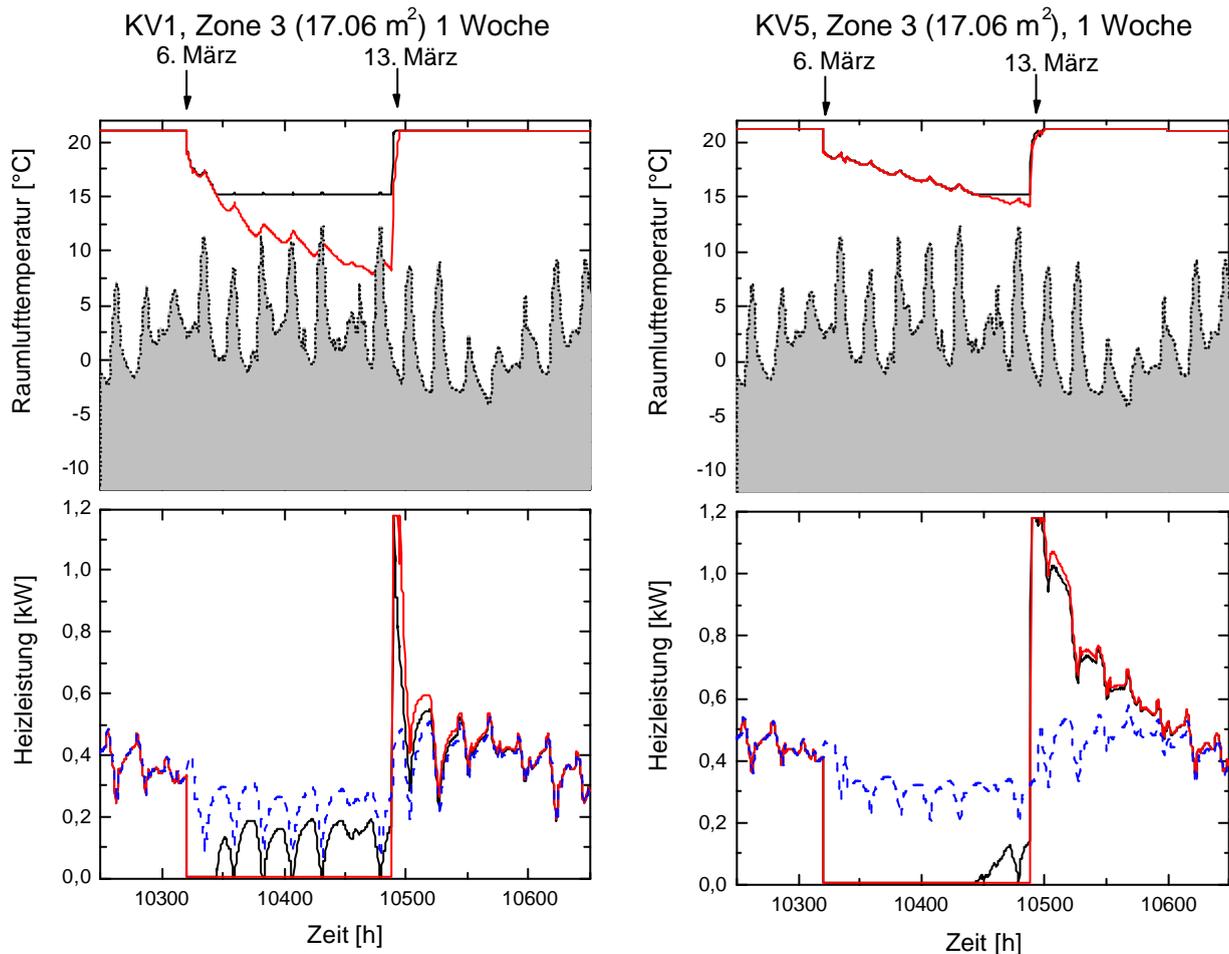


Bild 16: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) während einer einwöchigen Abkühlphase im März 1998 (vgl. Bild 13, in dem die Verhältnisse im Jänner 1998 dargestellt sind) für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schwarzen Kurven beschreiben die Verhältnisse bei Absenkung auf 15 °C , die roten bei Absenkung auf 5 °C . Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur.

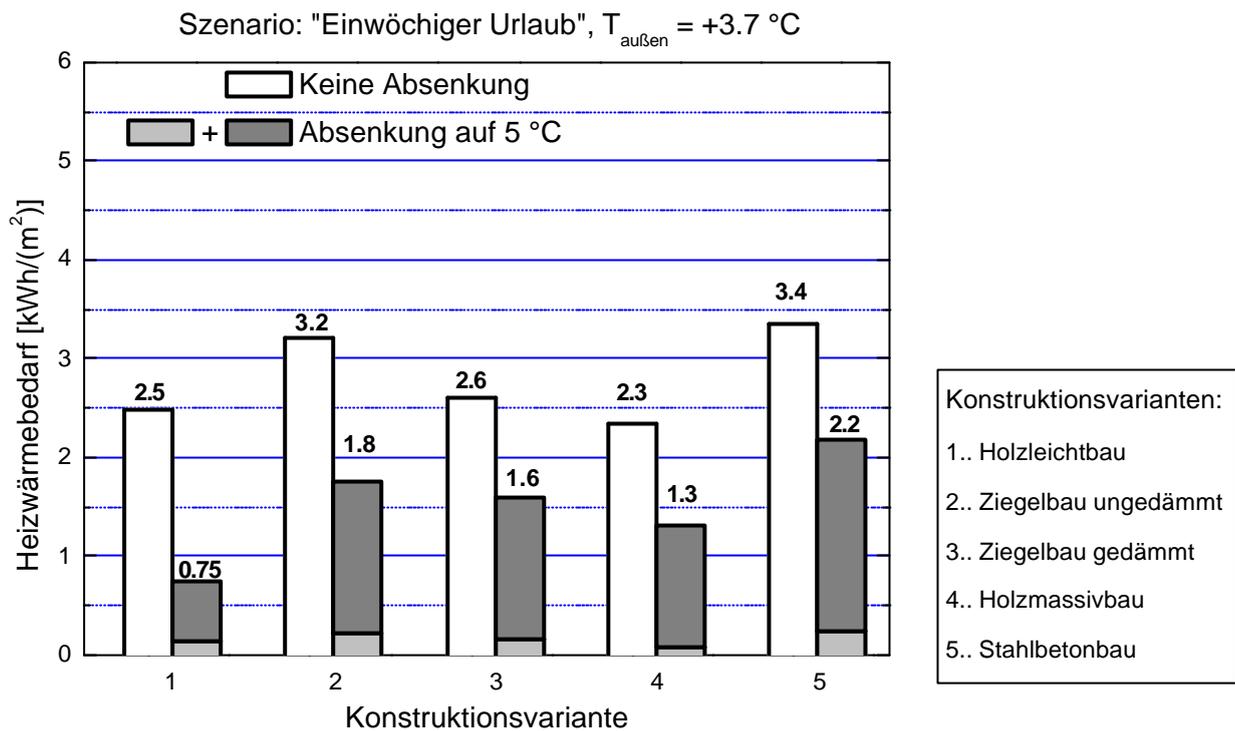


Bild 17: Heizwärmebedarf für 1 Woche im März 1998, Absenkung auf 5 °C (vgl. Bild 14, in dem die Verhältnisse im Jänner 1998 dargestellt sind)

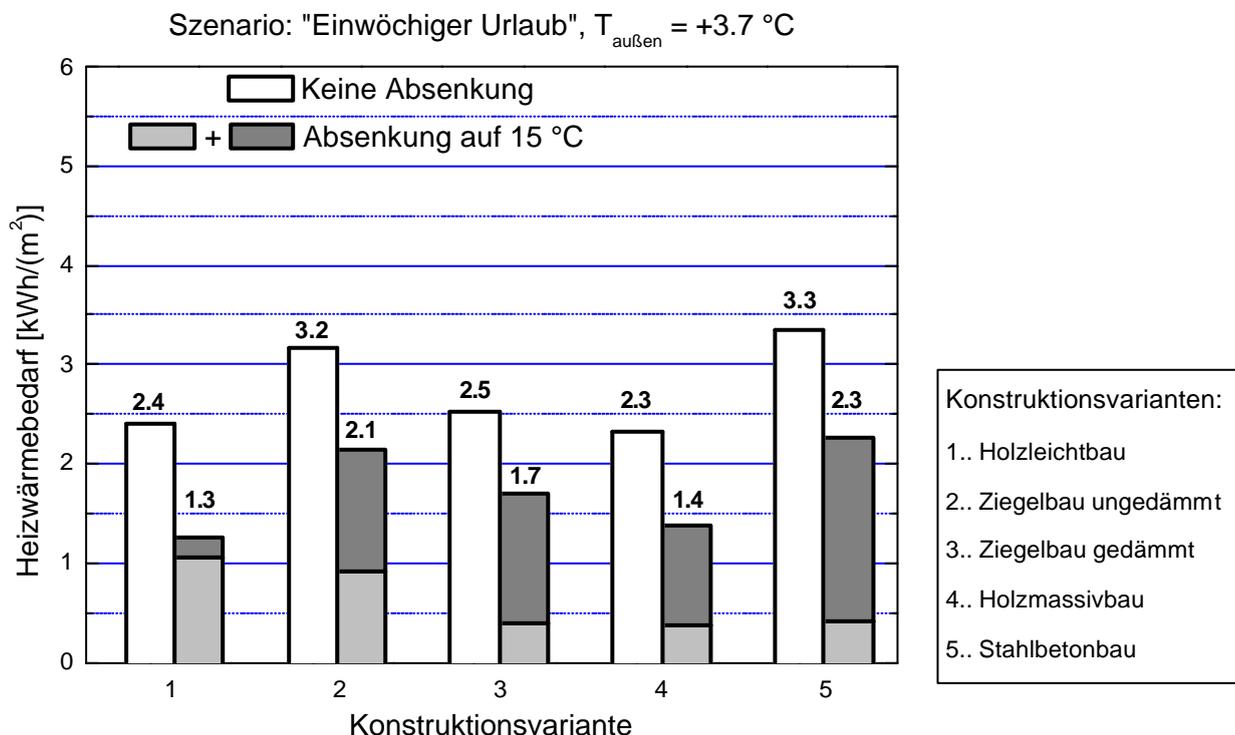


Bild 18: Heizwärmebedarf für 1 Woche im März 1998, Absenkung auf 15 °C (vgl. Bild 15, in dem die Verhältnisse im Jänner 1998 dargestellt sind)

3.2.4 „Wochenendhaus“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 5 Tage)

Bild 19 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während dreier Jännerwochen für das Testszenario „Wochenendhaus“. Im Gegensatz zu den Szenarien der letzten beiden Kapiteln handelt es sich hier um kein einmaliges Absenken der Raumtemperatur, sondern um einen periodischen Wechsel von 21 °C während der Wochenenden auf 15 °C während der Wochentage. Der in Bild 19 dargestellte Zeitraum ist nur exemplarisch herausgegriffen. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf erfolgte hingegen über ein ganzes Jahr.

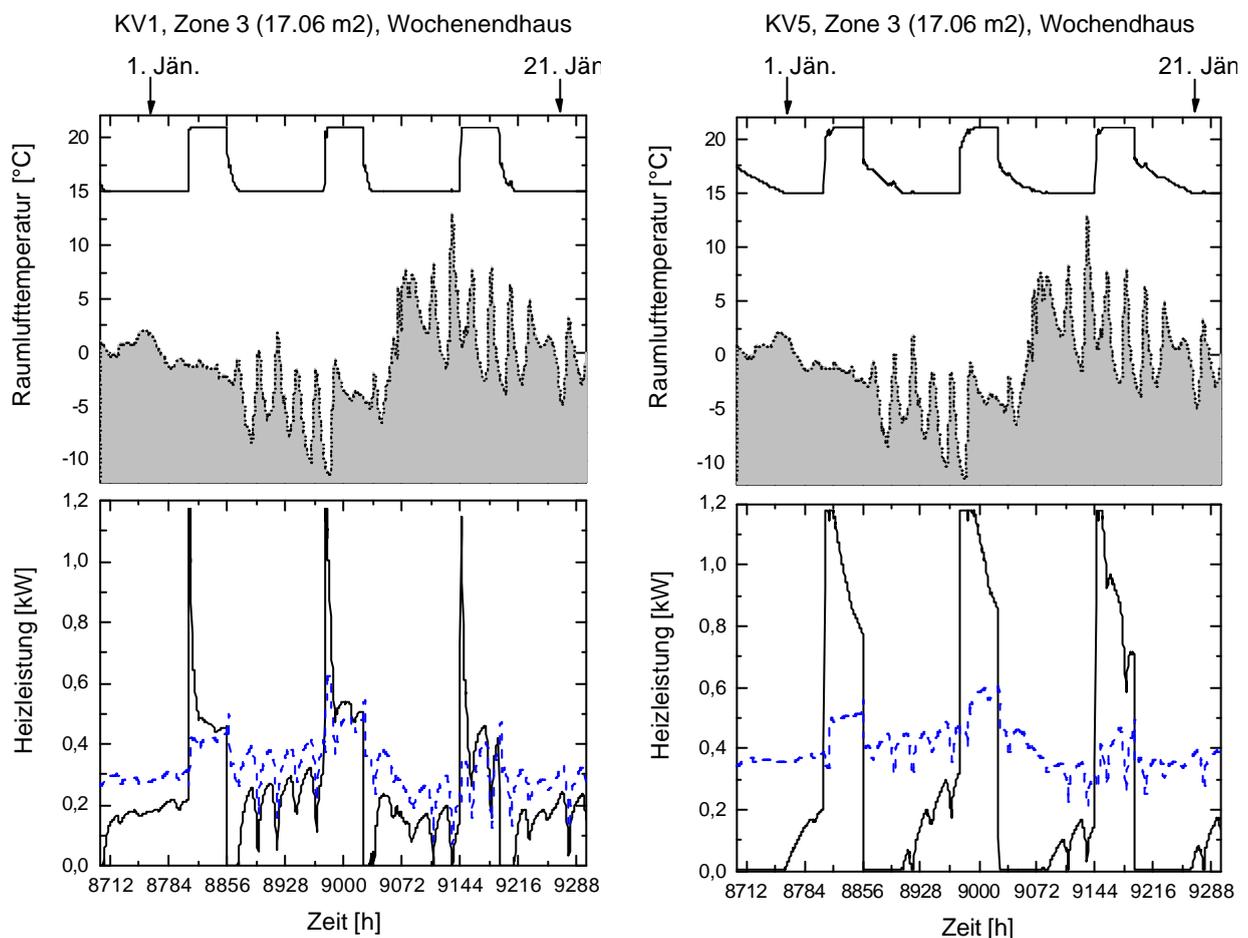


Bild 19: Temperaturverlauf (oben) und Heizlast (unten) für das Szenario „Wochenendhaus“ für drei Jännerwochen im Jahr 1998 für den Holzständerleichtbau (KV1, links) und den Stahlbetonmassivbau (KV5, rechts). Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur. Die blaue strichlierte Kurve zeigt den Heizlastverlauf ohne Temperaturabsenkung.

Bild 20 zeigt die energetische Auswertung des Jahresheizwärmebedarfs für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15 °C während der Wochentage zeigen. Die erzielbaren Einsparungen liegen zwischen 21,6 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) und bis zu 27,4 % für den Holzständerleichtbau (KV1). Das heißt, dass auch für dieses Testszenario der Leichtbau gegenüber massiveren Bauweisen leicht im Vorteil ist. Weiters ist zu bemerken, dass der Holzmassivbau (KV4) mit einer Einsparung von knapp 26 % nur geringfügig hinter der KV1 liegt, und für die betrachteten Konstruktionsvarianten mit 44,1 kWh/(m²a) den kleinsten absoluten Jahresheizwärmebedarf aufweist. Weitere Zahlenwerte können Bild 20 entnommen werden.

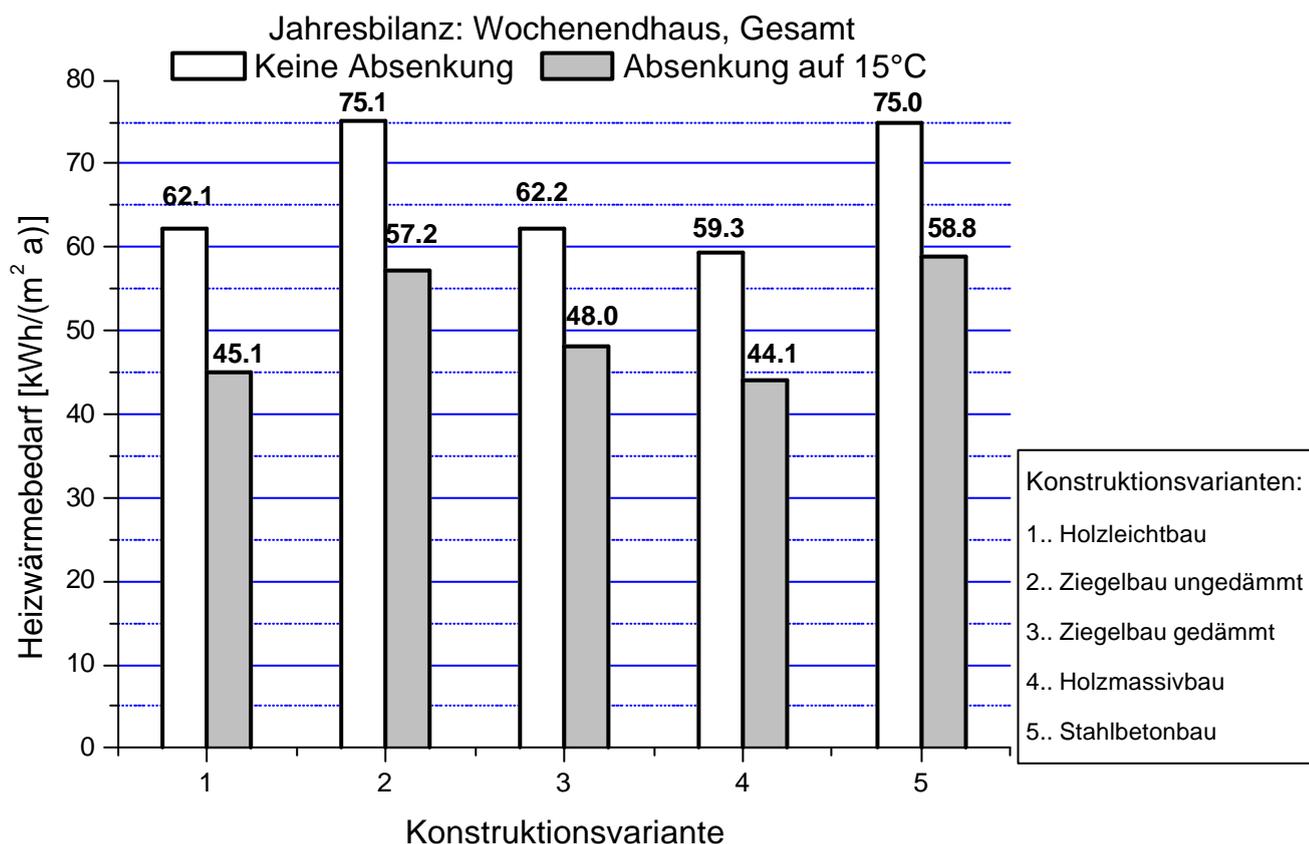


Bild 20: Jahresheizwärmebedarf (1989) für das Szenario „Wochenendhaus“ für 5 verschiedene Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15 °C bedeuten.

3.2.5 „Arbeitsdomizil“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 2 Tage)

Bild 21 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlast während dreier Jännerwochen für das Testszenario „Arbeitsdomizil“. Dieses Szenario stellt somit das Gegenstück zum „Wochenendhaus“ dar, mit 5-tägiger Heizphase auf 21 °C und 2-tägiger Abkühlphase auf 15 °C. Der in Bild 21 dargestellte Zeitraum ist wiederum nur exemplarisch herausgegriffen ist jedoch identisch mit dem in Bild 19 gezeigten. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf hingegen erfolgt ebenso über ein ganzes Jahr (Bild 22).

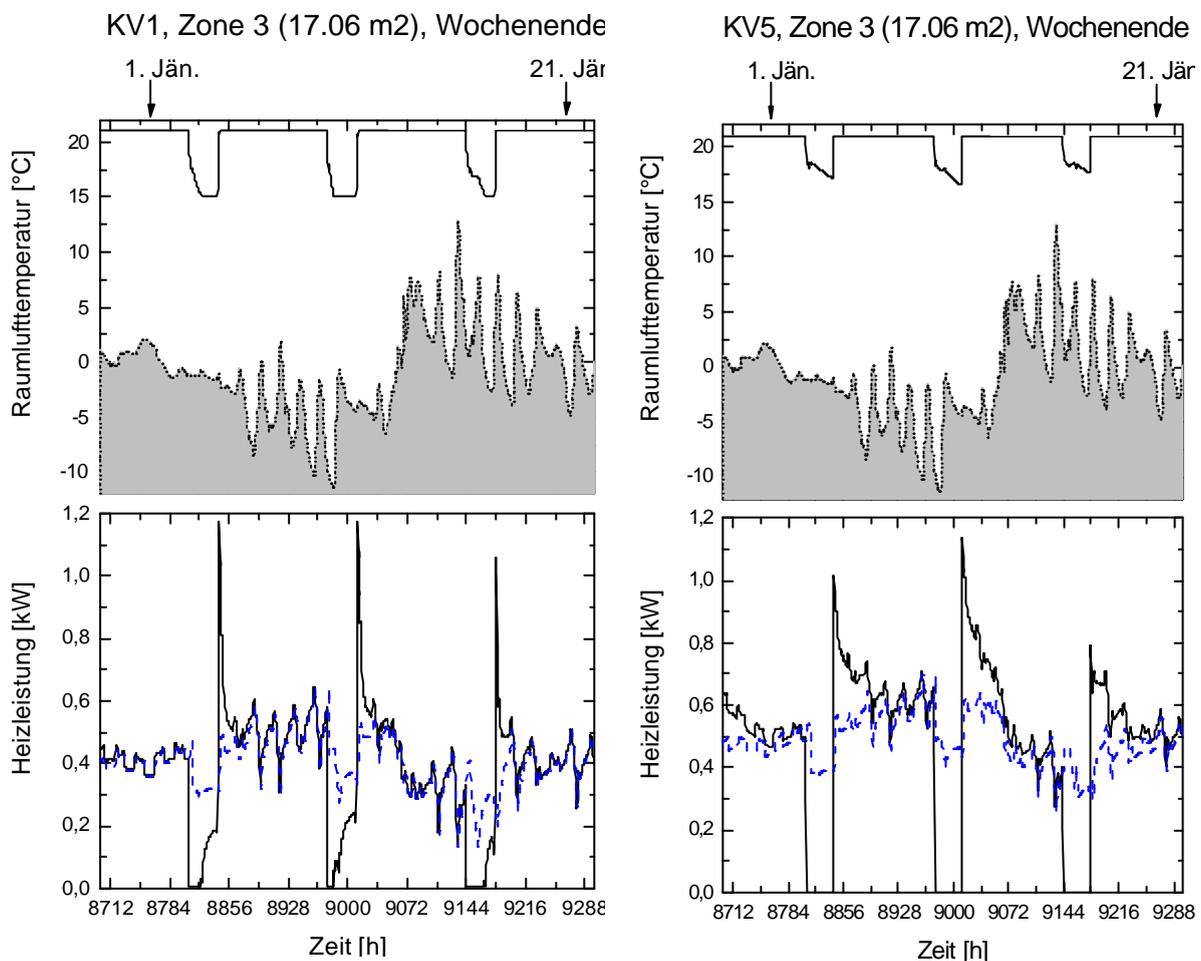


Bild 21: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) für das Szenario „Arbeitsdomizil“ für drei Jännerwochen im Jahr 1998 für den Holzständerleichtbau (KV1, links) und den Stahlbetonmassivbau (KV5, rechts). Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur. Die blaue strichlierte Kurve zeigt den Heizlastverlauf ohne Temperaturabsenkung.

Im Vergleich zum Szenario „Wochenendhaus“ ist das Einsparungspotential naturgemäß kleiner, da das Verhältnis zwischen beheizter (21 °C) zu unbeheizter (15 °C) Zeit im „Wochenendhaus“ günstiger ist als für das Szenario „Arbeitsdomizil“. Der Vorteil der Leichtbauweise gegenüber der Massivbauweise ist hier auch ausgeprägter. Die erzielbaren Einsparungen liegen zwischen 3,4 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) und bis zu 6,6 % für den Holzständerleichtbau (KV1). Das liegt daran, dass aufgrund der Speichermassen der Massivbauweise die Raumtemperatur während der Wochenenden nicht so weit absinkt wie bei der Leichtbauweise und daher die Transmissionsverluste für erstere höher sind. Absolut betrachtet erzielt wiederum die Holzmassivkonstruktion (KV4) den kleinsten Jahresheizwärmebedarf, wobei die Einsparungen gegenüber dem Vergleichsszenario bei immerhin 5,3 % liegen.

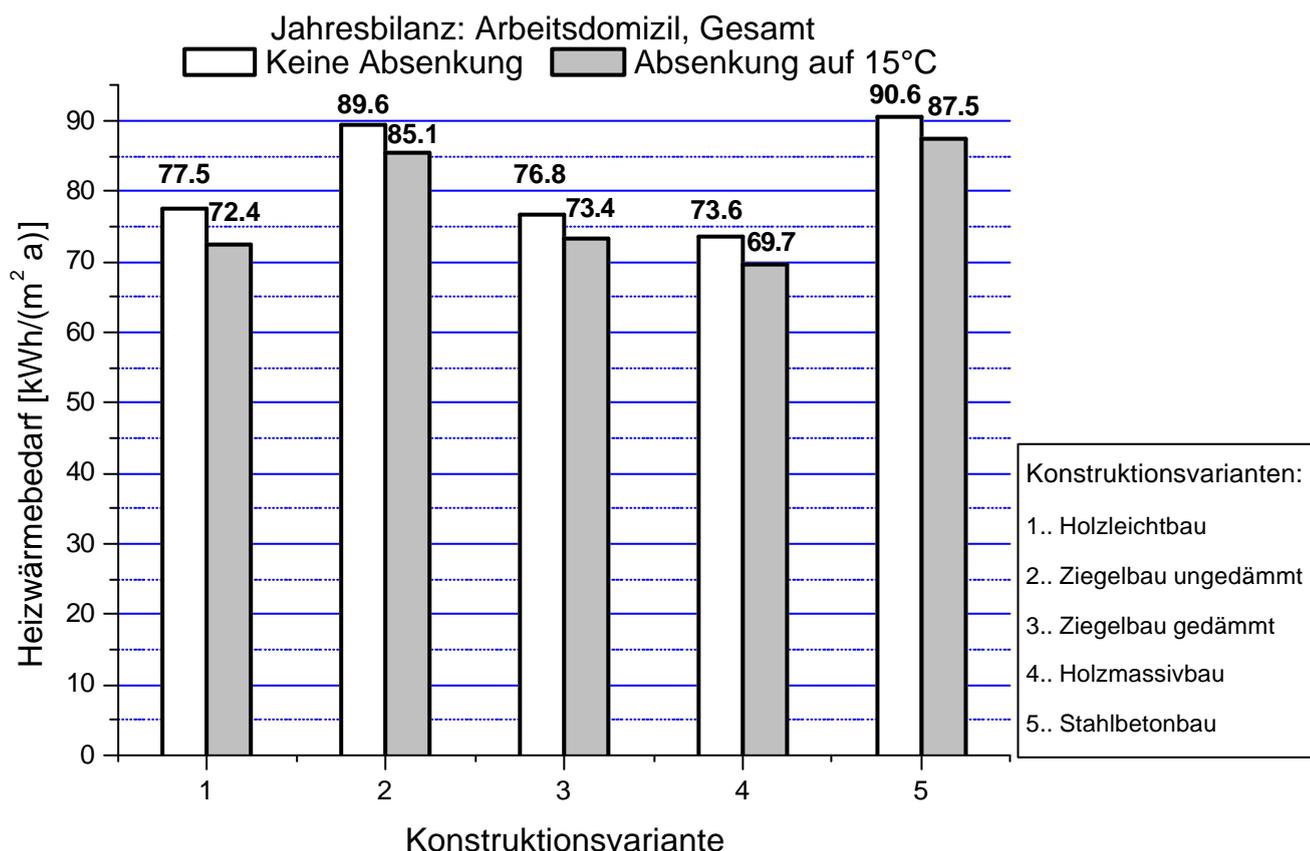


Bild 22: Jahresheizwärmebedarf (1989) für das Szenario „Arbeitsdomizil“ für 5 verschiedene Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15 °C bedeuten.

3.2.6 „Tagesabsenkung“ (Dauer der Temperaturabsenkung: 11 Stunden)

Bild 23 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlast für 8 Jännertage im Jahr 1998 für das Testszenario „Tagesabsenkung“. Es handelt es sich auch hier um einen periodischen Wechsel von 15 °C während der Arbeitszeit auf 21 °C während der Abend- und Nachtstunden. Der in Bild 23 dargestellte Zeitraum ist wiederum nur exemplarisch. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf hingegen erfolgt ebenso über ein ganzes Jahr (Bild 24).

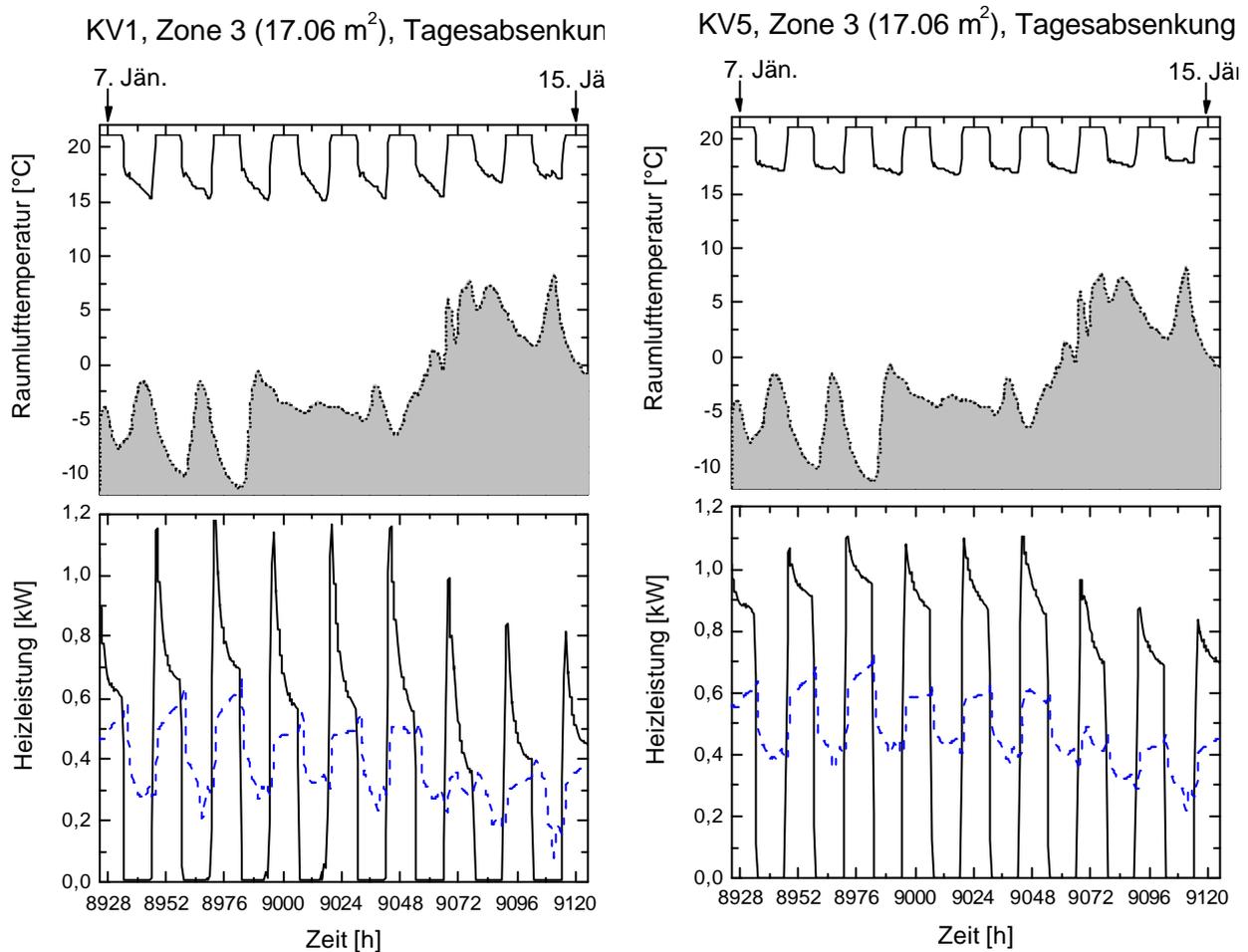


Bild 23: Temperaturverlauf (oben) und Heizlast (unten) für das Szenario „Tagesabsenkung“ für 8 Jännertage im Jahr 1998 für den Holzständerleichtbau (KV1, links) und den Stahlbetonmassivbau (KV5, rechts). Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur. Die blaue strichlierte Kurve zeigt den Heizlastverlauf ohne Temperaturabsenkung.

Die erzielbaren Einsparungen liegen hier zwischen 9,4 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) und bis zu 12,1 % für den Holzständerleichtbau (KV1). Im Vergleich zum Szenario „Arbeitsdomizil“ sind die erreichbaren Einsparungen hier wiederum größer, da das Verhältnis der Perioden mit 15 °C bzw. 21 °C hier wieder größer ist. Der Vorteil der Leichtbauweise ist wiederum dadurch bedingt, dass Leichtbauten schneller auskühlen und somit geringere Transmissionsverluste aufweisen. Auch hier schneidet die betrachtete Holzmassivkonstruktion (KV4) mit einer Einsparung von 8,2 kWh/(m²a), das sind rund 11,6 %, nur geringfügig schlechter ab als der Holzständerleichtbau (KV1). Absolut gesehen erreicht sie sogar den kleinsten Jahresheizwärmebedarf mit 62,7 kWh/(m²a).

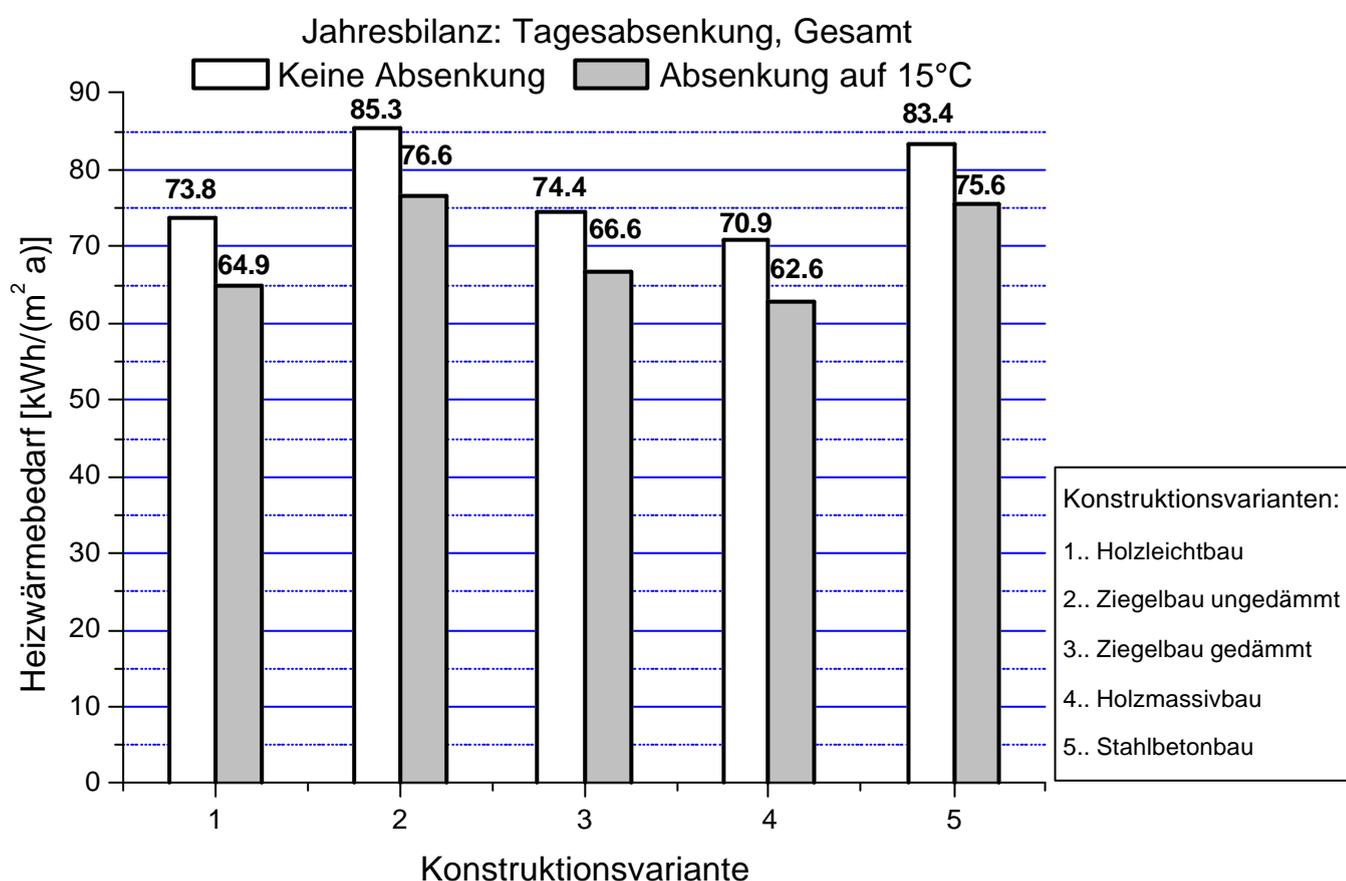


Bild 24: Jahresheizwärmebedarf (1989) für das Szenario „Tagesabsenkung“ für 5 verschiedene Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15 °C bedeuten.

3.2.7 Nachtabsenkung (Dauer der Temperaturabsenkung: 5 Stunden)

Bild 25 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlast für 8 Jännertage 1998 für das Testszenario „Nachtabsenkung“. Es handelt es sich auch hier um einen periodischen Wechsel von 15 °C während der Nachtstunden und auf 21 °C während der Tagesstunden. Der in Bild 25 dargestellte Zeitraum ist wiederum nur exemplarisch, jedoch identisch mit dem für das Szenario „Tagesabsenkung“. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf hingegen erfolgt ebenso über ein ganzes Jahr (Bild 26).

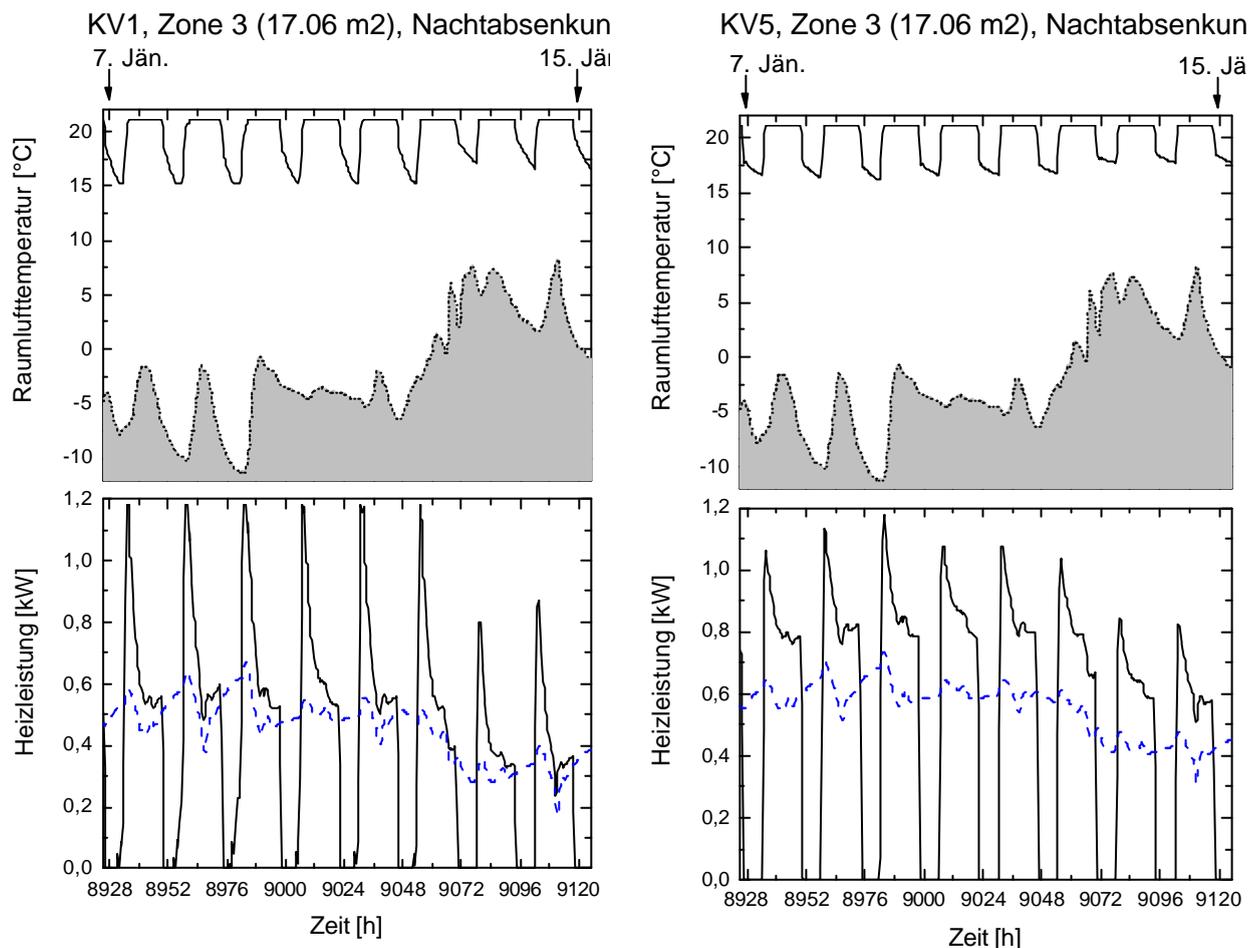


Bild 25: Temperaturverlauf (oben) und Heizlast (unten) für das Szenario „Nachtabsenkung“ für 8 Jännertage im Jahr 1998 für den Holzständerleichtbau (KV1, links) und den Stahlbetonmassivbau (KV5, rechts). Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur. Die blaue strichlierte Kurve zeigt den Heizlastverlauf ohne Temperaturabsenkung.

Die erzielbaren Einsparungen liegen hier zwischen 8,6 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) bis zu 11,3 % für den Holzständerleichtbau (KV1), sind also vergleichbar mit den für das Szenario „Tagesabsenkung“ erzielten Werten. Der Vorteil der Leichtbauweise ist wiederum dadurch bedingt, dass Leichtbauten schneller auskühlen und somit geringere Transmissionsverluste aufweisen. Auch hier schneidet die betrachtete Holzmassivkonstruktion (KV4) mit einer Einsparung von 7,5 kWh/(m²a), das sind rund 9,9 %, nur geringfügig schlechter ab als der Holzständerleichtbau (KV1). Absolut gesehen erreicht sie wieder den kleinsten Jahresheizwärmebedarf mit 68,6 kWh/(m²a).

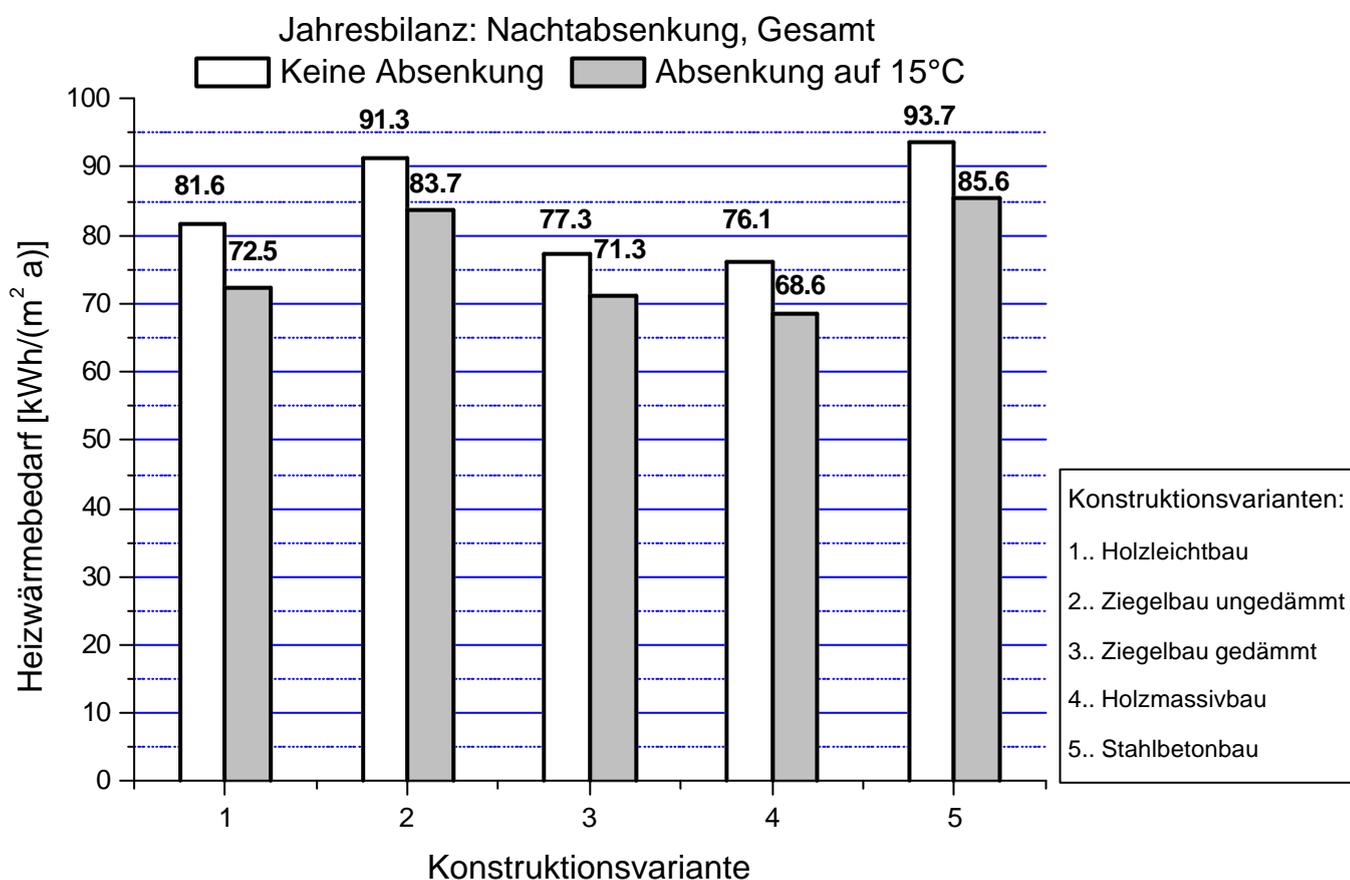


Bild 26: Jahresheizwärmebedarf (1989) für das Szenario „Nachtabsenkung“ für 5 verschiedene Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15 °C bedeuten.

4 EXTERNES ENERGIEMANAGEMENT DES „HAUSES DER ZUKUNFT“

Dieser Arbeitsschritt hatte die Analyse der Möglichkeiten und Auswirkungen der Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“ über innovative Informationstechnologien von außen zum Gegenstand.

Diese Einflussnahme kann grundsätzlich entweder manuell oder automatisch erfolgen. Diese beiden Varianten werden in den nachstehenden Abschnitten 4.1 und 4.2 beschrieben.

4.1 Manuelle externe Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“

Die manuelle externe Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“ kann sich beispielsweise wie folgt abspielen:

- Der Bewohner schickt eine Botschaft per Mobiltelefon an seine Haustechnik, dass er in ca. 1 Stunde zu Hause sein wird und Warmwasser braucht. Dieses wird daraufhin zeitgerecht erwärmt. Damit muss der Boiler nicht während der gesamten Abwesenheit eingeschaltet sein, nur damit man bei der Rückkehr warmes Wasser vorfindet.
- Der Bewohner kommt wider Erwarten einen Tag verspätet von einer Reise zurück. Er schickt per Mobiltelefon eine Botschaft an die Haustechnik seines Hauses, die das Wärmemanagement um einen Tag später von einem „Frostschutzprogramm“ auf ein „Wohnprogramm“ umstellt.
- Der Bewohner ist mit seiner Familie auf der Rückfahrt von einem Schiausflug. Die Kinder sind durchnässt und durchfrozen, alle freuen sich auf einen „gemütlich-warmen“ Platz. Der Bewohner schickt darauf hin eine Botschaft an seine Haustechnik, dass in zumindest einem Raum, die Temperatur von den „normalen“ 20 °C auf einen entsprechend höheren Wert angehoben werden soll.

Natürlich sollen hierbei auch die Informationen in der anderen Richtung berücksichtigt werden. Damit ist gemeint, dass man über das Mobiltelefon oder die eigene Homepage den momentanen Zustand seiner Haustechnik in Bezug auf das

Energiemanagement abfragen kann. Darüber hinaus ermöglicht die Abfrage bzw. automatische Übertragung von Informationen über die Haustechnik bzw. deren Sensorik von außen die Fernüberwachung deren ordnungsgemäßen Betriebs.

4.2 Automatische externe Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“

Automatische externe Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“ ist mit Hilfe von Techniken, die mit dem Begriff „Location Awareness“ (Positionsbestimmung) erfasst werden, möglich.

Unter „Location Awareness“ versteht man die Möglichkeit, die momentane Position einer Person automatisch zu erfassen. Die bekanntesten Einsatzmöglichkeiten sind die allorts anzutreffenden automatischen Türöffner, automatisch betriebenen Spüleinrichtungen im Sanitärbereich und die automatischen „Hofbeleuchtungen“. Solche Sensoren sind aufgrund ihrer geringen Reichweite für das externe Energiemanagement des Hauses der Zukunft nicht geeignet. Sehr wohl sind sie aber für das interne Energiemanagement des Hauses der Zukunft geeignet (siehe Abschnitt 3).

Für Location Awareness werden, je nach dem, wie groß der Bereich ist, in dem eine Person erfasst werden soll, unterschiedliche Techniken eingesetzt:

- Satellitengestützte Navigationssysteme (GNSS) (Siehe Abschnitt 4.2.1)
- Lokalisierung durch Mobilfunkbetreiber (Siehe Abschnitt 4.2.2)

4.2.1 Positionsbestimmung mittels satellitengestützter Navigationssysteme (GNSS, GPS)

Das bekannteste – und derzeit das einzige im operativen Betrieb stehende – satellitengestützte Navigationssystem ist das vom amerikanischen Verteidigungsministerium betriebene GPS (Global Positioning System).

Der Vollständigkeit halber seien an dieser Stelle auch das europäische „Galileo“ sowie das russische „Glonass“ erwähnt. Beide sind jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht einsatzbereit. Galileo befindet sich erst in der Aufbauphase. Glonass war zwar in den 90er Jahren in Betrieb, hat derzeit aber nur mehr sechs funktionsbereite Satelliten im Orbit. Die weiteren Ausführungen in diesem Kapitel beziehen sich daher ausschließlich auf das amerikanische GPS.

GPS ist für die „Local Awareness“ zum Zweck der automatischen Einflussnahme auf die energetisch relevanten Komponenten des „Houses der Zukunft“ grundsätzlich sehr gut geeignet. Allerdings geben die GPS-Systeme zunächst nur dem Benutzer, der den GPS-Empfänger mit sich führt, seine momentane Position an. Damit auch eine vom Träger des GPS-Empfängers entfernte Person bzw. in gegenständlichen Fall das „Haus der Zukunft“ zu dieser Information kommt, muss diese erst noch einmal übertragen werden. Dies könnte zum Beispiel durch automatisch gesendete Short-Messages über ein Mobiltelefon oder über einen weiteren Informationskanal erfolgen. Dies wird – überwiegend in den USA – für folgende Einsatzfälle bereits angewendet:

- Überwachung des Aufenthaltsorts von Personen, z. B. aus Sicherheitsgründen (z. B. Kinder, Alzheimerkranke, Behinderte etc.) und
- Erfassung des Standortes von Fahrzeugen zum Beispiel aus Gründen der Diebstahlsicherung oder aus Gründen der Optimierung der Logistik bei Taxibetrieben, Speditionen, etc.

Mit einem solcherart „erweiterten“ GPS ist die Übertragung der Information über den Aufenthalt des Trägers des GPS an das „Haus der Zukunft“ realisierbar.

Beschreibung von GPS

GPS besteht aus drei „Segmenten“, dem für die Steuerung zuständigen Steuersegment (Control Segment), dem Weltraumsegment (Space Segment), welches die Satelliten umfasst und dem Benutzersegment (User Segment). Das Benutzersegment besteht im eigentlichen Sinn nur aus den militärischen GPS-

Empfängern, jedoch werden auch die heute weit verbreiteten zivilen GPS-Empfänger hinzugerechnet.

Das Raumsegment besteht derzeit aus 21 Satelliten (+ 3 in Reserve) welche in sechs verschiedenen, zum Äquator 55° geneigten Bahnebenen in ca. 20200 km Höhe über der Erdoberfläche kreisen.

Funktionsweise von GPS

Die Satelliten senden in regelmäßigen Abständen Signale mit der genauen Zeit ihrer internen Atomuhren aus. Aus dem Unterschied dieser Zeitstempel und der internen Uhr wird von den GPS-Empfängern die Laufzeit der Signale und damit die Entfernung („Pseudorange“) von den Satelliten ermittelt. Aus diesen Pseudorange kann dann die aktuelle Position ermittelt werden.

Die zu lösende Gleichung besitzt vier Unbekannte, die x-, y- und z-Koordinaten sowie die genaue aktuelle Uhrzeit, da die interne Uhr des Empfängers mit den Uhren der Satelliten synchronisiert werden muss. Daher ist für eine Positionsbestimmung die gleichzeitige Sichtbarkeit von vier Satelliten notwendig. Unter bestimmten Annahmen (z. B. dass sich die Höhe seit der letzten Messung nicht geändert hat) genügen drei sichtbare Satelliten.

Genauigkeit des GPS

Die Genauigkeit der ermittelten Position hängt von der Sichtbarkeit der Satelliten und deren geometrischer Position zueinander ab. Satellitenkonstellationen bei welchen die sichtbaren Satelliten über den gesamten Himmel „verteilt“ sind, sorgen für eine höhere Genauigkeit als wenn sie in einer Linie „aufgefädelt“ sind.

Im Normalfall kann man mit einer (Un-)Genauigkeit von 10 bis 15 Metern in der Position und etwa dem 2.5-fachen Wert für die Höheninformation rechnen. Die Witterungsbedingungen spielen dabei keine wesentliche Rolle.

Aufgrund der höheren Abschattungen („Urban Canyons“) ist die Genauigkeit in dicht bebautem Gebiet geringer als auf freier Fläche.

Selective Availability

Da GPS vom amerikanischen Verteidigungsministerium für militärische Zwecke betrieben wird, besteht für die zivile Nutzbarkeit keinerlei Garantie. Wirtschaftliche Interessen der USA lassen eine Abschaltung des GPS-Signals für zivile Nutzer jedoch als unwahrscheinlich erscheinen.

Da jedoch ein System wie GPS im militärischen Krisenfall einen strategischen Vorteil bedeutet, ist es möglich, das Signal für zivile Nutzer künstlich zu verschlechtern. Diese so genannte „Selective Availability“ (S/A) war bis zum April 2000 aktiviert. Sie reduziert die Genauigkeit der Positionsbestimmung auf etwa 200m. Sie wurde jedoch während des Golfkriegs 1991 abgeschaltet, um den US-Militärs auch den Einsatz von handelsüblichen GPS-Empfängern zu ermöglichen, da damals noch nicht genügend militärische Empfänger zur Verfügung standen. Vor und während des Irak-Krieges 2003 wurde zwar über die erneute Aktivierung der S/A spekuliert, dies geschah jedoch bis heute nicht.

Erste Positionsermittlung nach dem Einschalten des Empfängers – Time to First Fix (TTFF)

Wird der GPS-Empfänger eingeschaltet, kann die erste Berechnung einer Position prinzipiell erst dann erfolgen, wenn bestimmte Informationen über die Satellitenbahnen übertragen wurden. Dies sind:

- Almanach Daten, darunter versteht man bildlich gesprochen den „Fahrplan“ der Satelliten, also welche Satelliten wann sichtbar sind. Diese Daten haben eine Gültigkeit von ca. 6 Monaten. Ein voller Download der Almanach Daten kann bis zu 15 Minuten dauern.
- Ephemeriden Daten, verfeinerte Voraussagen über die genauen Satellitenbahnen. Diese Daten sind etwa sechs Stunden gültig und werden im 30 Sekunden Rhythmus von den einzelnen Satelliten gesendet.

Es werden vier verschiedene Start-Modi, „Factory“, „Cold“, „Warm“ und „Hot“ unterschieden:

- Unter „Factory“ versteht man das erstmalige Einschalten des Geräts (bzw. nach mehr als 6-monatigen Betriebspausen). In diesem Fall müssen die Almanach Daten und die Ephemeriden Daten eingelesen werden.
- „Cold“ bedeutet, dass zwar noch die Almanach Daten vorhanden sind, die Ephemeriden Daten aber bereits ungültig sind und neu geladen werden müssen.
- War der GPS-Empfänger vor kurzem eingeschaltet und sind die Ephemeriden Daten noch teilweise oder vollständig gültig, spricht man von einem „Warm“ bzw. „Hot“ Start.

Die Dauer dieser Ladevorgänge ist natürlich von den allgemeinen Empfangsbedingungen (Abschattungen) abhängig, die Zeit bis zur ersten Positionsbestimmung hängt aber auch vom Zeitpunkt des letzten Betriebs des Empfängers ab. Im gegenständlichen Fall (z. B. Einbau des GPS-Empfängers in eine Auto) werden die Startmodi Cold (etwa beim Wegfahren in der Früh) sowie Hot und Warm auftreten. Die Ladedauer wird daher im Bereich von höchstens einer Minute liegen.

Diese Ladezeiten können durch die Verwendung von A-GPS (Assisted GPS) reduziert werden, da dabei die Daten über einen getrennten Kanal (z. B. Mobilfunk) schneller und unabhängig von eventuellen Satellitenabschattungen übertragen werden.

Übertragung der Positionsinformationen

Da ein GPS-Empfänger selbst keine Daten übertragen kann, muss für die Übertragung von Positionsinformationen ein anderes Medium benutzt werden. Dazu könnte z. B. herkömmliche GSM-, GPRS- (General Packet Radio Services) oder UMTS-Technologie (Universal Mobile Telecommunications Service) benutzt werden. Es befinden sich auch schon einige Mobiltelefone mit eingebautem GPS-Empfänger am Markt.

Systeme & Kosten

Handelsübliche GPS-Empfänger gibt es – je nach Funktionalität – ab ca. 100,- € (Stand Nov. 2003). Für den gegebenen Anwendungsfall genügt ein GPS-Empfänger ohne Display (eine sog. GPS-Maus), welcher nur die aktuellen Positionsdaten über eine serielle Schnittstelle oder drahtlos (z. B. via Bluetooth) ausgibt und fix in ein Auto eingebaut werden kann (Windschutz- oder Heckscheibe).

Die Nutzung des GPS-Dienstes selbst ist nicht gebührenpflichtig.

Vor- bzw. Nachteile

- Die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist mit ca. 10 bis 15 m im Idealfall relativ hoch und damit mehr als ausreichend für die gegebene Anwendung.
- GPS funktioniert an jedem Punkt der Erde mit freier Sicht zum Himmel.
- Die Nutzung von GPS selbst ist zwar kostenfrei, zur Übertragung der Positionsinformation wird ein zusätzlicher externer Kanal benötigt. Nutzt man hierzu herkömmliche Mobilfunktechnologien fallen hier zusätzliche Kosten an.

4.2.2 Positionsbestimmung mittels Mobilfunkbetreiber (LBS - Services)

Da in der heutigen Zeit ein großer Teil der Bevölkerung ein Mobiltelefon besitzt und diese je nach Aufenthaltsort mit verschiedenen Basisstationen in Verbindung stehen, kann man auch daraus Positionsinformationen ableiten.

Jedes Mobiltelefon sendet in bestimmten Zeitabständen (ca. 15 Minuten) ohne Wissen des Benutzers eine Art „Positionssignal“ aus, das von den nächstgelegenen „Handymasten“ empfangen wird. Dadurch wird die Position des Benutzers des Mobiltelefons in dem von ihm benutzten Netz erfasst. Anrufe an Mobilfunkteilnehmer müssen somit nicht grundsätzlich über die ganze Welt „verstreut“ werden, sondern können selektiv über jenen „Handymasten“, der sich in nächster Nähe zum angerufenen Mobilfunkteilnehmer befindet, erfolgen.

Das heißt nichts anderes, als dass die Position jedes Mobilfunkteilnehmers (sofern er sich überhaupt im Wirkungsbereich eines Mobilfunknetzes befindet) ohne technische Zusatzeinrichtungen bzw. -maßnahmen dem Mobilfunknetz grundsätzlich bekannt ist. Darüber hinaus verfügen auch die GSM-Systeme über eigene Informations-

kanäle, in denen diese Information weitergegeben und entsprechend genutzt werden kann.

Die Genauigkeit der Positionsbestimmung ist bei GSM naturgemäß durch die Dichte der „Handymasten“ bestimmt und daher viel geringer als beim GPS. Für die Zwecke des externen Energiemanagements des „Hauses der Zukunft“ wäre die Genauigkeit aber trotzdem ausreichend.

Überblick über Location Based Services

Die LBS sind Anwendungen, welche auf Basis der Lokalisierung Ihrer Benutzer dafür zugeschnittene Dienste zur Verfügung stellen. Die LBS können in folgenden Kategorien eingeteilt werden:

- Lokalisierung bei Notfalldiensten („Emergency Call Services“, E112)
- Kommerzielle Assistenzdienste („Value Added Services“).

Diese Dienste setzen eine Verortung der benutzenden Personen voraus. Die lokalisierten Personendaten können im Sinne der Benutzer verwendet werden jedoch aber auch missbraucht werden. Rettungs- und Notfalldienste ermitteln Unfallmeldungen per Mobiltelefon-Ortung. Für Anrufende ist es oft schwierig den exakten Einsatzort zu beschreiben. Es gibt daher in Europa und in den USA Bestrebungen, den Aufbau von „Enhanced Emergency Service“ zu forcieren [CGALIES Final Report 2002, Fact Sheet 2001]. Dabei werden in den USA und Europa unterschiedliche Verfahren eingesetzt.

- In den USA wird versucht für jedes Mobiltelefon sehr genau zu verorten, um im Notfall möglichst schnell reagieren zu können. Zum Beispiel bedeutet es, dass bis zum 31. Dezember 2005 67 % der Mobiltelefone auf 50 m genau und 95 % auf 150 m genau geortet werden können sollen.
- In Europa wird kein solcher Umsetzungsplan mit so genauen Vorgaben verfolgt. Es wird aber auch angestrebt, eine Mobiltelefon Ortung für Notrufe zu unterstützen. Anforderungen an das System wurden auch im Rahmen eines EU-Projektes [LOCUS 2002] spezifiziert.

Möglichkeiten der Positionsbestimmung

Es gibt mehrere Möglichkeiten der Positionsbestimmung mittels LBS, die sich in ihrer Genauigkeit unterscheiden.

- Cell of Origin (COO)

Das „Cell of Origin“ Verfahren ist das einfachste Verfahren zur Positionsbestimmung mittels LBS, weist jedoch auch die größte Ungenauigkeit auf. Bei COO wird die Position der Basisstation der Mobilfunkzelle, in die das Mobiltelefon zu einem bestimmten Zeitpunkt eingebucht ist, benützt. Das Mobiltelefon kann sich jedoch im Umkreis von einigen Kilometern (bis zu 15 km im weniger dicht besiedelten Raum) befinden. In urbanem Gebiet ist durch die kleinere Größe der Mobilfunkzellen die Genauigkeit etwas besser (etwa 1 km, bzw. wenige 100 Meter bei Mikrozellen).

- Timing Advance (TA)

„Timing Advance“ ist ein Verfahren um die Entfernung des Mobiltelefons von der Basisstation zu ermitteln. TA basiert auf den Signallaufzeiten von Basisstation zum Mobiltelefon und zurück. Daraus wird der Standort des Endgerätes berechnet.

- Angle of Arrival (AOA)

„Angle of Arrival“ (AOA) verwendet gerichtete Antennen um die Richtung, aus welcher das Signal des Mobiltelefons bei der Basisstation einlangt, zu ermitteln. Da ein Mobiltelefon meist mit mehreren Basisstationen in Verbindung steht, stehen die Positionsdaten relativ zu diesen Basisstationen zur Verfügung, dies erlaubt eine genauere Positionsbestimmung. Da die Basisstationen mit ihren Koordinaten bekannt sind, kann über eine Dreiecksberechnung die Position berechnet werden.

In Tabelle 3 sind die Angaben über die Genauigkeit der oben genannten Positionsbestimmungsverfahren mittels Mobiltelefon zusammengefasst. Die Angaben stammen aus [CPS 2002].

Tabelle 3: Zusammenstellung der Angaben bezüglich der Genauigkeit der Ortsbestimmung verschiedener Verfahren mittels Mobilfunkortung.

[Meter]	COO	TA	AOA
	1000 (bzw. wenige 100 m bei Mikrozellen)	>125m	>125,

Dienste der Mobilfunkbetreiber

Im Zuge der gegenständlichen Untersuchungen wurden alle in Österreich mit eigenem Netz vertretenen Mobilfunkbetreiber kontaktiert. Dabei wurde versucht auf folgende Fragen eine Antwort zu bekommen:

- Gibt es Dienste der Mobilfunkbetreiber, die Location Based Services (LBS) für die Heizungsteuerung verwenden können?
- Welche Schnittstellen zur Positionsinformation bieten die Mobilfunkbetreiber externen Applikationsentwicklern in Österreich an?

Dabei wurde festgestellt, dass österreichische Mobilfunkbetreiber in diesem Umfeld aktiv sind und Dienste z. B. zur Steuerung von Heizanlagen, Flottenmanagement, oder A-GPS anbieten.

- A1 Telecommander: A1 bietet eine „Application Service Platform“ (ASP) an, um in Applikationen solche Abfragen zu integrieren, den sogenannten Telecommander. Der A1 Telecommander eignet sich für alle möglich Arten von Geräten z. B. Heizungen in Wohnungen/Häusern, Ferienwohnung/-haus, Alarmanlagen für Einbruch, Feuer oder Gasaustritt die Alarmanlage bzw. Standheizung im Auto. Der Telecommander bietet ein einfaches Interface für das Mobiltelefon an. Damit können Geräte in halbautomatischer Form ferngesteuert werden. Es ist zum Beispiel möglich die aktuelle Temperatur abzufragen und die gewünschte Raumtemperatur in Auftrag zu geben.

- T-Mobile Fleet Manager: Der T-Mobile Fleet Manager [Fleet Manager] ist ein Internet basierendes Service für die Online-Ortung von Fahrzeugen, Personen oder anderen mobilen Objekten mittels der praxiserprobten Softwarelösung "WEBfleet". Die Positionen der Objekte können europaweit geortet werden und der Austausch von Nachrichten via SMS ist möglich. Die Ortung kann dabei entweder über GPS (Satellit) oder netzbasierend über Mobiltelefon erfolgen. Für das Mobiltelefon wird die COO verwendet. Prinzipiell wäre damit auch die Steuerung der Heizung möglich.

Aus diesen bereits verfügbaren Angeboten kann abgeleitet werden, dass eine technische Umsetzung der Location Awareness in Zusammenhang mit den Zielen des gegenständlichen Projekts bereits heute problemlos möglich ist.

Mögliche Szenarien und deren Kosten

- Beispiel 1: Einfamilienhaus mit Familie mit zwei Kindern, LBS

Mögliches Szenario:

- * Jede Person des Haushalts kann die Heizung mit seinem Mobiltelefon automatisch fernsteuern
- * Es wird für jede Person einmal am Tag eine Abfrage gemacht. Die Kosten für die Abfrage sind 10 Cent und das Verschicken der Information geschieht in Form einer SMS und kostet ebenfalls 10 Cent.
- * Abfragen werden 150 Tage im Jahr durchgeführt.

Die Kosten für dieses Szenario betragen

$$150 \times 5 \times 0,2 \text{ €} = 150 \text{ €}$$

Diese Kosten liegen in der gleichen Größenordnung wie die Kosten der eingesparten Energie. Ob sich das System rentiert, wäre daher in jedem Fall anhand einer Abschätzung der eingesparten Energiekosten zu prüfen.

- Beispiel 2: Einfamilienhaus mit Familie mit zwei Kindern, GPS in Kombination mit SMS

Jede Person des Haushalts kann die Heizung mit der GPS Installation im Auto und der Fernsteuerungsmöglichkeit im Haus automatisch fernsteuern. Für das

Auto wird ein Aktionsradius definiert, ab dem der automatische Mechanismus aktiviert wird. Das System schickt nur SMS, wenn es erkennt, dass eine längere Reise angetreten wird.

Angenommen wird, dass eine Person einmal am Tag/Nachte eine längere Reise unternimmt. Das Verschicken der Information geschieht in Form eines SMS und kostet 10 Cent. Annahmen:

- * Das System ist 150 Tage im Jahr in Betrieb.
- * Die Abfrage wird jeden Tag einmal durchgeführt und kostet 10 Cent.

Die Kosten für dieses Szenario betragen

$$150 \times 1 \times 0,1 \text{ €} = 15 \text{ €}$$

Diese Kosten werden in den meisten Fällen wesentlich geringer als die Kosten der eingesparten Energie sein. Das System ist daher in bezug auf die Betriebskosten als rentabel anzusehen.

Vor- bzw. Nachteile der Positionsbestimmung mittels GSM

- Die Genauigkeit der Positionsbestimmung von GSM Mobiltelefonen ist relativ gering. Die Abweichung von der tatsächlichen Position und kann durchaus im Bereich von zehn Kilometern liegen. Da für diesen Anwendungsfall jedoch keine exakte Positionsbestimmung notwendig ist, ist das Verfahren hierfür trotzdem als geeignet anzusehen.
- Wenn bereits ein Mobiltelefon verfügbar ist, was heute bereits bei vielen Menschen der Fall ist, ist die Anschaffung zusätzlicher Hardware nicht erforderlich.
- Da die Position nicht vom Mobiltelefon selbst ermittelt werden kann, ist man auf die Dienste des Mobilfondienstleisters angewiesen.
- Diese Technologie kann neben dem Zweck der Energieeinsparung im Haus der Zukunft auch für andere Dienste für die Benutzer eingesetzt werden. In einem Notfall ist es zum Beispiel wünschenswert, den Betroffenen in möglichst kurzer Zeit zu lokalisieren. Falls eine automatische Lokalisierung mit GPS/GSM

Unterstützung zum Auffinden und zur erfolgreichen Rettung im Ernstfall beitragen kann, wird diese Technologie auch gerne verwendet. Beispiel eines solchen Systems ist „Dolphin Satalarm“. Dieses System ermöglicht, dass jedes Fahrzeug via GPS-Satellitenortung weltweit geortet werden kann und kann einen Notruf auslösen.

- Es gibt eine Reihe von Heizungsreglern, die über Telefon bzw. Mobiltelefon ferngesteuert werden können. D. h. es ist zum Beispiel möglich bei Abfahrt zu seinem Wochenendhaus die Heizung einzuschalten. Ein Gerät für diesen Zweck im Handel verfügbares Gerät soll hier kurz vorgestellt werden:

- * TELCONeasy

TELCONeasy ermöglicht die weltweite Steuerung von Heizungen über das Internet. Solche Werkzeuge sind eine kostengünstige Möglichkeit zu automatischen Steuerung der Heizung.

4.2.3 Privatsphäre – Rechtliche Erwägungen

In den folgenden Ausführungen wird der Schutz der Privatsphäre im Sinne des Daten- und Sicherheitsschutzes betrachtet. Die im „Haus der Zukunft“ gegebenenfalls einzusetzenden Lokalisierungsdienste zählen zur Kategorie der so genannten „Kommerziellen Assistenzdienste“ („Value Added Services“) und sind nur ein Spezialfall aller verfügbaren LBS - Dienste.

Trotz aller positiven Möglichkeiten dieser Technologie dürfen die möglichen negativen Auswirkungen keinesfalls außer Acht gelassen werden. Dieser Technologie wird daher in Europa mit einer gewissen Skepsis begegnet. Da sich Mobiltelefone beim Einschalten und anschließend in bestimmten Abständen bei einer Basisstation anmelden, ist eine Ortsbestimmung und somit eine Erstellung eines Bewegungsprofils möglich. Der Bereich ist als sehr sensibel anzusehen, denn solche lokalisierten Personendaten könnten mit weiteren Merkmalen bzw. Verhaltensmuster einer Person kombiniert werden und dadurch lassen sich sehr genaue Persönlichkeitsprofile erstellen.

Sicherheit und der Datenschutz sind daher zentrale Themen bei Inanspruchnahme von LBS. Dabei sind folgende Punkte von Bedeutung:

- Sicherheit: Welche Sicherheitsmerkmale muss das System garantieren, damit es verantwortbar ist, es einzusetzen? D. h. das System muss den Schutz der Privatsphäre des Benutzers und der Kommunikation zwischen Anwendern gewährleisten.
- Datenschutz: Wer darf, welche Daten sammeln? Wann dürfen Daten gesammelt werden? Ein Überblick über die Datenschutzproblematik und den Schutz der Zugangsdaten ist in [D. Jahnel 2001] zu finden und wird im Folgenden als Grundlage verwendet.

Die oben genannten Belange werden in Österreich im Datenschutzgesetz (DSG) und im Telekommunikationsgesetz (TKG) geregelt. Das DSG ist am 1. Jänner 2002 in Kraft getreten. Das DSG bringt eine weitgehende Liberalisierung des Datenaustausches in der EU, es ist aber kein internationales Datenschutzrecht. Weiters gelten besondere Datenschutzbestimmungen im Rahmen des TKG. Es ist hier anzumerken, dass diese datenschutzrechtliche Regelung für jede Art der Datenverarbeitung gilt, d. h. auch für Datenverarbeitung im Internet. Das DSG bezieht sich ausschließlich auf die Verarbeitung personenbezogener Daten. Das sind nach § 4 Z 1 DSG Angaben über Betroffene, deren Identität bestimmt oder unbestimmbar ist [D. Jahnel 2001, S85]. Die Europäische Union hat die Richtlinie 2002/58/EG vom 12. Juli 2002 über die Verarbeitung von personenbezogenen Daten und den Schutz der Privatsphäre in der elektronischen Kommunikation (DSRL-ek) herausgegeben. Diese dient der Anpassung an die neuen Gegebenheiten in der Markt- und Technologieentwicklung und enthält Neuregelungen hinsichtlich Spamming, Cookies, Web Logs und Location Based Services. Die Richtlinie wurde im Jahr 2003 in innerstaatliches Recht umgesetzt [D. Jahnel 2003].

Für Betreiber von LBS resultieren aus dem DSG und TKG Pflichten. Es gilt, dass ein solcher Dienst nur betrieben werden kann, wenn der Kunde ausdrücklich zugestimmt hat. Über die Zulässigkeit der Datenbestimmung kann folgende Anmerkung gemacht werden: Nach den allgemeinen Grundsätzen des § 6 Abs 1 DSG dürfen Daten nur für festgelegte, eindeutige und rechtmäßige Zwecke ermittelt werden und nicht in einer mit diesen Zwecken unvereinbaren Weise weiterverwendet werden. Sie

müssen für den Zweck der Datenanwendung wesentlich sein und dürfen über diesen Zweck nicht hinausgehen. Sie müssen sachlich richtig sein und dürfen nur so lange in personenbezogener Form aufbewahrt werden, als dies für die Erreichung der Zwecke, für die sie ermittelt wurden, erforderlich ist. [D. Jahnel 2001, S85].

Ein wichtiges Prinzip im TKG ist die Unterscheidung von Vermittlungsdaten und Inhaltsdaten, dieses findet sich im TKG in den Bestimmungen über das Fernmeldegeheimnis (§ 88) und den Datenschutz (§ 91 ff).

- Vermittlungsdaten dürfen grundsätzlich nicht gespeichert werden und sind vom Betreiber unverzüglich nach Beendigung der Verbindung unverzüglich zu löschen bzw. zu anonymisieren. Ausnahmen gelten für Daten die zur Abrechnung des Dienstes erforderlich sind.
- Inhaltsdaten dürfen – sofern die Speicherung nicht einen wesentlichen Bestandteil des Telekommunikationsdienstes darstellt – grundsätzlich nicht gespeichert werden [D. Jahnel 2001, S89].

Als allgemeines Prinzip gilt, dass diese Daten nur für Zwecke der zu Verfügungstellung eines Telekommunikationsdienstes ermittelt, verarbeitet oder übermittelt werden dürfen [D. Jahnel 2001, S86]. Der Betreiber hat eine besondere Informationspflicht. Er ist verpflichtet, den Teilnehmer darüber zu informieren, welche personenbezogenen Daten er ermitteln und verarbeiten wird, auf welcher Rechtsgrundlage und für welche Zwecke dies erfolgt und für wie lange die Daten gespeichert werden. [D. Jahnel 2001, S86].

Bezüglich Standortdaten ist folgendes zu berücksichtigen. *"Standortdaten" sind Daten, die in einem elektronischen Kommunikationsnetz verarbeitet werden und die den geografischen Standort des Endgeräts eines Nutzers eines öffentlich zugänglichen elektronischen Kommunikationsdienstes angeben. Nach Art 9 dürfen diese Daten nur im zur Bereithaltung von Diensten mit Zusatznutzen erforderlichen Maß und innerhalb des dafür erforderlichen Zeitraums verarbeitet werden. Zusätzlich müssen sie entweder anonymisiert worden sein oder der Teilnehmer muss seine Einwilligung gegeben haben. Vor Einholung dieser Einwilligung muss mitgeteilt werden, welche Arten anderer Standortdaten als Verkehrsdaten verarbeitet werden, für welche Zwecke und wie lange das geschieht und ob die Daten für die*

Bereitstellung des Dienstes mit Zusatznutzen an einen Dritten weitergegeben werden. Selbst wenn diese Einwilligung gegeben wurde, muss weiterhin die Möglichkeit bestehen, die Datenverarbeitung zeitweise einfach und gebührenfrei zu untersagen [aus D. Jahnel 2003, S8ff].

Ein sehr wichtiges Element in der Neuregelungen ist die Frage der Einwilligung, welcher in der Praxis eine große Bedeutung zukommt und bei der Umsetzung eines solchen Dienstes berücksichtigt werden muss.

Zusammenfassend kann angemerkt werden, dass es unterschiedliche Anwendungsbereiche für LBS basierter Technologie gibt. Eine gesetzliche Regelung schützt nicht vor Missbrauch, ist aber eine Basis zur Vorbeugung. Im Grunde bleibt es dem Benutzer überlassen werden, ob er von diesen Services Gebrauch machen möchte oder nicht. Die Risiken solcher Technologien, die die Einführung neuer Dienste in diesem Bereich mit sich bringt, sollen dem Benutzer in so einem sensiblen Bereich auf alle Fälle bewusst gemacht werden und durch Hinweise auf entsprechende gesetzliche Regelung begleitet werden.

5 ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

5.1 Gesamtkonzept zur Minimierung des Energiebedarfs des Hauses der Zukunft

Das Gesamtkonzept zur Minimierung des Energiebedarfs des Hauses der Zukunft erstreckt sich auf alle energetisch relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft und beschreibt ergänzend die bestmögliche Nutzung der für die einzelnen Komponenten jeweils zur Verfügung stehenden innovativen Informationstechnologien. Das nachstehend erläuterte Gesamtkonzept fasst die Ergebnisse der vorangegangenen Einzeluntersuchungen in der Weise zusammen, dass anhand der energetische relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft Empfehlungen für Planer, Bauherren und Bewohner bzw. Nutzer, die sich aus den Ergebnissen der in den vorangegangenen Abschnitten beschriebenen Analysen ableiten, abgegeben werden. Weiters werden etwaige noch vorhandene „Schwachstellen“ bzw.

„Marktlücken“, die für die künftige Entwicklung richtungsweisend sein können, angeführt.

Die Komponente der Haustechnik mit der größten Relevanz in Bezug auf die Verringerung des Energieeinsatzes ist die **Heizanlage**. Die Raumtemperaturabsenkung ist die wichtigste Maßnahme hierzu. Durch entsprechende Einflussnahme auf das Heizsystem kann erreicht werden, dass der Sollwert der Raumtemperatur abgesenkt wird während das Gebäude nicht genutzt wird und wieder angehoben wird, so dass die gewünschte Raumtemperatur wieder erreicht ist, wenn das Gebäude wieder genutzt wird. Die damit erzielbare Verringerung des Energieeinsatzes für ein typisches Einfamilienhaus in verschiedenen Szenarien sind in den Tabellen 4 und 5 ersichtlich. Bezüglich der detaillierten Beschreibung der betrachteten Szenarien wird auf Abschnitt 3.2 bzw. auf Anhang 9.2 verwiesen. Wie in den Tabellen 4 und 5 ersichtlich lässt sich bereits durch den kürzesten der betrachteten Fälle, nämlich der 5-stündigen „Nachtabsenkung“ auf einen Raumlufttemperatur-Sollwert von 15 °C eine Verringerung des Energieeinsatzes - je nach bautechnischer Ausführung des Gebäudes - um ca. 8 - 11 % erreichen. Bei längerer Absenkdauer wird das Verringerungspotential größer. Der längste untersuchte Fall mit periodischer Absenkung ist das Wochenendhaus mit 5 Tagen Absenkdauer. Hier beträgt die mögliche Verringerung des Energieeinsatzes ca. 22 - 27 %.

Die Werte in Tabelle 4 sind Jahresmittelwerte. Jede einzelne Nachtabsenkung bzw. 5-stündige Absenkung trägt ihren Teil zur dieser Verringerung bei. Das Ausmaß dieses Beitrages hängt natürlich von den momentanen klimatischen Gegebenheiten ab und ist daher naturgemäß sehr unterschiedlich. Trotzdem lässt sich aus den Ergebnissen die Schlussfolgerung ableiten, dass es auch dann sinnvoll ist, eine Absenkung des Raumlufttemperatur-Sollwertes vorzunehmen, wenn man nur sporadisch für 5 Stunden außer Haus geht. Mit zunehmender Abwesenheitsdauer wird die Möglichkeit der Verringerung des Energieeinsatzes natürlich größer.

Die Referenzfälle 1 - 4 zeigen trotz der Annahme, dass die Raumtemperatur konstant gehalten wird, unterschiedlichen Wärmebedarf. Der Grund dafür liegt in der Tatsache, dass in den Referenzfällen - um den Einfluss der Temperaturänderung selektiv zu untersuchen - zwar konstante Raumtemperatur jedoch sehr wohl eine unterschiedliche Luftwechselrate während der Abwesenheit der Bewohner angenommen wurde. (Nähere Details hierzu finden sich im Anhang 9.2, Kapitel 6).

Tabelle 4: Jährlicher Heizwärmebedarf in den Szenarien „Nachtab senkung“, „Tagesabsenkung“, „Arbeitsdomizil“ und „Wochenendhaus“

Jährl. Heizwärmebedarf [kWh/(m ² · a)] und Verringerung des Heizwärmebedarfs bezogen auf den Referenzfall								
	Nachtab senkung		Tagesabsenkung		Wochenendabsenkung (Arbeitsdomizil)		Wochenabsenkung (Wochenendhaus)	
	Volle Personenbelegung		Abwesenheit 11 h / d		Abwesenheit 2 d / Woche		Abwesenheit 5 d / Woche	
Bauvarianten	Referenzfall 1 ^{*)}	Absenkdauer 5 h	Referenzfall 2 ^{*)}	Absenkdauer 11 h	Referenzfall 3 ^{*)}	Absenkdauer 2 d	Referenzfall 4 ^{*)}	Absenkdauer 5 d
Temperatur-Sollwert	21 °C	15 °C	21 °C	15 °C	21 °C	15 °C	21 °C	15 °C
Holzständerleichtbau mit Holzbalkendecken und leichten Innenwänden	81,6	72,5 - 11,2 % ¹⁾	73,8	64,9 - 12,1 % ²⁾ - 20,5 % ¹⁾	77,5	72,4 - 6,6 % ³⁾ - 11,3 % ¹⁾	62,1	45,1 - 27,4 % ⁴⁾ - 44,7 % ¹⁾
Ziegelbau (HLZ 38) mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden cm ohne zusätzlich Wärmedämmung)	91,3	83,7 - 8,3 % ¹⁾	85,3	76,6 - 10,2 % ²⁾ - 16,1 % ¹⁾	89,6	85,1 - 5,0 % ³⁾ - 6,8 % ¹⁾	75,1	57,2 - 23,8 % ⁴⁾ - 37,3 % ¹⁾
Ziegelbau gedämmt, (HLZ 38) 10 cm mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden mit zusätzlicher Wärmedämmung	77,3	71,3 - 7,7 % ¹⁾	74,4	66,6 - 10,5 % ²⁾ - 13,8 % ¹⁾	76,8	73,4 - 4,4 % ³⁾ - 5,0 % ¹⁾	62,2	48,0 - 22,8 % ⁴⁾ - 37,9 % ¹⁾
Massivholzbau System Thoma (17,6 cm) mit 10 cm Flachsdämmung, 500 kg/m ³	76,1	68,6 - 9,7 % ¹⁾	70,9	62,6 - 11,7 % ²⁾ - 17,7 % ¹⁾	73,6	69,7 - 5,3 % ³⁾ - 8,4 % ¹⁾	59,3	44,1 - 25,6 % ⁴⁾ - 42,0 % ¹⁾
Stahlbetonbau mit Polystyrol dämmung und Ziegelinnenwänden	93,7	85,6 - 8,6 % ¹⁾	83,4	75,6 - 9,4 % ²⁾ - 19,3 % ¹⁾	90,6	87,5 - 3,4 % ³⁾ - 6,6 % ¹⁾	75,0	58,8 - 21,6 % ⁴⁾ - 37,2 % ¹⁾

^{*)} Die Unterschiede in den Werten der Referenzfälle sind durch die Annahme reduzierter Luftwechselraten während der Abwesenheit der Bewohner begründet, die auch in den Referenzfällen so angesetzt wurden

¹⁾ Bezogen auf Referenzfall 1;

²⁾ Bezogen auf Referenzfall 2;

³⁾ Bezogen auf Referenzfall 3;

⁴⁾ Bezogen auf Referenzfall 4.

Tabelle 5: Spezifischer Heizwärmebedarf während der Dauer der Szenarien „1-wöchiger Urlaub“ und „3-wöchiger Urlaub“

Bauvarianten	Spezifischer Heizwärmebedarf während der Absenkung (inkl. Wiederaufheizung)								
	1- wöchiger Urlaub [kWh/m ² für 1 Woche Heizbetrieb] [% Verringerung des Energieeinsatzes für 1 Woche Heizbetrieb]						3 - wöchiger Urlaub [kWh/m ² für 3 Wochen Heizbetrieb] [% Verringerung für 3 Wo. Heizbetrieb]		
	Ohne Absenkung 21 °C		Absenkung auf 15 °C		Absenkung auf 5 °C		Ohne Absenkung 21 °C	Absenkung auf 15 °C	Absenkung auf 5 °C
Temperatur-Sollwert									
mittlere Außentemperatur	+ 3,7 °C	- 4,4 °C	+ 3,7 °C	- 4,4 °C	+ 3,7 °C	- 4,4 °C	- 1,4 °C	- 1,4 °C	- 1,4 °C
Holzständerleichtbau mit Holzbalkendecken und leichten Innenwänden	2,5	3,6	1,3 - 48,0 %	2,4 - 33,0 %	0,75 - 70,0 %	1,4 - 61,6 %	9,2	6,2 - 32,6 %	2,3 - 75,0 %
Ziegelbau (HLZ 38) mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden cm ohne zusätzlich Wärmedämmung)	3,2	4,5	2,1 - 34,4 %	3,5 - 20,5 %	1,8 - 43,8 %	3,1 - 29,5 %	10,8	8,1 - 25,0 %	4,8 - 55,6 %
Ziegelbau gedämmt, (HLZ 38) 10 cm mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden mit zusätzlicher Wärmedämmung	2,6	3,6	1,7 - 34,6 %	2,7 - 18,2 %	1,6 - 38,5 %	2,3 - 30,3 %	8,2	6,4 - 22,0 %	3,9 - 52,4 %
Massivholzbau System Thoma (17,6 cm) mit 10 cm Flachsdämmung, 500 kg/m ³	2,3	3,2	1,4 - 39,1 %	2,3 - 30,3 %	1,3 - 43,5 %	2,0 - 39,4 %	8,8	5,8 - 34,1 %	3,6 - 59,1 %
Stahlbetonbau mit Polystyrolämmung und Ziegelinnenwänden	3,4	4,9	2,3 - 32,4 %	3,8 - 19,1 %	2,2 - 35,3 %	3,6 - 23,4 %	11,9	8,8 - 26,1 %	6,7 - 43,7 %

Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ durch
Nutzung innovativer Informationstechnologien
Endbericht

Die in Tabelle 5 angeführten Wärmebedarfswerte im „1-wöchigen“ und „3-wöchigen Urlaub“ beziehen sich nicht wie in Tabelle 3 auf Jahresmittelwerte, sondern auf „Einzelereignisse“. Die Ergebnisse sind somit auf die im Betrachtungszeitraum gegebenen „zufälligen“ Klimadaten bezogen. Die während der Betrachtungszeiträume gegebenen mittleren Außentemperaturen sind angeführt. Wie ersichtlich ist die mögliche Verringerung des Energieeinsatzes sind allen betrachteten Fällen signifikant.

Es lässt sich somit der Schluss ziehen, dass das Absenken der Raumlufthtemperatur während der Dauer der Abwesenheit der Benutzer, auch wenn die Abwesenheit nur wenige Stunden dauert, auf jeden Fall sinnvoll ist.

Die oben erläuterten Maßnahmen zur Absenkung der Raumlufthtemperatur können grundsätzlich auch mit konventioneller „Informationstechnologie“, kurz gesagt - wie bisher - mit einem manuell betätigbaren Regler getroffen werden. Dabei sind jedoch zwei Nachteile in Kauf zu nehmen, und zwar:

- Es funktioniert nur, wenn der Benutzer bei der Abreise nicht vergisst, den Regler entsprechend zu verstellen.
- Der Wiederaufheizvorgang beginnt erst, wenn man wieder nach Hause kommt und den Regler wieder zurück stellt.

Mit Hilfe geeigneter Informationstechnologien kann hier sehr gut Abhilfe erzielt werden (siehe Abschnitt 4.2)

Die oben in Zusammenhang mit der Gebäudeheizung erläuterten Maßnahmen und Empfehlungen für die Reduktion des Energieeinsatzes im Haus der Zukunft durch Nutzung innovativer Informationstechnologie gelten im Prinzip für alle Wärmebereitstellungssysteme mit an sich „kostenbehafteten“ Energieträgern. Sie gelten auch für die **Klimaanlagen** und zwar in der Weise, dass gleichzeitig mit der Temperaturabsenkung bei Abwesenheit der Benutzer auch die Luftwechselrate reduziert wird (Details hierzu, siehe Abschnitt 3.2 bzw. Anhang 9.2), sowie für die **Beleuchtungssysteme** in der Weise, dass die Lichter bei Abwesenheit der Bewohner mit Hilfe entsprechender Bewegungsmelder automatisch abgeschaltet werden.

Auch die **Wärmepumpen** sind in Bezug auf die Verringerung des Energieeinsatzes durch innovative Informationstechnologie gleich wie die Heizanlagen zu bewerten. Die von Wärmepumpen bereitgestellte Wärme wird nur zu rund 2 Dritteln „kostenlos“ aus der Umgebungswärme erzeugt. Das fehlende Drittel stammt aus elektrischem Strom. Alle in Zusammenhang mit der Heizanlage erläuterten bzw. empfohlenen Maßnahmen gelten damit für die Wärmepumpe sozusagen zumindest mit „1/3-Relevanz“. Bei Strom aus einem kalorischen Kraftwerk wird diese „Abschwächung“ aber durch den Umstand wieder aufgewogen, dass die Nutzung von elektrischem Strom zu Heizzwecken aufgrund des Wirkungsgrads der Stromerzeugung aus Wärme wiederum zumindest zu rund 2/3 „Verschwendung“ darstellt.

Etwas anders als die Energiesysteme mit kostenbehafteten Energieträgern sind die Energiesysteme, die eine an sich „kostenlose“ Wärme nutzen, zu beurteilen. Dies sind im Prinzip die **Windkraftanlagen**, die **Photovoltaikanlagen**, die Systeme zur Steuerung des Wärmeeintrags aus der Umgebung (Jalousien etc.), die **Wärmehückgewinnungssysteme** und die **Solarkollektoranlagen**. Natürlich gehören auch die für die Nutzung dieser Systeme erforderlichen **Wärmespeicheranlagen** dazu. Alle diese Anlagen sind grundsätzlich so zu steuern, dass die von der Sonne bzw. der Umgebung zugeführte Wärme in möglichst hohem Maß dem Gebäude zugeführt wird. Diese Forderung sollte durch die zu den Geräten gehörenden Regel- bzw. Steuerungseinrichtungen erfüllt bzw. sichergestellt werden. Die Möglichkeit einer weiteren „Optimierung“ bzw. zusätzlichen Verringerung des Energieeinsatzes im Haus der Zukunft durch Beeinflussung dieser Komponenten mit Hilfe innovativer Informationstechnologie ist unter der Voraussetzung, dass die geräteeigenen Steuerungen nach obigen Kriterium optimal arbeitenden, nur in geringem Ausmaß gegeben. Es ist ja weder für die Umwelt noch in Hinblick auf die Betriebskosten ein Vorteil, wenn man zum Beispiel auf die „Nutzung“ der Sonnenenergie aus der Solaranlage verzichtet, solange niemand zu Hause ist. Gleiches gilt für die solare Warmwasserbereitung. Die Maßnahmen beschränkt sich somit im wesentlichen darauf, die Systeme abzuschalten, wenn sie entweder aufgrund der Randbedingungen keine Wärme liefern, oder wenn die Wärme nicht gebraucht wird und damit den Strombedarf zum Beispiel für den Betrieb von Umwälzpumpen, abzusenken. Für diese Systeme eignet sich grundsätzlich die

gleiche Informationstechnologie wie für die Steuerung der Heizanlage (siehe oben). Zu erwähnen ist aber, dass die mit der Steuerung dieser Systeme verbundene Möglichkeit der Verringerung des Energieeinsatzes wesentlich kleiner als bei der Heizanlage ist. Dies wirkt sich natürlich in der Kosten/Nutzen Relation aus. Aus rein ökonomischer Sicht ist der Einsatz innovativer Informationstechnologien bei diesen Systemen nicht sinnvoll. Sind die Systeme jedoch für einen anderweitigen Einsatz bereits vorhanden, dann ist es selbstverständlich auch sinnvoll, die Informationen über Anwesenheit/Abwesenheit der Benutzer auch für das Aus- bzw. Einschalten der übrigen Systeme nützen. Der Nutzen ist direkt von der Ausschaltzeit und damit vom gegebenen Szenario bzw. im Grund von der „Reisefreudigkeit“ des Bewohners abhängig. Allgemeingültige Angaben können hierzu nicht gemacht werden. Sofern sich die Abwesenheitszeiten der Bewohner aufgrund persönlicher Angaben abschätzen lassen, lässt sich der Nutzen sehr leicht berechnen, worauf an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden muss. Die Systeme zeigen im Grunde weder Schwachstellen noch bestehen Marktlücken. Den Planerern/Benutzern wird empfohlen, beim Einsatz solcher Systeme im Haus der Zukunft das Hauptaugenmerk auf die zu den Systemen gehörenden Regelungssysteme zu richten. Mit diesen muss sichergestellt werden, dass die verfügbare Wärme bestmöglich in das Gebäude gelangt bzw. von den Speichern aufgenommen wird.

5.2 Geeignete Informationstechnologien

Die zur Verringerung des Energieeinsatzes im Haus der Zukunft geeigneten Informationstechnologien sind nachstehend - geordnet nach zunehmendem Automatisierungsgrad - angeführt. (Nähere Informationen über die einzusetzenden Datenbussysteme finden sich in Abschnitt 2.2.1, nähere Informationen über „Internes-“ und „Externes Energiemanagement“ finden sich in den Abschnitten 3 bzw. 4)

- Erleichterung der manuellen Einflussnahme direkt am Gebäude durch einen Schalter, mit dem dem Gebäudecomputer möglichst mühelos die „Abreise-“ bzw.

„Rückkehrinformation“ vermittelt wird („Daheim/Nicht-Daheim Schalter“ neben der Haustür).

Dies kann mit Hilfe konventioneller Steuerungstechnik oder mit Hilfe der in Abschnitt 2.2.1 beschriebenen Datenbussysteme erfolgen. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis dieser Maßnahme kann mit der Note „Sehr gut“ bewertet werden. Es existieren keinerlei Schwachstellen oder Marktlücken. Diese Maßnahme wird daher jedem Planer bzw. Benutzer, der über eine zentrale Steuerung der technischen Komponenten seines Hauses verfügt, empfohlen.

- Manuelle Einflussnahme auf die Regeltechnik aus der Entfernung im Sinne von „Externem Energiemanagement“ (siehe Abschnitt 4) mit Hilfe einer Short Message (SMS) über das Mobiltelefon an den Gebäudecomputer.

Damit kann sowohl eine „vergessene“ oder erst später beabsichtigte Temperatur-Absenkung als auch die rechtzeitige Wiederaufheizung eingeleitet werden. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis dieser Maßnahme kann mit der Note „Gut“ bewertet werden. Eine solche Lösung wird von der Fa. Rika in Micheldorf (A) angeboten. Sie hat die über Mobiltelefon steuerbare Feuerungsanlage auf den Markt gebracht und somit zum „Stand der Technik“ gemacht. Die Maßnahme kann zur Ausführung empfohlen werden.

Geräte für allgemeine Applikationen werden von den Mobilfunkbetreibern A1 angeboten und zwar der „A1-Telecommander“ bzw. der „T-Mobile Fleet Manager“.

Einen speziellen Heizungsregler gibt es zum Beispiel bei TELCONeasy.

- Manuelle Einflussnahme auf die Regeltechnik aus der Entfernung wie oben, jedoch über das Internet.

Diese Maßnahme funktioniert im Prinzip gleich wie die manuelle Einflussnahme über das Mobiltelefon. Sie ist allerdings etwas komplizierter und auch unhandlicher in der Handhabung. Die Einflussnahme auf technische Einrichtungen über Datenleitungen ist zwar Stand der Technik, wurde jedoch bisher im Haushalt noch eher wenig eingesetzt. Ein zunehmend auftretender Einsatzfall im Haushalt ist z. B. die ferngesteuerte Heimkamera („Web-Cam“) zur Gebäude-

überwachung. Eine Voraussetzung ist, dass die verwendeten Außen-Terminals über die notwendige Software verfügen. Bei Verwendung eines tragbaren Computers mit mobiler Internetanbindung erscheint dies machbar. Das Einleiten einer Temperaturabsenkung bzw. eines Wiederaufheizvorganges ist, speziell dann, wenn ein Terminal hierfür extra „hoch-“ und anschließende wieder „niedergefahren“ werden muss, wesentlich einfacher und vor allem viel schneller mit einer SMS (siehe oben) zu bewerkstelligen. Andererseits ermöglicht die Anbindung eines Terminals an die Haustechnik über das Internet auch das Empfangen und Senden wesentlich detaillierterer Informationen über den Zustand der Haustechnik im Sinne eines „Leitstandes“. Das Softwarepaket PC-Anywhere beispielsweise ermöglicht die nahezu uneingeschränkte Bedienbarkeit des Gebäudecomputers aus der Ferne im Sinne des Anschlusses einer Tastatur und eines Bildschirms über „unbegrenzt lange Verlängerungskabel“.

Das Kosten/Nutzen-Verhältnis dieser Maßnahme kann mit der Note „Gut“ bewertet werden. Marktlücke gibt es keine. Eine Schwachstelle ist, wie schon erwähnt, das im Vergleich zum Mobiltelefon wesentlich aufwendigere „Einloggen“. Die Maßnahme wird daher nur bedingt zur Ausführung empfohlen. Das wichtigste Entscheidungskriterium wird die Frage sein, ob der Benutzer dem Anspruch auf umfassende Kontrolle der Haustechnik im Sinne eines externen Leitstandes Bedeutung beimisst.

- Automatisierung mit Hilfe von „Internem Energiemanagement“ (siehe Abschnitt 3)
Bewegungsmelder melden dem Gebäudecomputer, ob sich im Haus etwas bewegt oder nicht. Nach einer gewissen Wartezeit von 1 - 2 Stunden bewirkt der Gebäudecomputer die Absenkung des Temperatur-Sollwertes. Nach einigen Minuten der „Bewegung“ erfolgt die Rückstellung.

Das Kosten/Nutzen-Verhältnis dieser Maßnahme kann mit der Note „Gut“ bewertet werden. Eine Schwachstelle sind mögliche Störeinflüsse, zum Beispiel der Einfluss etwaiger Haustiere. Davon abgesehen kann die Maßnahme aber für Planer/Benutzer zur Ausführung empfohlen werden.

- Automatisierung mit Hilfe von „Externem Energiemanagement“ (siehe Abschnitt 4)

Für „Location Awareness“ geeignete Systeme melden dem Gebäudecomputer, wo sich die Benutzer befinden. Ab einer gewissen Mindestentfernung erfolgt die Temperaturabsenkung. Bei Unterschreiten der Mindestentfernung wird automatisch die Wiederaufheizung eingeleitet. Hierbei können mit heute vorhandener Technik zwei Methoden unterschieden werden:

- * Location Awareness mit Hilfe eines Mobiltelefons im Wege von LBS

Mobiltelefone wählen sich in gewissen Zeitabständen selbsttätig in das Mobilfunknetz ein um eine Verbindung bzw. einen „Bezug“ zum jeweils nächstgelegenen Sendemasten herzustellen. Dadurch kennt der Mobilfunkbetreiber den Standort des Mobiltelefons, eingegrenzt auf den Wirkungsbereich des entsprechenden „Handymastens“. Diese Information kann mit Hilfe einer SMS beim Mobilfunkbetreiber abgefragt werden. Die Abfrage kann zwar automatisch erfolgen, sie kann jedoch nicht bedingt durchgeführt werden. Das heißt, dass die Information über den Standort regelmäßig abgefragt werden muss, also auch dann wenn sich der Standort gegenüber der letzten Abfrage nicht geändert hat. Dies führt zur Forderung nach regelmäßigem SMS-Kontakt mit dem Mobilfunkbetreiber, wobei für jede SMS die entsprechenden Kosten anfallen. Erst die Weiterleitung der Standortinformation an die Haustechnik kann im Prinzip bedingt, also nur nach Änderung, erfolgen. Die entsprechende Programmierung eines Mobiltelefons ist grundsätzlich möglich. Maßnahmen dieser Art werden zum Beispiel bei der Personenüberwachung, insbesondere bei der Überwachung von Kindern, oder Kranken, eingesetzt.

Die Genauigkeit einer solchen Ortsinformation ist für den gegenständlichen Anwendungsfall ausreichend.

Die Kosten dieser Maßnahme sind aufgrund der regelmäßigen SMS-Abfragen über den Standort hoch. Das Kosten/Nutzen-Verhältnis ist, bezogen auf die mögliche Energieeinsparung schlecht. Für die Maßnahme besteht derzeit zwar keine wirkliche „Marktlücke“ - sie wird wie erwähnt ja für

andere Zwecke, vor allem in den USA, bereits eingesetzt. Ein für die Anwendung in Heizanlagen adaptiertes System ist derzeit jedoch nicht „benutzerfertig“ am Markt erhältlich und kann daher auch nicht zur Anwendung empfohlen werden. Die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Telekommunikation und des „Wearable-Computing“ lässt aber erwarten, dass dieser Nachteil bereits in den nächsten 1 bis 2 Jahren beseitigt werden wird. Mögliche Schwachstellen könnten durch Erfordernisse des Datenschutzes begründet sein. Diesbezüglich laufen derzeit weltweit Bemühungen um entsprechende gesetzliche Regelungen.

- * Location Awareness mit Hilfe eines Global Positioning Systems (GPS) in Kombination mit einem Mobiltelefon

GPS-Systeme ermitteln über Satellitenpeilung den Standort des Benutzers auf wenige Meter genau. Es ist möglich, ein GPS-System mit einem Mobiltelefon in der Weise zu kombinieren, dass das Mobiltelefon in regelmäßigen Abständen die Daten des GPS über eine Short-Message an eine bestimmte Adresse sendet.

Im Gegensatz zu der oben beschriebenen Methode der LBS sind die Informationen des GPS an sich kostenlos verfügbar. Es muss lediglich der GPS-Empfänger gekauft werden. Somit fallen die zur Positionsermittlung erforderlichen regelmäßigen SMS weg. Es müssen nur SMS an das Gebäude geschickt werden. Diese können außerdem bedingt, also nur dann geschickt werden, wenn der Benutzer den Mindestabstand zum Gebäude über oder unterschreitet. Das wären bei einem normalen Reisevorgang im Prinzip nicht mehr als 2 SMS, eine für „Austritt“ und eine für „Wiedereintritt“ in den Bereich des Mindestabstandes. Die Kosten sind daher im Vergleich zum erzielbaren Nutzen durch die Verringerung des Energieeinsatzes gering.

Diese Methode ist auch aus technischer Sicht wesentlich besser als die oben beschriebene Methode. Sie wird in anderen Anwendungsgebieten, vor allem im Bereich der Personenüberwachung bzw. der Personensicherheit, mit Erfolg eingesetzt. In jüngster Zeit kamen sogar bereits Mobiltelefone mit

eingebautem GPS-Empfänger auf den Markt. Sie könnten durch den Hersteller - natürlich auch durch bzw. auf Initiative des Herstellers der Gebäudeheizung - auf nicht allzu schwierige Weise, z. B. über Java, für den Einsatzfall im Bereich des Fernkontakts mit der Haustechnik des Hauses der Zukunft entsprechend programmiert werden, so dass die gegenständliche Maßnahme zur Verringerung des Energieeinsatzes im Haus der Zukunft auf höchst elegante Weise gelöst werden kann. Für die mögliche Schwachstelle „Datenschutz“ gilt das bereits Genannte.

Aufgrund der noch nicht gegebenen Verfügbarkeit angepasster Systeme kann diese Maßnahme derzeit noch nicht empfohlen werden. Aufgrund der relativ hohen Möglichkeit der Verringerung des Energieeinsatzes wird jedoch Planern/Benutzern empfohlen, in Bezug auf diese Maßnahme „in den Startlöchern“ zu bleiben.

6 BERÜCKSICHTIGUNG DER „SIEBEN LEITPRINZIPIEN NACHHALTIGER TECHNOLOGIEENTWICKLUNG“ BEI DER PROJEKTDURCHFÜHRUNG

In den nachfolgenden Abschnitten werden Bedeutung und Einfluss der „Sieben Leitprinzipien nachhaltiger Technologieentwicklung“ auf die Durchführung und die Ergebnisse des gegenständlichen Projekts erörtert.

6.1 Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzerorientierung

Das Prinzip der Dienstleistungs-, Service und Nutzerorientierung zielt darauf ab, dass in einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung die Bereitstellung von Energie, Gütern und Produkten nicht primär von reinen Versorgungsüberlegungen geprägt ist, sondern sich zunächst auf die mit Energie, Gütern und Produkten zur erfüllenden Funktionen bzw. Dienst- oder Serviceleistungen konzentriert. Der Vorgabe, bei der Projektabwicklung das Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzerorientierung besonders zu berücksichtigen, wird im gegenständlichen Projekt dadurch Rechnung getragen, dass das übergeordnete Ziel darin besteht, den Energieeinsatz im „Haus der Zukunft“ durch gezielte Maßnahmen zu verringern. Der Projektgegenstand an sich ist die Dienstleistung der Bereitstellung eines „Warmen und hellen Hauses“. Es kann daher erwartet werden, dass aufgrund der Ergebnisse des gegenständlichen Projekts nicht mehr, sondern weniger Energie eingesetzt wird. Den hierfür erforderlichen Gütern und Produkten fällt die Erfüllung der Funktion der Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ zu.

6.2 Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen

Nach dem Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen ist die energetische und stoffliche Versorgung möglichst durch erneuerbare und/oder nachwachsende Ressourcen zu bewerkstelligen. Die Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ ist in Bezug auf die Frage der erneuerbaren bzw. nicht erneuerbaren Ressourcen neutral. Das Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen trifft daher auf das gegenständliche Projekt nicht zu.

6.3 Effizienzprinzip

Das Effizienzprinzip zielt darauf ab, Dienst- oder Serviceleistungen so energie- und materialeffizient aber auch so kosteneffizient wie möglich zu erfüllen. Der Vorgabe, bei der Projektabwicklung das Effizienzprinzip besonders zu berücksichtigen, wird im gegenständlichen Projekt dadurch Rechnung getragen, dass das übergeordnete Ziel darin besteht, den Energieeinsatz im „Haus der Zukunft“ durch gezielte Maßnahmen zu verringern, wodurch die Energie- und Materialeffizienz grundsätzlich gesteigert wird. Es kann daher erwartet werden, dass die Effizienz des Energieeinsatzes und der damit verbundenen Dienst- und Serviceleistungen im „Haus der Zukunft“ aufgrund der Ergebnisse des gegenständlichen Projekts gesteigert wird.

6.4 Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit

Das Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit zielt darauf ab, besonders in den Bereichen, in denen die Nutzung erneuerbarer Ressourcen noch nicht oder nur schwer möglich ist, eine Rezyklierung oder kaskadische Nutzung der Ressourcen anzustreben. Dieses Prinzip ist auch dann erfüllt, wenn der Energieeinsatz generell verringert wird.

6.5 Prinzip der Anpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit

Das Prinzip der Anpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit sieht vor, dass zukunftsverträgliche Entwicklungen als innovative, dynamische Prozesse, die in Bezug auf Technologien einerseits eine Anpassung an vorhandene (z. B. regionale) Rahmenbedingungen und Gegebenheiten, andererseits eine kontinuierliche Anpassung an neue Entwicklungen und Gegebenheiten erfordern, zu begreifen sind. Die Vorgabe, bei der Projektabwicklung das Prinzip der Anpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit besonders zu berücksichtigen, wird im gegenständlichen Projekt durch den Einsatz von innovativer Informationstechnologien, die diese Eigenschaften aufweist, erreicht. Gerade im Bereich der Kommunikations- und Informationstechnologien sind die vier genannten Kriterien jetzt und in absehbarer Zukunft in besonders hohem Maß verwirklicht. Es kann daher erwartet werden, dass sich die im gegenständlichen Projekt vorgesehenen Entwicklungen als zukunftsverträglich, innovativ und dynamisch im Sinne des

Prinzips der Anpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit erweisen werden.

6.6 Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge

Das Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge geht davon aus, dass die Vorsorge gegenüber Störfällen technischer Anlagen mit potentiellen Auswirkungen auf ganze Landstriche und zukünftige Generationen zum Konzept einer „Nachhaltigen Entwicklung“ gehören. Der Vorgabe, bei der Projektabwicklung das Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge besonders zu berücksichtigen, wird im gegenständlichen Projekt dadurch Rechnung getragen, dass das Projektziel letztlich in der Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ besteht. Dadurch verringert sich allgemein die Abhängigkeit von allfälligen Fehlern und Risiken im Zusammenhang mit der Energieversorgung. Die für die vorgeschlagenen Maßnahmen einzusetzende Informationstechnologie verfügt über das geforderte Maß an Fehlertoleranz.

6.7 Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Das Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität sieht vor, dass durch die Erhaltung und Schaffung hochwertiger Arbeit einerseits, sowie einer lebenswerten Umwelt andererseits eine Erhöhung der Lebensqualität erreicht wird. Der Vorgabe, bei der Projektabwicklung das Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität besonders zu berücksichtigen, wird im gegenständlichen Projekt dadurch Rechnung getragen, dass aufgrund der zur Verwirklichung der Projektziele benötigten technischen Komponenten im Bereich der innovativen Informationstechnologie ein Beitrag zu Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität geleistet wird, wobei insbesondere qualitativ anspruchsvolle Arbeitsplätze geschaffen werden.

7 ZUSAMMENFASSUNG

Projektziele

Die Ziele des Projekts bestehen in der Analyse der Möglichkeiten, den Energieeinsatz im „Haus der Zukunft“ durch Nutzung innovativer Informationstechnologien zu verringern und in der Bewertung verschiedener Kommunikationstechnologien in Hinblick auf technische Brauchbarkeit, praktische Einsetzbarkeit und Fragen des Datenschutzes und Kosten.

Das Projekt wurde in 4 Arbeitsschritten durchgeführt.

- **Arbeitsschritt 1: „Erhebung und Charakterisierung der energetisch relevanten Komponenten und Systeme unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeiten der Informatik und der Bussysteme“**

Das Ziel von Arbeitsschritt 1 bestand in der Untersuchung der energietechnisch relevanten Komponenten des Hauses der Zukunft in Bezug auf die Schnittstellen für den Eingriff innovativer Informationstechnologien sowie in der Untersuchung der Möglichkeiten, innovative Informationstechnologie zur Durchführung eines Energiemanagements für das „Haus der Zukunft“ einzusetzen. Arbeitsschritt 1 wurde bereits vor Auftragserteilung begonnen und plangemäß im November 2002 abgeschlossen. Als Schlussfolgerung lässt sich sagen, dass die Vielfalt der bereits heute verfügbaren Übertragungstechniken eine Vielzahl von Möglichkeiten, innovative Informationstechnologie zur Durchführung eines Energiemanagements für das „Haus der Zukunft“ einzusetzen, bietet. Allfälliger Entwicklungsbedarf besteht jedoch in der Abstimmung bzw. Optimierung der entsprechenden Datenverarbeitungssysteme und Programme in Hinblick auf größtmögliche Einsparung von Energie.

- Arbeitsschritt 2: „Internes Energie-Management des Hauses der Zukunft“

Das Ziel von Arbeitsschritt 2 bestand in der Konzeption einer optimierenden Regelungsstrategie für die energetisch relevanten Geräte bzw. Gebäudekomponenten unter Einbeziehung erweiterter innovativer Datenübertragungstechnik in Hinblick auf die gesamtheitliche energetische Optimierung des „Hauses der Zukunft“. Das Ergebnis von Arbeitsschritt 2 ist ein Regelungskonzept für die folgenden Geräte bzw. Gebäudekomponenten des „Hauses der Zukunft“: Beleuchtungskörper, Heizkörper, Umwälzpumpen des Heizkreises, Umwälzpumpen für Brauchwasserkreis und Solarkollektoren, Abschattungseinrichtungen (Jalousien), Heizkessel, Wärmepumpen, Pufferspeicher und Photovoltaikanlage.

- Arbeitsschritt 3: „Externes Energie-Management des Hauses der Zukunft“

Das Ziel von Arbeitsschritt 3 bestand in der Analyse der Möglichkeiten und Auswirkungen der Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“ über innovative Informationstechnologien von außen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Einflussnahme auf die energetisch relevanten Geräte bzw. Komponenten des „Hauses der Zukunft“ von außen durch Nutzung des GSM (Global System for Mobile Communication) oder des GPS (Global Positioning System) möglich und sinnvoll ist.

- Arbeitsschritt 4: „Gesamtkonzept zur Minimierung des Energiebedarfs des Hauses der Zukunft“

Das Ziel von Arbeitsschritt 4 bestand in der Erstellung eines Gesamtkonzepts zur Minimierung des Energiebedarfs des Hauses der Zukunft.

- Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Komponente der Haustechnik mit der größten Relevanz in Bezug auf die Verringerung des Energieeinsatzes mit Hilfe von Informationstechnologie ist die Heizanlage bzw. die zu ihr gehörenden Komponenten. Die Absenkung des Sollwertes der Raumtemperatur während der Abwesenheit der Bewohner ist die

wichtigste Maßnahme hierzu. Durch eine entsprechende Fernsteuerung des Heizsystems kann der Sollwert der Raumtemperatur entsprechend den An- und Abwesenheitszeiträumen erreicht werden.

Die Wirksamkeit dieser Maßnahme hängt vor allem von folgenden Parametern ab:

- * Klimatische Randbedingungen
- * Bauart des Gebäudes, insbesondere die Wärmedurchgangszahl und das Wärmespeichervermögen der Wände
- * Dauer der Temperaturabsenkung

Für den beispielhaft betrachteten Fall eines Einfamilienhauses unter in Österreich geltenden klimatischen Bedingungen wurden in Modellrechnungen folgende Ergebnisse erzielt:

- * Die Absenkung der Sollwertes der Raumtemperatur ist bereits bei einer Dauer von nur wenigen Stunden sinnvoll. Die „Nachtabsenkung“ von 21 auf 15 °C beispielsweise bringt im Jahresmittel eine Verringerung des Energieeinsatzes bei einem Gebäude in Leichtbauweise (Holzständerleichtbau) um mehr als 10 %. Bei Gebäuden in Massivbauweise (Stahlbetonbau mit Polystyrolämmung) beträgt die Verringerung ca. 7 %. Im „Wochenendhaus“ wird durch Temperaturabsenkung während der Wochentage eine Verringerung des Energieeinsatzes im Jahresmittel um mehr als 20 % erreicht.
- * Auch bei nicht periodischer Abwesenheit kann der Energieeinsatz durch Temperaturabsenkung erheblich verringert werden. Die Absenkung des Sollwertes der Raumtemperatur von 21 auf 5 °C während eines „1-wöchigen Urlaubs“ bringt im Fall des Leichtbaus um bis zu 60 %, im Fall des Massivbaus um rund 23 % an Verringerung des Energieeinsatzes in dieser Periode. Während eines „3-wöchigen Urlaubs“ können durch Absenkung des Temperatur-Sollwertes im Fall des Leichtbaus ca. 75 %, im Fall des Massivbaues ca. 40 % der eingesetzten Energie vermieden werden.

Die zur Umsetzung der obigen Maßnahmen geeigneten Informationstechnologien sind zu einem gewissen Teil Stand der Technik. Insbesondere

werden die für das „Interne Energiemanagement“ des Hauses der Zukunft benötigten Anlagen bereits seit längerem in den „Smart-Homes“ eingesetzt. Auch „Externes Energiemanagement“ ist heute mit handelsüblichen Komponenten realisierbar, zum Beispiel eine manuell über Mobiltelefon steuerbare Feuerung. Auch die automatische energetisch optimierende Einflussnahme auf die Haustechnik in Abhängigkeit von der Entfernung des Benutzers (z. B. über eine GPS-unterstützte Datenübertragung) ist derzeit bereits mit handelsüblichen Komponenten möglich. Die Kosten der Nutzung solcher Methoden sind im Verhältnis zum Nutzen der oben genannten Einsparungsmöglichkeiten gering. Die zusammenfassende Empfehlung an Planer und Nutzer lautet daher, die Möglichkeiten der energetischen Optimierung des Hauses der Zukunft mit Hilfe von Informationstechnologie gezielt zu nutzen.

- Veröffentlichungen im Rahmen des gegenständlichen Projekts

Die Ergebnisse des gegenständlichen Projekts wurden in folgenden Veranstaltungen veröffentlicht:

- * Internationale Fachtagung „tcmc“ am 11./12. März 2003 in Graz [Padinger R. et. al., 2003]
- * Fachtagung des bmvit: „Heizen und Lüften im Haus der Zukunft“ am 11. März 2004 in Kufstein [Padinger R., Puschnigg P., 2004]

8 LITERATUR

- Kouba R., Kautsch P. (2002): „Vergleichende thermische Simulation zum Erweiterungsbau des Krankenhaus der Barmherzigen Brüder“, Forschungsbericht, TU-Graz, Institut für Wärmetechnik
- Könighofer K., Spitzer J., Padinger R., Suschek-Berger J., Streicher W., Mach T. (2001): „Anforderungsprofile für Biomassefeuerungen zur Wärmeversorgung von Objekten mit niedrigem Energiebedarf“, Endbericht, Joanneum Research, Institut für Energieforschung, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 32/2001, Graz, im März 2001, <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id1739>
- Mach T., Kouba R. (2002): „Thermische Simulationen zum Holz 100 Bausystem der Firma Ing. Erwin Thoma Holz GmbH“, Forschungsbericht, TU-Graz, Institut für Wärmetechnik
- Mach T., Streicher W. (2001): „Thermische Simulationen zum Neubau der Betriebsanlage der Firma Sonnenkraft“, Forschungsbericht, TU-Graz, Institut für Wärmetechnik
- Padinger R., Prochart G., Kaefer G. (2003): „Energy saving in residential buildings through intelligent use of telecommunication“, Beitrag zur internationalen Tagung „tcmc 2003“, (Telecommunications and Mobile Computing), am 11. und 12. März 2003 in Graz
- Padinger R.; Puschnig P. (2004): „Verringerung des Energieeinsatzes im Haus der Zukunft durch Nutzung innovativer Informationstechnologien“, Projektpräsentation im Rahmen der vom bmvit veranstalteten Tagung „Heizen und Lüften im Haus der Zukunft“ am 12. März 2004 in Kufstein.
- Streicher W. (2001): „Thermische Gebäudesimulation - Technik, Anforderungen, Beispiele“, Beitrag zum internationalen Kongress „e-nova“, 8.-9. November 2001, FH-Pinkafeld, S. 245 – 257
- CGALIES Final Report (2002): Report on implementation issues related to access to location information by emergency services (E112) in the European Union. http://europa.eu.int/comm/environment/civil/pdfdocs/cgaliesfinalreportv1_0.pdf.

- Fact Sheet (2001): Fact Sheet: E911 Phase II Decisions. Federal Communications Commission, Washington, DC
- Dolphin Satarlarm. <http://www.dolphin.co.at/>.
- Jahnel D. (2001): „Datenschutz im Internet. Rechtsgrundlagen, Cookies und Web-Logs“, ecolex 2001, 84.
<http://www.sbg.ac.at/ver/people/jahnel/datenschutziminternet.pdf>
- Jahnel D. (2003): Spamming, Cookies, Web-Logs, LBS und die Datenschutzrichtlinie für elektronische Kommunikation, wbl 2003, 108
- LOCUS 2002. Location of Cellular Users for Emergency Services.
<http://www.telematica.de/locus/>
- A1 – Telecommander, <https://www.a1.net/telecommander/>.
- Fleet Manger. http://www.t-mobile.at/business/mobiles_arbeiten/fleet_manager/.
- Telcone. <http://www.pausch.at/htm/g/tel/telcone/index.htm>.
- Hofmann-Wellenhof B., Kienast G. , Lichtenegger H. (1994):“GPS in der Praxis“, Springer Verlag; Wien, New York; 1994.
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. , Collins J. (1992): “GPS Theory and Practice”; Springer Verlag; Wien, New York; 1992.
- CPS 2002. Cambridge Positioning Systems. <http://www.cursor-system.com>.

9 ANHANG

9.1 Veröffentlichungen im Rahmen des gegenständlichen Projekts

9.1.1 Beitrag zur Internationale Fachtagung „tcmc“ am 11./12. März 2003 in Graz

Energy saving in residential buildings through intelligent use of telecommunication

Reinhard Padinger

reinhard.padinger@joanneum.at
Joanneum Research
Graz, Austria

Guenter Prochart and Gerald Kaefer

{prochart, kaefer}@iti.tugraz.at
Institute for Technical Informatics
University of Technology
Graz, Austria

Abstract - This paper describes ongoing research on reducing energy consumption in a future home through the use of telecommunication technologies in linking information on the home environment with location information. Technical parameters of room heating systems including boiler control can be monitored and influenced remotely via internet or mobile device. Thus, it is possible to optimize the energy supply of a building by adjusting for example room temperature or hot water temperature set point while nobody is at home. Furthermore, location based and context aware information using sensor badges, IR networks, mobile phone networks, and GPS may be integrated to take into account the position of a mobile user through cell information or triangulation. These technologies offer the possibility to control the technical equipment of residential buildings automatically, depending on the movements of occupants inside and outside.

Keywords: Future home; energy saving; context awareness; location awareness; building of tomorrow.

I. INTRODUCTION

Energy demand reduction in buildings is one of the most important possibilities to reduce the level of human greenhouse gas emissions. Beside the optimization of thermal insulation and the use of solar energy, the energy supply for a building can be reduced by lowering room and boiler water temperatures during periods in which the temperature level is not really needed, e. g. if nobody is at home. However, when one of the occupants returns back home all temperatures should be back at the desired level. The possibilities to reduce the energy demand in residential buildings using telecommunication and location awareness technologies are currently analyzed in a research and development project [1] of the Austrian Federal Ministry of Transport, Innovation, and Technology. The project work which is done by Joanneum Research together with the Institute for Technical Informatics of Graz University of Technology contains three main tasks

- ? Analysis of energy reduction for buildings by occasionally lowering the temperature level for different boundary conditions using building simulation models.
- ? Evaluation of different communication technologies in respect of technical and practical suitability, data security, and economic questions.

- ? Tests of a heating control system in combination with an appropriate telecommunication system in practical operation using an automatic biomass boiler.

Furthermore, the exponential growth of computation power and the miniaturization of hardware have created a wide spectrum of communication devices and computing gadgets which are always close to a person at any location and computers which are available throughout the physical environment [2]. Changing a user's position implicates a change of the context, which may be information such as location, time, or orientation of a device [3, 4]. There is a wide acceptance and penetration of such devices. Considering these established technologies user position information should also be integrated for saving energy and automation of residential buildings, such as the control of lights, electronic devices, and heating systems.

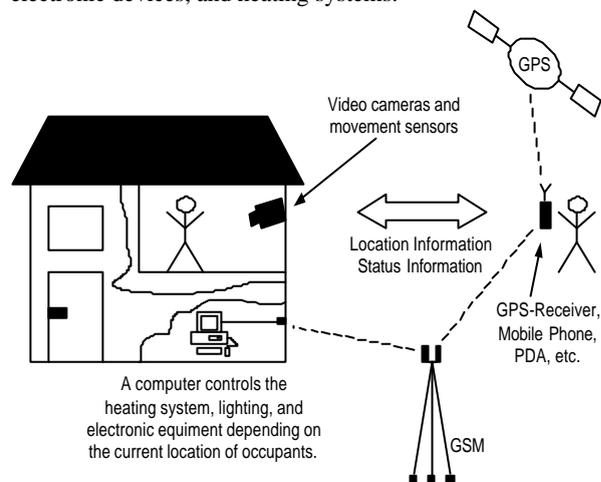


Fig. 1. Basic concept of an automated home management system.

II. ENERGY SAVING USING TELECOMMUNICATION

Telecommunication technologies nowadays make it possible to monitor and change for example technical parameters of room heating systems including boiler control remotely via internet or mobile phone. Fig. 1 shows the basic idea. In this way it is possible to optimize the energy supply of a building by adjustment of the

- ? room temperature set point and
- ? hot water temperature set point

while nobody is at home. For example, the occupant may send a "Short Message" to the control system of the building that he or she will return home at a certain time. The heating system – having been set to a low level operation mode before – will restart or adjust its operation to provide the desired condition at the desired time. However, some user interaction is needed in this case.

III. ENERGY SAVING THROUGH OUTDOOR LOCATION AWARENESS

Location awareness is the capability to obtain current position information and to react depending on that information. Position information can be acquired by GPS, radio bearing or conventional ultrasonic, magnetic or infrared tracking systems. Also mobile phone networks could be used for positioning through cell information or triangulation of transceiver station signals. For the purpose of managing technical components of a house remotely (mainly the heating system), two possible technologies which can provide location information are reasonable:

- ? GSM: The system can provide inherently cell based location information. The accuracy of the acquired location information which is equivalent to the size of a cell a user is currently situated at is sufficient for the aimed purpose. Moreover, this system includes a communication channel to transfer this information to the home management system and has an excellent penetration.
- ? GPS: The global positioning system provides position information with an accuracy of a few meters. Additionally, a communication channel has to be established to provide the position information to the home management system.

IV. ENERGY SAVING THROUGH INDOOR LOCATION AWARENESS

Normally, heating systems are managed by control units running typical schedules. Minor and even major changes of boundary conditions cannot be taken into account easily, adjustments have to be made manually. Location awareness inside of buildings can increase the degree of automation. Current positions of persons can be used to make individual settings for lighting, heating, etc. for single rooms. Whenever all occupants leave the house, all lights can be switched off and the heating system can be reduced to a necessary minimum. Thus, reasonable energy controlling of a heating system can be obtained using location information of occupants. For the purpose of acquiring location information of occupants two types of sensor technologies are practically suitable:

- ? Movement sensors and video cameras: Inside a building, current positions of occupants can be detected in order to control individual settings for single rooms (temperature, light, electronic equipment).
- ? Badges: The Active Badge [5] and the Bat [6] systems can be used to track persons wearing electronic badges. The former technology uses IR, the latter uses ultrasonic. Both systems are used inside of buildings and can provide an excellent accuracy concerning the obtained position information. However, many of

sensors have to be placed throughout a building and people have to wear an electronic tag.

V. SUMMARY AND FUTURE WORK

Preliminary results allow optimistic evaluation of possibilities to reduce energy supply for residential buildings by intelligent usage of telecommunication technologies together with context and location awareness. A detailed analysis of the energy amount that can be saved by the different options will be carried out in the project.

A home management system using location awareness to save energy and increase automation would be of advantage. However, the position of all occupants has to be obtained and managed. A study of the necessary control functions and location sensors will follow. Possible applications using technologies like GSM or GPS to acquire position information in order to save energy in residential buildings will be examined. These technologies are available today, but nevertheless potential technical and economical problems have to be solved.

VI. REFERENCES

- [1] Austrian Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology, The Austrian Program on Technologies for Sustainable Development, Subprogram "Building of Tomorrow", <http://www.hausderzukunft.at>
- [2] Mark Weiser, "Some Computer Science Problems in Ubiquitous Computing", Communications of the ACM, July 1993
- [3] J. Hong and J. Landay, "An Infrastructure Approach to Context-Aware Computing", Human-Computer Interaction, 2001
- [4] Albrecht Schmidt, Michael Beigl, and Hans-W. Gellersen, "There is no more to context than location", Computers and Graphics, 1999
- [5] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, "The Active Badge Location System", Olivetti Research Ltd. (ORL), Cambridge, England
- [6] A. Ward, A. Jones, A. Hopper, "A New Location Technique for the Active Office", IEEE Personal Communications, Vol.4, No. 5, October 1997, pp. 42-47

9.1.2 Projektpräsentation im Rahmen der vom bmvit veranstalteten Fachtagung „Heizen und Lüften im Haus der Zukunft“ am 11. März 2004 in Kufstein

Die Ergebnisse des gegenständlichen Porjekt wurden am 12. März 2004 im Rahmen der vom bmvit veranstalteten Fachtagung „Heizen und Lüften im Haus der Zukunft“ öffentlich präsentiert [Padinger R., Puschnigg P., 2004]

9.2 Bericht zum Subwerkvertrag mit dem Institut für Wärmetechnik der TU-Graz betreffend die Durchführung von Thermischen Simulationsrechnungen

Thermische Simulationen

zum Projekt

Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ durch Nutzung innovativer Informationstechnologien

Haus der Zukunft

3. Ausschreibung

396/03 (alte Jobnummer)

D-1307 000 013 (neue Jobnummer)

Institut für Wärmetechnik (IWT)
Technische Universität Graz
Inffeldgasse 25/B
8010 Graz

Tel: 0316 / 873 7306

Fax: 0316 / 873 7305

Email: peter.puschnig@TUGraz.at

www: <http://wt.tu-graz-ac-at>

Projekt:

Verringerung des Energieeinsatzes im „Haus der Zukunft“ durch Nutzung innovativer Informationstechnologien

Haus der Zukunft, 3. Ausschreibung

Auftraggeber:

JOANNEUM RESEARCH
Institut für Energieforschung
Elisabethstraße 5/I
A – 8010 Graz
Telefon: +43(0)316-876-1338
Fax: 06415 89204
Fax: +43(0)316-876-1320

Kontaktperson:

Dipl.-Ing. Dr. techn. Reinhard Padinger
Tel: +43(316)876-1333
Fax: +43(316)8769-1333
reinhard.padinger@joanneum.at

Auftragnehmer:

Institut für Wärmetechnik, Technische Universität Graz
Inffeldgasse 25 / B
8010 Graz
Tel.: 0316-873-7301
Fax: 0316-873-7305
E-mail: sek@iwt.tu-graz.ac.at

Bearbeitungszeitraum: Mai – September 2003

Bearbeitung:

Institut für Wärmetechnik – **Im Rahmen der Teilrechtsfähigkeit**
Technische Universität Graz
Inffeldgasse 25B, 8010 Graz

Autor:

Dipl. Ing. Dr. rer. nat. Peter Puschnig
Tel. 0316/ 873 7314
Fax. 0316/ 873 7305
email: peter.puschnig@TUGraz.at

INHALT

Teil A: Konzeption und Zusammenfassung der Ergebnisse	99
1. Aufgabenstellung	100
2. Vorgangsweise	100
2.1. Wahl eines Vergleichsgebäudes mit entsprechender Nutzung ..	100
2.2. Definition der Konstruktionsaufbauten.....	100
2.3. Bestimmung der Vergleichszone	100
2.4. Bestimmen der Temperaturabnahmeflächen	100
2.5. Modellaufbau.....	100
2.6. Entwicklung eines Testszenarios.....	101
2.7. Durchführung der Simulationen.....	101
2.8. Auswertung des Jahresheizwärmebedarfs	101
2.9. Vergleich der Temperaturverläufe in Grafiken.....	101
3. Zusammenfassung der Ergebnisse.....	102
3.1. Jahresheizwärmebedarf und Temperaturverläufe	102
3.2. Behaglichkeitsstudien.....	105
3.3. Feuchteproblematik	107
3.4. Diskussion der Ergebnisse	108
Teil B: Thermische Simulation des Gebäudes	110
1 Wahl eines Vergleichsgebäudes	110
1.1 Kubaturen und innere Aufteilung des Vergleichsgebäudes	110
1.2 Geometrie	113
1.3 Strahlungsangebot auf die Gebäudeaußenflächen.....	116
1.4 Verglaste Flächen	117
1.5 Lüftungsannahmen	119
1.6 Heizung	119
2 Angenommene Konstruktionsaufbauten	120

3	Auswahl einer Vergleichszone und die Zonierung des Gebäudes	127
3.1	Die Vergleichszone	127
3.2	Die thermische Zonierung des Gebäudes	128
3.3	Geometrische Auswertung der thermischen Zonen	129
3.4	Personenbelegung der Zonen	138
3.5	Innere Lasten	138
3.6	Beschattungen	138
4	Bestimmen der Temperaturabnahmeflächen	139
5	Aufbau der Testszenarien	141
5.1	Klimatische Randbedingungen	141
5.2	Erdreichtemperaturen	144
6	Beschreibung der Testszenarien	147
6.1	Dreiwöchiger Urlaub	147
6.2	Einwöchiger Urlaub	148
6.3	Wochenendhaus	149
6.4	Arbeitsdomizil	149
6.5	Tagesabsenkung	150
6.6	Nachtabsenkung	151
7	Energetische Auswertung	153
7.1	Generelle Abkühl- und Aufheizcharakteristika	153
7.2	Dreiwöchige Urlaubsphase	160
7.3	Einwöchige Urlaubsphase	163
7.4	Wochenendhaus	168
7.5	Arbeitsdomizil	172
7.6	Tagesabsenkung	176
7.7	Nachtabsenkung	180
8	Behaglichkeitsstudien	183

9	Relative Luftfeuchtigkeit.....	190
10	Thermische Gebäude und Anlagensimulation.....	193
11	Literaturangaben	196

Nomenklatur

ADJACENT	Bezeichnung für eine Bauteilfläche, die zwei thermische Zonen voneinander trennt	[-]
AREA	Bauteilfläche Bauteile der Außenhülle (brutto) Innenbauteile (netto)	[m ²]
BACK	Der Aufbau eines Bauteiles geht von „front“ nach „back“	[-]
BOUNDARY	Bauteilfläche an deren Außenseite eine gleichbleibende Temperatur angenommen wird	[-]
CAPACITY	Spezifische Wärmekapazität	[kJ/(kg K)]
CAPACITANCE	Kapazität der im Luftknoten einer Zone vorhandenen Masse	[kJ/K]
CONDUCTIVITY	Wärmeleitfähigkeit	[kJ/(h m K)]
DENSITY	Stoffdichte	[kg/ m ³]
EXTERNAL	Bezeichnung eines Bauteiles das an die Außenluft grenzt	[-]
FRONT	Der Aufbau eines Bauteiles geht von „front“ nach „back“	[-]
FSKY	Anteil der Himmelshalbkugel der eine Sichtverbindung mit einer Fläche hat	[%/100]
GEOSURF	Anteil der in eine Zone gelangten Solarstrahlung der einem Bauteil zugeordnet wird	[-]
IDENTICAL	Bauteilfläche an deren Außenseite die gleichen thermischen Bedingungen wie an der Innenseite angenommen werden	[-]
INTERNAL	Bezeichnung für einen Bauteil im Inneren einer Zone	[-]
ORI	Ausrichtung einer Bauteilfläche (facing equater = 0)	[°]

PHINITIAL	Relative Luftfeuchtigkeit am Beginn der Simulation (Startwert)	[%]
SURF	TRNSYS interne Bezeichnung einer Fläche (Flächennummerierung)	[-]
TINITIAL	Lufttemperatur am Beginn der Simulation (Startwert)	[°C]
VOLUME	Nettovolumen einer thermischen Zone (eingeschlossenes Luftvolumen)	[m³]
WINGWALL	Fläche die eine Beschattung bewirkt	[-]

Verwendete Unterlagen

Klimadaten

Stundenwerte, Messstandort Graz (Karl-Franzens Universität), Jahre 1991 – 2000, bezogen von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG).

Konstruktionsaufbauten

Konstruktionsaufbauten der Konstruktionsvarianten 1 bis 5 in Anlehnung an das Projekt „Thermische Simulationen zum Holz 100 Bausystem der Firma Ing. Erwin Thoma Holz GmbH, Endbericht Institut für Wärmetechnik / AEE INTEC (2002).“ / 5.

Geometrie der Gebäude

Als Vergleichsgebäude wurden Planunterlagen für ein real gebautes Einfamilienhaus herangezogen, in Anlehnung an das Projekt „Thermische Simulationen zum Holz 100 Bausystem der Firma Ing. Erwin Thoma Holz GmbH, Endbericht Institut für Wärmetechnik / AEE INTEC (2002).“ / 5.

Teil A: Konzeption und Zusammenfassung der Ergebnisse

Dipl.-Ing. Dr. rer. nat. Peter Puschnig

1. Aufgabenstellung

Es soll das thermische Verhalten eines Einfamilienhauses unter bestimmten klimatischen Verhältnissen, unterschiedlichen Konstruktionsaufbauten und vorgegebenen Nutzungsbedingungen simuliert werden. Insbesondere sollen die Auswirkungen verschiedener rhythmisch anzunehmender Absenkungen der Raumluft Solltemperatur auf die benötigte Heizleistung und den Energiebedarf untersucht werden.

2. Vorgangsweise

2.1. Wahl eines Vergleichsgebäudes mit entsprechender Nutzung

Definition der Gebäudegeometrie eines Vergleichsgebäudes in Anlehnung an ein reales, bereits gebautes Einfamilienhaus. Weiters werden die einem üblichen Einfamilienhaus entsprechenden Nutzungsdaten / 1 festgelegt.

2.2. Definition der Konstruktionsaufbauten

Fünf verschiedene, zu vergleichende Konstruktionsvarianten des Vergleichsgebäudes werden bestimmt und mit ihren wichtigsten thermischen Stoffwerten im Bericht festgehalten (Tabelle 7 bis Tabelle 12). Eine Kurzbeschreibung der Konstruktionsvarianten (KV) wird im Folgenden angeführt:

KV1	Holzständerbau mit Holzbalkendecken und leichten Innenwänden
KV2	Ziegelbau (HLZ 38cm) mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden
KV3	Ziegelbau (HLZ 38cm incl. 10cm Dämmung) mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden
KV4	Massivholzbau System Thoma (17,6cm mit 10 cm Flachsdämmung), 500kg/m ³
KV5	Stahlbetonbau mit Polystyrolämmung und Ziegelinnenwänden

2.3. Bestimmung der Vergleichszone

Wahl eines nach Norden und Westen gerichteten Eckzimmers im ersten Obergeschoss als Vergleichszone (vgl. Abbildung 14).

2.4. Bestimmen der Temperaturabnahmeflächen

Für alle Konstruktionsvarianten werden die Bauteilflächen, deren Temperaturverläufe aufgezeichnet werden sollen, bestimmt. Jede Bauteilfläche wird mit einer eindeutigen Bezeichnungen versehen (vgl. Abbildung 18)

2.5. Modellaufbau

Modellierung eines Simulationsmodells mit 46 thermischen Zonen im Simulationsprogramm TRNSYS / 2.

2.6. Entwicklung eines Testszenarios

Festlegen von Graz als Gebäudestandort. Betrachtung der am Standort in den letzten 11 Jahren aufgetretenen klimatischen Bedingungen (Tabelle 20). Aufstellen verschiedener Testszenarien unter Zugrundelegung von Grazer Klimadaten, in denen für definierte Zeiträume die Raumsolltemperatur abgesenkt wird. Festlegen der Heizungsdimensionierung und der Ein- bzw. Ausschaltzeitpunkte des Heizsystems (Tabelle 23).

2.7. Durchführung der Simulationen

Durchführung von insgesamt 30 Simulationsläufen für jede der 5 betrachteten Konstruktionsvarianten und für alle 6 definierten Testszenarien unter Zugrundelegung der klimatischen Bedingungen für den Standort Graz für das Jahr 1998 / 3.

2.8. Auswertung des Jahresheizwärmebedarfs

Auswertung des Datenmaterials in Bezug auf Heizwärmebedarf für alle Konstruktionsvarianten. Insbesondere wird das Einsparungspotential aufgrund der Absenkung der Raumsolltemperatur diskutiert.

2.9. Vergleich der Temperaturverläufe in Grafiken

Darstellung der Temperaturverläufe in den Temperaturabnahmeflächen in ausgewählten Zeitfenstern im Vergleich aller Konstruktionsvarianten.

3. Zusammenfassung der Ergebnisse

3.1. Jahresheizwärmebedarf und Temperaturverläufe

Fünf verschiedene Konstruktionsvarianten des Vergleichsgebäudes wurden auf ihren Jahresheizwärmebedarf für verschiedene Testszenarien untersucht.

- KV1 Holzständerbau mit Holzbalkendecken und leichten Innenwänden
- KV2 Ziegelbau (HLZ 38cm) mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden
- KV3 Ziegelbau (HLZ 38cm incl. 10cm Dämmung) mit Stahlbetondecken und Ziegelinnenwänden
- KV4 Massivholzbau System Thoma (17,6cm mit 10 cm Flachsdämmung), 500kg/m³
- KV5 Stahlbetonbau mit Polystyrolämmung und Ziegelinnenwänden

Den Simulationsrechnungen zugrunde liegen gemessene Klimawerte für das Jahr 1998, das ein durchschnittliches Jahr für den Standort Graz darstellt (vgl. Kapitel 5.1). Tabelle 1 vergleicht den Heizwärmebedarf für die 5 Konstruktionsvarianten, wobei die Raumsolltemperatur 21°C beträgt und eine hygienischer Luftwechsel von 0,5 h⁻¹ angenommen wird.

Tabelle 1: Der jährliche Heizwärmebedarf (HWB) und die Heizlast bei -10°C Außentemperatur für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten bezogen auf die gesamte Nutzfläche des Vergleichsgebäudes.

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
HWB [kWh/m ² a]	81,6	91,3	77,3	76,0	93,7
Heizlast [W/m ²]	42,0	48,5	40,9	40,4	49,5

Um das Einsparungspotential durch Absenkung der Raumluft Solltemperatur bei Abwesenheit von Bewohnern zu studieren, wurden 6 verschiedene Testszenarien definiert (vgl. Kapitel 6).

- „Dreiwöchiger Urlaub“ Eine 3-wöchige Urlaubsphase während der Heizperiode, Temperaturabsenkung auf 15°C bzw. 5°C
- „Einwöchiger Urlaub“ Eine 1-wöchige Urlaubsphase während der Heizperiode, Temperaturabsenkung auf 15°C bzw. 5°C
- „Wochenendhaus“ Das Gebäude ist nur während der Wochenenden (Sa – So) bewohnt, an den Wochentagen wird die Raumtemperatur auf 15°C abgesenkt
- „Arbeitsdomizil“ Das Gebäude ist nur während der Wochentage (Mo – Fr) bewohnt, an den Wochenenden wird die Raumsolltemperatur auf 15°C eingestellt
- „Tagesabsenkung“ Das Gebäude ist tagsüber von 7 – 18 Uhr unbenützt und die Raumsolltemperatur während dieser Zeit wird auf 15°C gesetzt
- „Nachtabenkung“ Die Raumtemperatur wird während der Nachtstunden von 23 – 6 Uhr auf 15°C abgesenkt.

Während Abwesenheit von Personen wird somit jeweils die Raumsolltemperatur von 21°C auf 15° (bzw. auch auf 5°C für die ersten beiden Testszenarien) herabgesetzt. Zusätzlich wird angenommen, dass der hygienische Luftwechsel während Personenabwesenheit auf 0 reduziert werden kann, und nur mehr eine Fugenlüftung von 0,1 h⁻¹ wirksam ist. Für das Testszenario „Nachtabenkung“ wird durchgehend ein hygienischer Luftwechsel von 0,5 h⁻¹ aufrecht erhalten.

Abbildung 1 – 3 fassen die Simulationsergebnisse für den Heizwärmebedarf (HWB) bezogen auf die Nutzfläche des Vergleichsgebäudes für die oben beschriebenen Testszenarien und Konstruktionsvarianten zusammen.

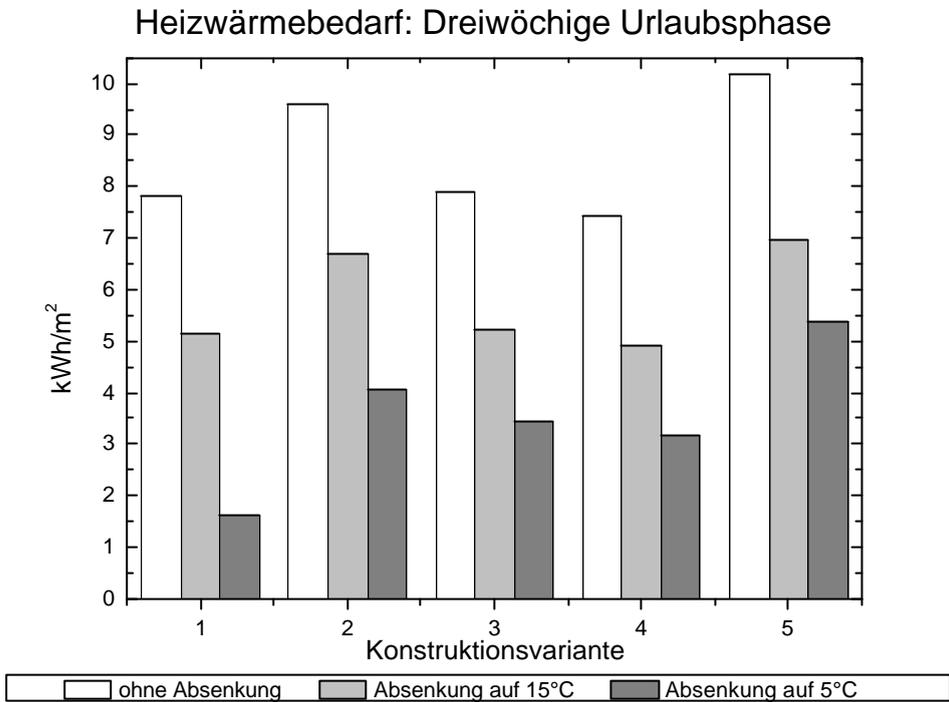


Abbildung 1: Der Heizwärmebedarf (HWB) bezogen auf die gesamte Nutzfläche berechnet für das Testszenario „Dreiwöchiger Urlaub“. Die weißen Balken bezeichnen den HWB in dem betrachteten Zeitraum ohne Temperaturabsenkung während die hellgrauen bzw. dunkelgrauen den HWB bei Absenkung auf 15°C bzw. 5°C angeben.

Heizwärmebedarf: Einwöchige Urlaubsphase

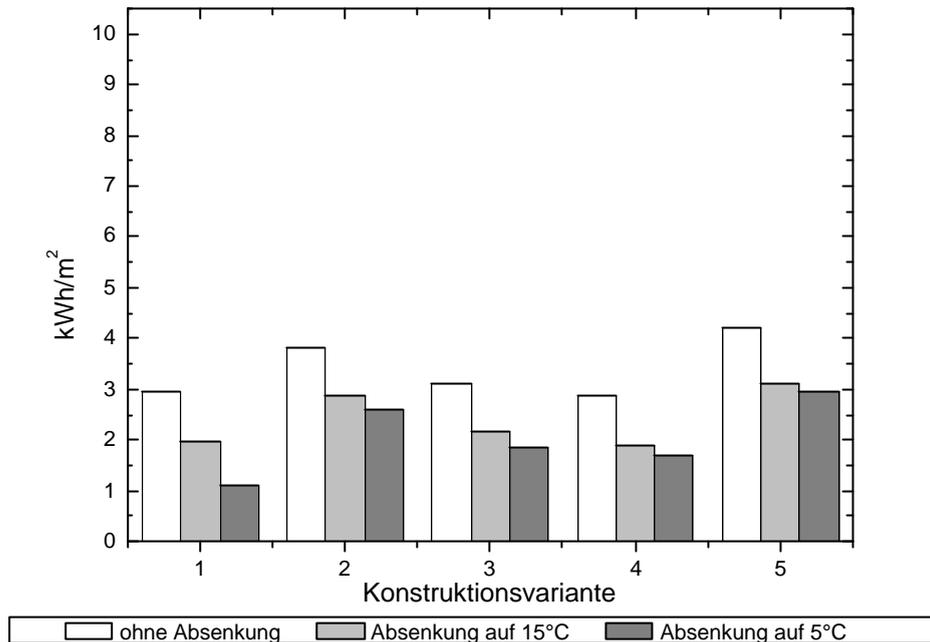


Abbildung 2: Der Heizwärmebedarf (HWB) bezogen auf die gesamte Nutzfläche berechnet für das Testszenario „Einwöchiger Urlaub“. Die weißen Balken bezeichnen den HWB in dem betrachteten Zeitraum ohne Temperaturabsenkung während die hellgrauen bzw. dunkelgrauen den HWB bei Absenkung auf 15°C bzw. 5°C angeben.

Einsparung im Jahresheizenergieverbrauch, $HGT_{20/12} = 3088 \text{ Kd/a}$

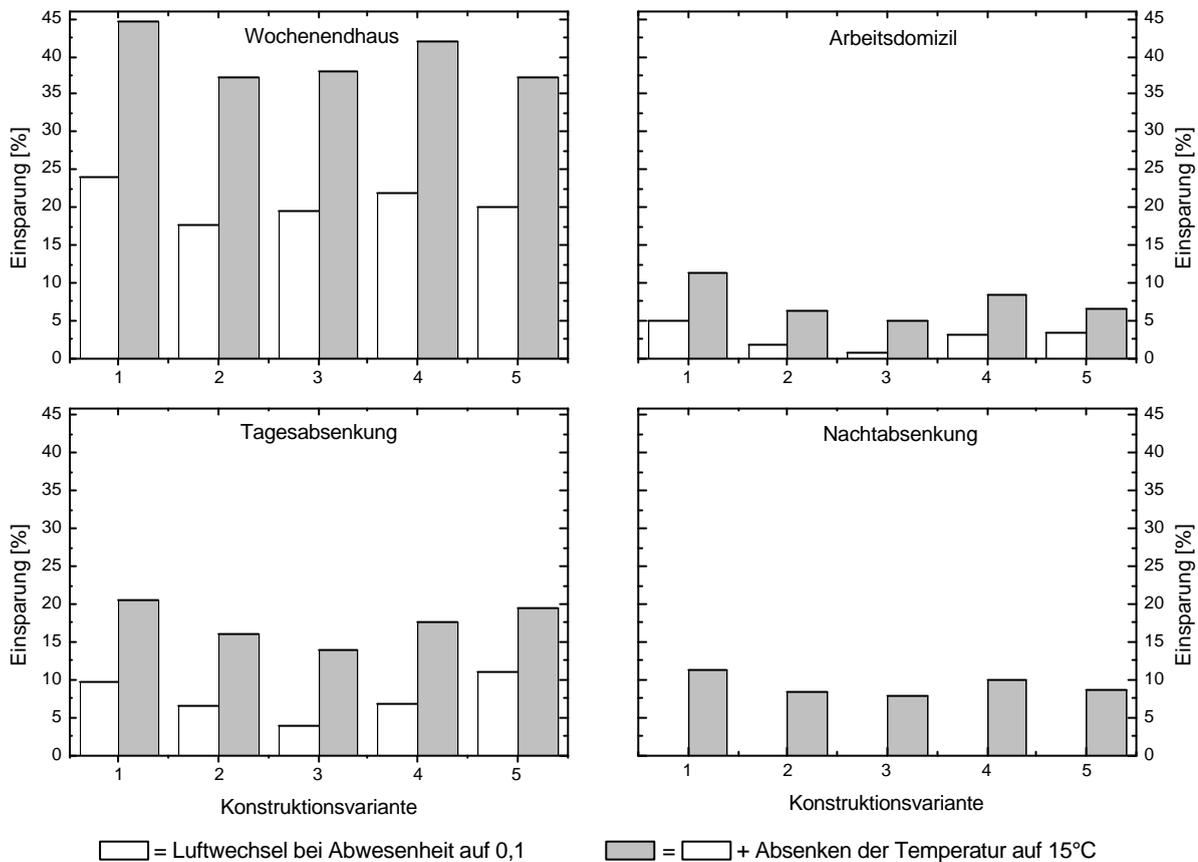


Abbildung 3: Einsparung im Jahresheizwärmebedarf für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten im Vergleich zu den in Tabelle 1 angeführten Werten. Für die 4 Testszenarien „Wochenendhaus“, „Arbeitsdomizil“, „Tagesabsenkung“ und „Nachtabsenkung“ sind jeweils die erzielbaren Einsparungen durch Verringerung des hygienischen Luftwechsels (weiße Balken), und zusätzlicher Absenkung der Raumtemperatur auf 15°C (graue Balken) während Personenabwesenheit dargestellt.

3.2. Behaglichkeitsstudien

Zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit wurde der ppd-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied) herangezogen / 4. Der ppd-Wert wird in Prozent angegeben und zeigt den voraussichtlichen Prozentsatz der Personen, die sich bei den gegebenen Bedingungen thermisch unbehaglich fühlen würden. Je kleiner der „ppd-Wert“ um so höher ist die vorhergesagte thermische Behaglichkeit. vergleicht die fünf betrachteten Konstruktionsvarianten im Testszenario „Wochenendhaus“ in Bezug auf thermische Behaglichkeit miteinander. Hier wird er Unterschied zwischen der Leichtbauweise (KV1 und KV4) und den Massivkonstruktionen (KV2, KV3 und KV5) deutlich. Aufgrund der großen thermischen Speichermassen bei der Massivbauweise liegen bei dieser durchwegs geringere Temperaturen der Innenoberflächen vor, was sich negativ auf die thermische Behaglichkeit auswirkt. Die Auswertung der Simulationsdaten weist den Holzständerleichtbau (KV1) gefolgt von der Holzmassivkonstruktion (KV4) und dem Ziegelmassivbau mit zusätzlicher Dämmung (KV3) als Sieger aus. Am anderen Ende dieser Bewertung findet sich der Ziegelmassivbau (KV2) und schließlich die Stahlbetonmassivbauweise (KV5). Dieses Resultat gilt gleichermaßen für alle betrachteten Testszenarien, die

Unterschiede zwischen den einzelnen Konstruktionsvarianten sind jedoch für das Testszenario „Wochenendhaus“ am stärksten ausgeprägt.

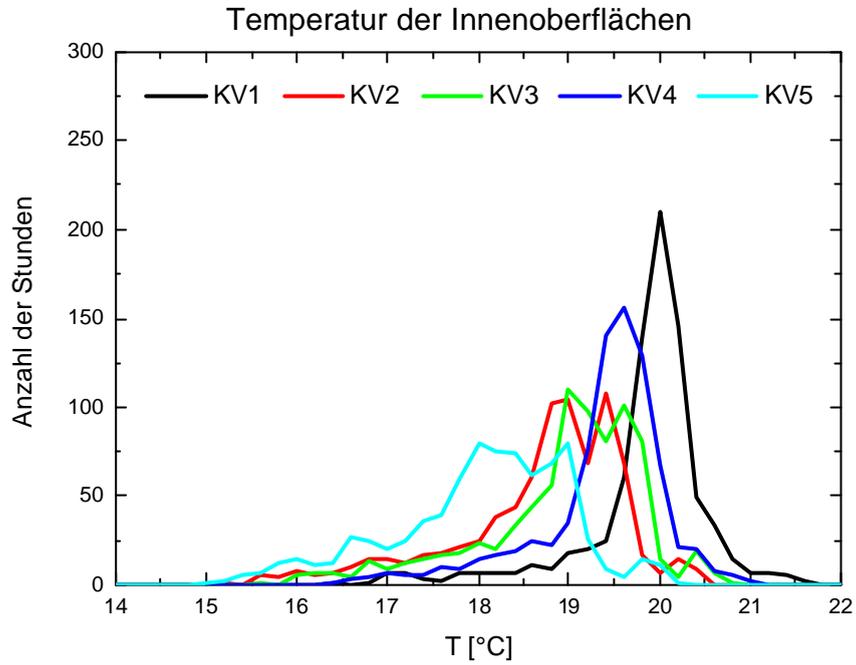


Abbildung 4: Statistische Auswertung der mittleren Temperatur der Innenoberflächen während Personenanwesenheit für das Testszenario „Wochenendhaus“.

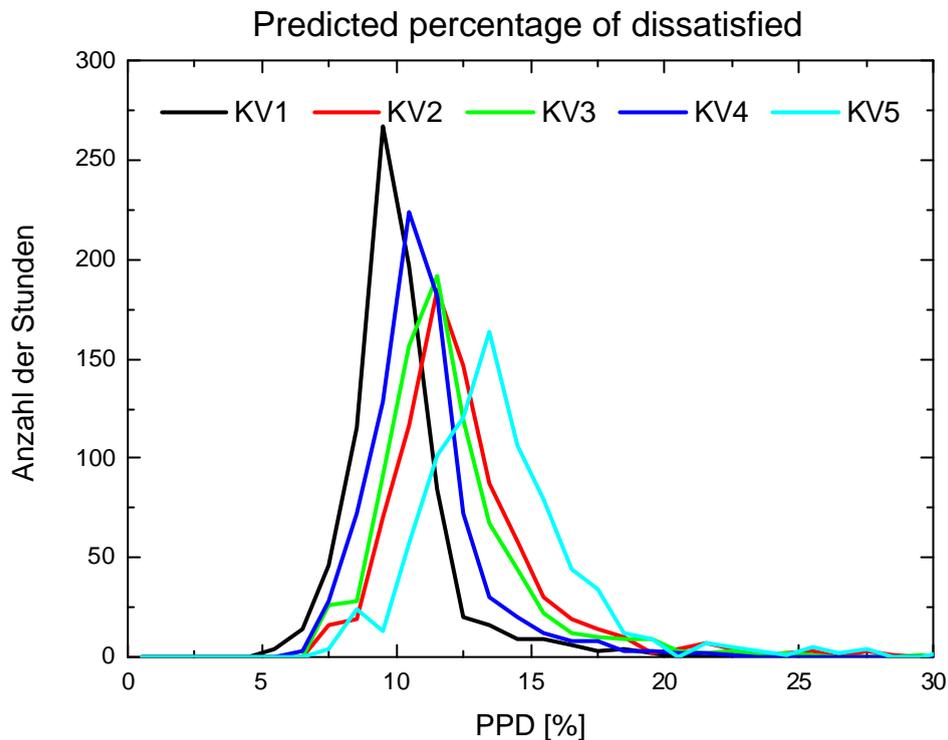


Abbildung 5: Statistische Auswertung des „predicted percentage of dissatisfied“-index während Personenanwesenheit für das Testszenario „Wochenendhaus“.

3.3. Feuchteproblematik

Als weiterer Punkt wurde die Kondensationsgefahr an den Innenoberflächen der Wände während einer Absenkung der Raumsolltemperatur untersucht. Naturgemäß steigt das Kondensationsrisiko je tiefer die Raumtemperatur ist und je länger der Zeitraum der Temperaturabsenkung ist. Aus diesem Grund wurde das Testszenario „Dreiwöchiger Urlaub“ für diese Untersuchungen herangezogen (vgl. Kapitel 9). Für den betrachteten Zeitraum steigt die relative Luftfeuchtigkeit für die KV1 auf über 90% an, wenn die Raumlufthtemperatur auf 5°C abgesenkt wird. Die Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen liegt aber in diesem Fall nur geringfügig unter der Raumlufthtemperatur, somit ist ein Auskondensieren an den Innenoberflächen selbst für diesen Extremfall aber dennoch unwahrscheinlich. Unkritischer ist die Situation für die KV5, da aufgrund der hohen Speichermassen die Raumlufthtemperatur nicht so weit absinkt und nur ein Maximalwert von knapp 80% relative Luftfeuchtigkeit erreicht wird. Keine Probleme entstehen für beide Konstruktionsvarianten, wenn die Raumlufthtemperatur nur auf 15°C abgesenkt wird. In diesem Fall liegt die relative Luftfeuchtigkeit durchwegs unter 50%. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei einer Absenkung der Raumtemperatur auf 5°C unter Umständen nicht mehr gewährleistet werden kann, dass es nicht zur Kondensation an den Innenwänden kommt. Für die untersuchten Konstruktionsvarianten und Testszenarien mit dem Klimadatensatz von Graz 1998 wurden Maximalwerte von rund 90 % für die Leichtbauweise erreicht.

Problemlos hingegen erscheint ein Absenken auf 15°C, und aus einer Interpolation der Simulationsergebnisse heraus lässt sich auch noch ein Wert von 10°C durchaus empfehlen.

3.4. Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegende Studie untersucht das thermische Verhalten eines Einfamilienhauses in 5 unterschiedlichen Konstruktionsvarianten, von der Holzständerleichtbauweise bis zum Stahlbetonmassivbau, wobei der Jahresheizwärmebedarf zwischen 76 und 94 kWh/m²a liegt (vgl. Tabelle 1). Hierbei wurde die Raumlufttemperatur mit 21°C, der hygienische Luftwechsel mit 0,5 h⁻¹ angesetzt, und ein Klima mit einem Heizgradtagewert von $HGT_{20/12} = 3088 \text{ Kd/a}$ angenommen.

Insbesondere werden die Auswirkungen verschiedener rhythmisch anzunehmender Absenkungen der Raumlufttemperatur auf den Heizwärmebedarf untersucht (6 Testszenarien). Wie die Simulationsergebnisse für die verschiedenen Testszenarien zeigen, bringt ein Absenken der Raumlufttemperatur auf jeden Fall eine Einsparung in der Heizwärme, sei es nun für die Leicht- oder Massivbauweise (Abbildung 1 – 3). Aufgrund der schnelleren Auskühl- und Aufheizezeiten ist hierbei die Leichtbauweise gegenüber der Massivbauweise leicht im Vorteil. So bringt etwa eine Nachtabsenkung von 21°C auf 15°C zwischen 23 und 6 Uhr rund 11% Einsparung für den Holzständerleichtbau, während nur etwa 8% Einsparung für die Ziegel- bzw. Stahlbetonmassivkonstruktionen zu erzielen sind. Hierbei ist zu bemerken, dass für die durchgeführten Berechnungen das Heizungssystem als ideales – das heißt trägheitsfreies – Wärmeabgabesystem simuliert wurde. Reale Wärmeabgabesysteme weisen naturgemäß eine von Null verschiedene Zeitkonstante auf, die zwischen rund ½ Stunde für eine Radiatorenheizung und 2 Stunden für eine Fußbodenheizung liegt. Solange die Zeitkonstante für das Auskühlen bzw. Aufheizen des realen Wärmeabgabesystems viel kleiner als der Zeitraum der gewünschten Temperaturabsenkung bleibt, stellt ein ideales Wärmeabgabesystem eine hervorragende Näherung dar (Testszenarien „Dreiwöchiger Urlaub“, „Einwöchiger Urlaub“, „Wochenendhaus“, und „Arbeitsdomizil“). Für den Fall, dass die Zeitkonstante vergleichbar mit der Länge der Temperaturabsenkung wird (Testszenarien „Tagesabsenkung“, und „Nachtabsenkung“), und zusätzlich der gesamte Abkühl- bzw. Aufheizvorgang von der Zeitkonstante des Wärmeabgabesystems dominiert wird, wird die Einsparung an Heizwärme berechnet für eine ideale Heizung etwas größer sein als die für ein reales Heizungssystem. Im Klartext heißt das: die berechneten 11% Einsparung für eine Nachtabsenkung von 21°C auf 15°C können bei Verwendung einer Fußbodenheizung in einem Holzständerleichtbau nicht erzielt werden. Neben dem Kriterium des Heizwärmebedarfs vergleicht diese Arbeit unterschiedliche Bauweisen auch anhand ihrer Behaglichkeitswerte. Hierbei schneidet wiederum der Holzständerleichtbau am besten ab, da nach einer Aufheizphase die Oberflächentemperaturen der Innenwände aufgrund der geringen thermischen Speichermassen sehr rasch ansteigen (Abbildung 4 und 5). Hieraus ergibt sich – auch energetisch betrachtet – in der Praxis ein zusätzlicher Vorteil der Leichtbauweise. Da in der Massivbauweise die *empfundene* Raumtemperaturen nach einer Aufheizphase geringer ist als in der Leichtbauweise (bei identischen Werten für die Raumlufttemperatur), ist zu erwarten, dass die Raumlufttemperatur bei ersterer auf einen höheren Wert eingestellt wird, was sich natürlich in einem größerem Heizwärmebedarf niederschlägt.

Teil B: Thermische Simulation des Gebäudes

Dipl.-Ing. Dr. rer. nat Peter Puschnig

1 WAHL EINES VERGLEICHSGEBÄUDES

1.1 Kubaturen und innere Aufteilung des Vergleichsgebäudes

Die Kubaturen und die Ausrichtungen der Fassaden des als Vergleichsgebäude gewählten Baukörpers sind dem Projekt „Thermische Simulationen zum Holz 100 Bausystem der Firma Ing. Erwin Thoma Holz GmbH, Endbericht Institut für Wärmetechnik / AEE INTEC (2002).“ Entnommen / 5. Die vertikalen Wände des Kellergeschosses (blauer Quader) sind als vollständig erdberührt angenommen. Der Dachkörper ist als gut belüftetes Kaltdach ausgeführt. Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen den gesamten Baukörper mit seiner inneren Einteilung in Zonen (= Innenräume) .

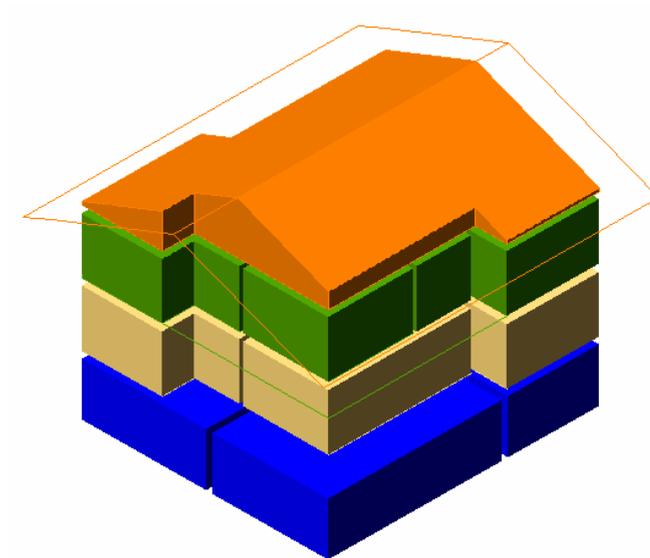
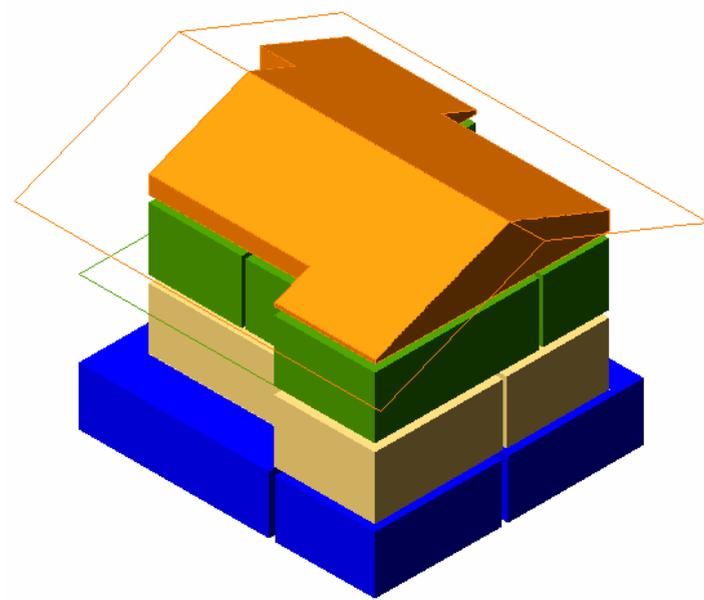
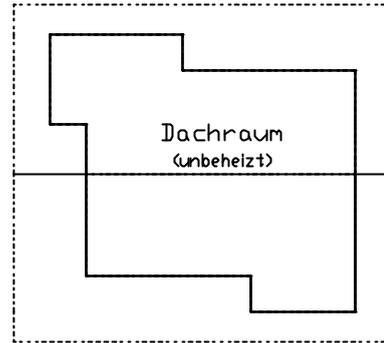
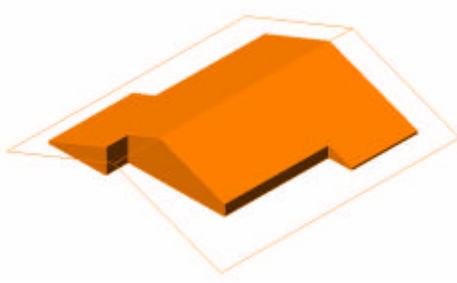
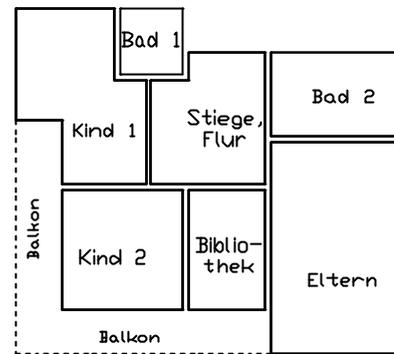
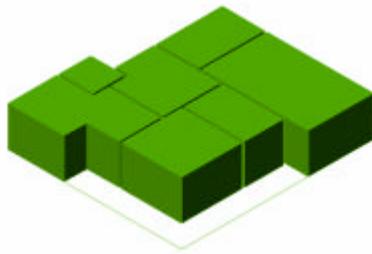


Abbildung 6: Anordnung der Kubaturen des gewählten Vergleichsgebäudes

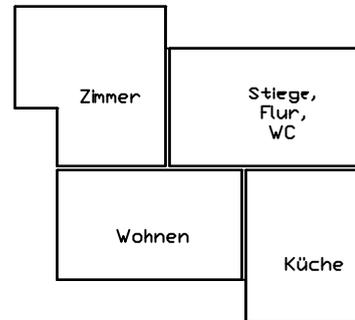
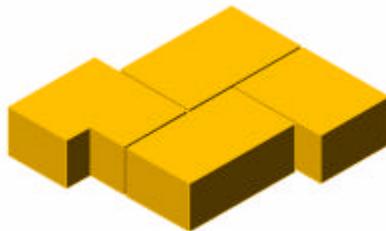
Dachraum



Obergeschoss



Erdgeschoss



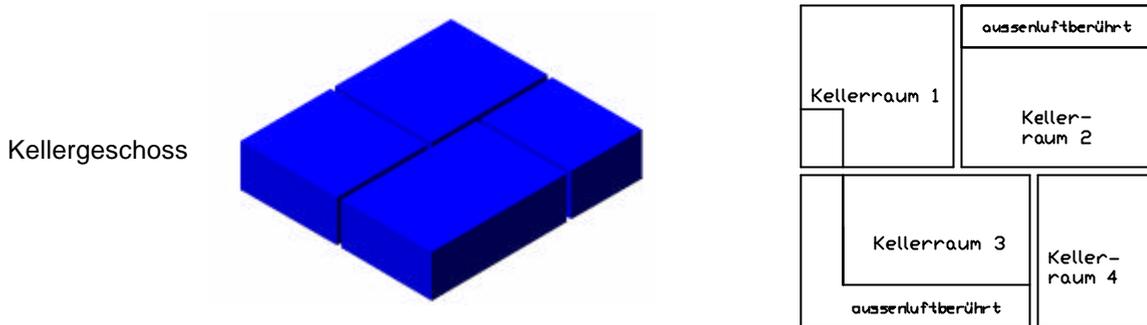


Abbildung 7: Darstellung der Unterteilung des Baukörpers mit seiner inneren Aufteilung in einzelne Zonen (=Innenräume)

1.2 Geometrie

Für die Flächen von Außenbauteilen wurden Nettoabmessungen verwendet; für die Flächen von Innenbauteilen Nettoabmessungen bezogen auf die Symmetrieachsen der Trennwände zwischen den Zonen (= Innenräume). Das Volumen einer Zone ist das tatsächlich eingeschlossene Luftvolumen (Nettovolumen). Abbildung 8 bis Abbildung 11 und Tabelle 2 zeigen die geometrische Auswertung des Baukörpers.

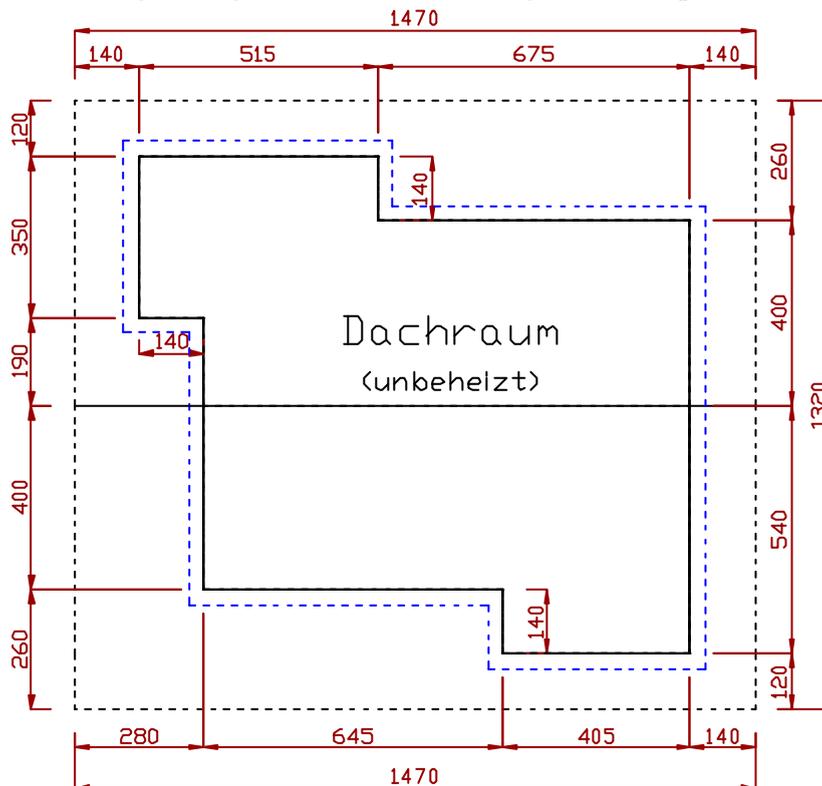


Abbildung 8: geometrische Auswertung der Berechnungsflächen für den Dachraum

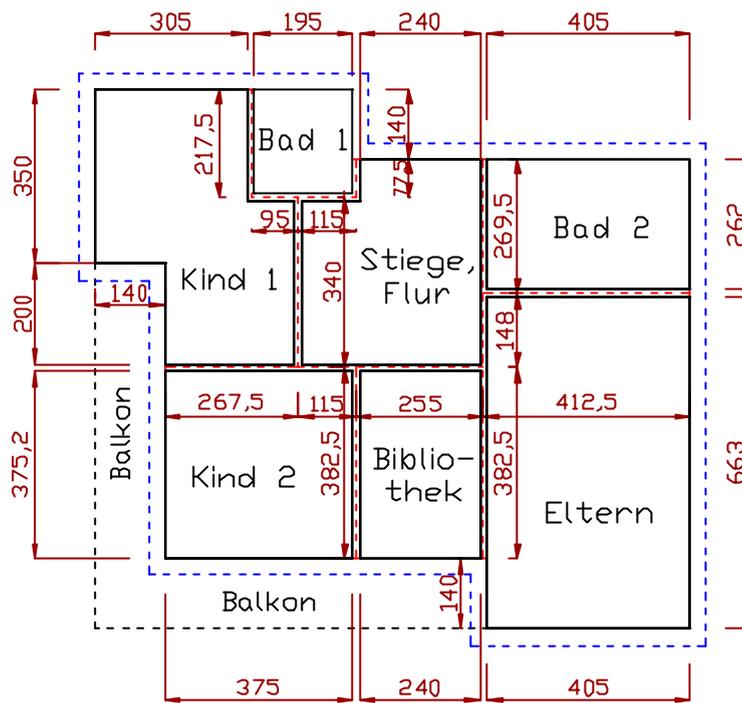


Abbildung 9: geometrische Auswertung der Berechnungsflächen für das Obergeschoss

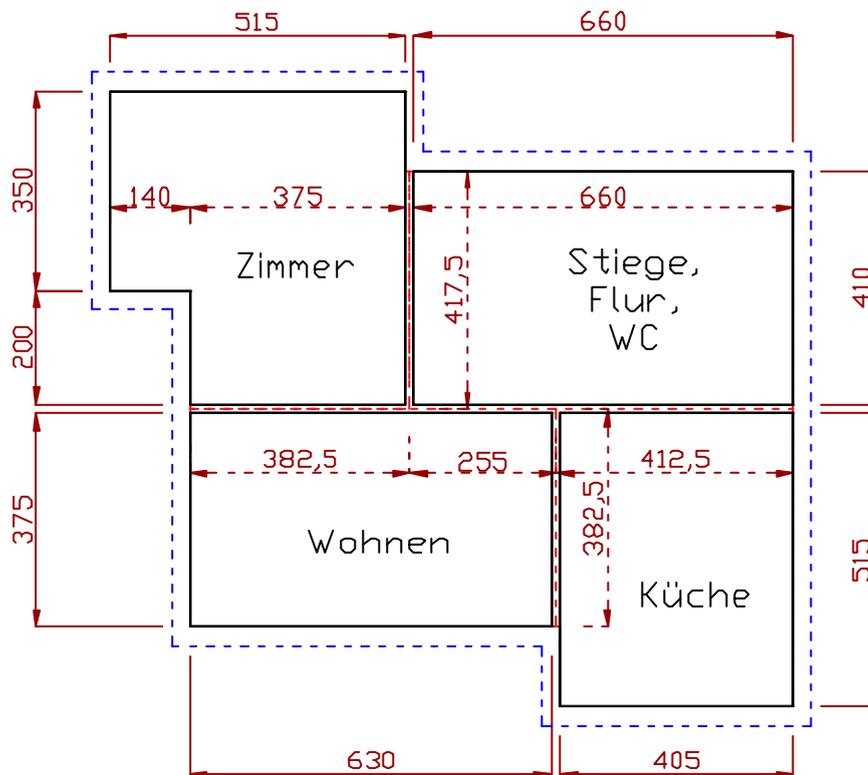


Abbildung 10: geometrische Auswertung der Berechnungsflächen für das Erdgeschoss

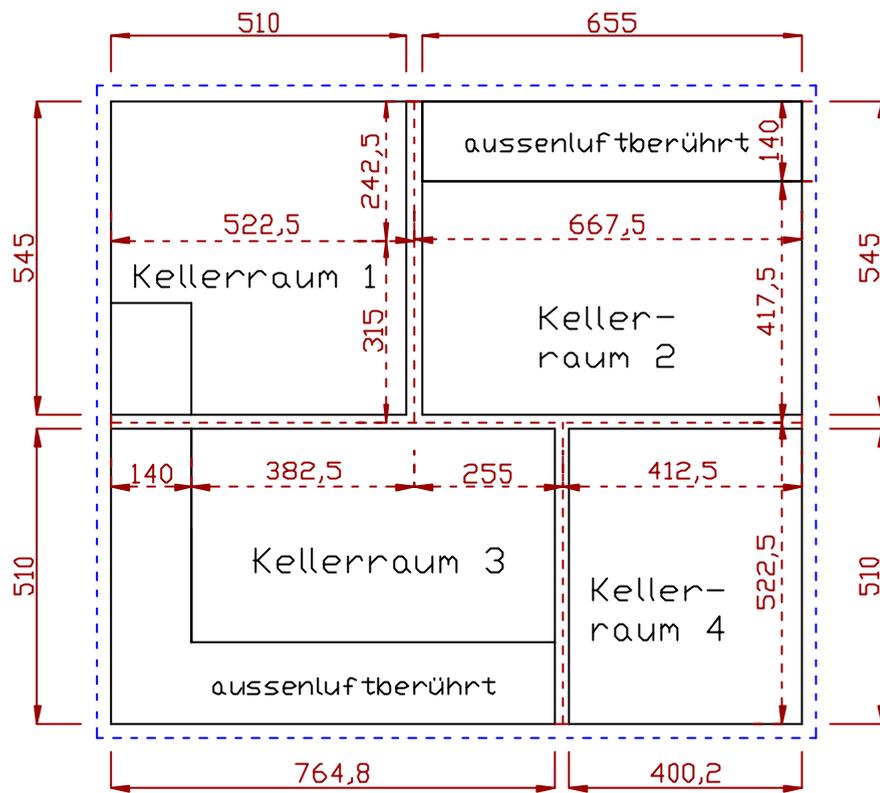


Abbildung 11: geometrische Auswertung der Berechnungsflächen für das Kellergeschoss

Tabelle 2: geometrische Auswertung des Vergleichsgebäudes

geometrische Auswertung (netto)													
	Volumen	Höhe	Raumbegrenzungsflächen										
			horizontal		vertikal								
			Deck	Grund	Nord		Süd		Ost		West		
					Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche	
[m³]	[m]	[m²]		[m]	[m²]	[m]	[m²]	[m]	[m²]	[m]	[m²]		
KG	Kellerraum 1	65,32	2,35	-	27,80	5,10	11,99	-	-	-	-	5,45	12,81
	Kellerraum 2	83,89	2,35	-	35,70	6,55	15,39	-	-	5,45	12,81	-	-
	Kellerraum 3	91,66	2,35	-	39,00	-	-	7,65	17,97	-	-	5,10	11,99
	Kellerraum 4	47,96	2,35	-	20,41	-	-	4,00	9,40	5,10	11,99	-	-
		288,83			122,91	11,65	27,38	11,65	27,38	10,55	24,79	10,55	24,79
EG	Zimmer	63,81	2,50	-	25,52	5,15	12,88	1,40	3,50	1,40	3,50	5,50	13,75
	Stiege, Flur, WC	67,65	2,50	-	27,06	6,60	16,50	-	-	4,10	10,25	-	-
	Wohnen	59,06	2,50	-	23,62	-	-	6,30	15,75	-	-	3,75	9,38
	Küche	52,14	2,50	-	20,86	-	-	4,05	10,13	5,15	12,88	1,40	3,50
		242,66			97,06	11,75	29,38	11,75	29,38	10,65	26,63	10,65	26,63
OG	Kind 1	42,66	2,50	17,06	-	3,05	7,63	1,40	3,50	-	-	5,50	13,75
	Bad 1	10,24	2,50	4,10	-	1,95	4,88	-	-	1,40	3,50	-	-
	Stiege, Flur	33,94	2,50	13,58	-	2,40	6,00	-	-	-	-	-	-
	Bad 2	26,53	2,50	10,61	-	4,05	10,13	-	-	2,62	6,55	-	-
	Kind 2	35,16	2,50	14,06	-	-	-	3,75	9,38	-	-	3,75	9,38
	Bibliothek	22,50	2,50	9,00	-	-	-	2,40	6,00	-	-	-	-
Eltern	67,13	2,50	26,85	-	-	-	4,05	10,13	6,63	16,58	1,40	3,50	
		238,16		95,26		11,45	28,63	11,60	29,00	10,65	26,63	10,65	26,63
Dachraum		134,70	-						k.A.				

1.3 Strahlungsangebot auf die Gebäudeaußenflächen

Definition der Strahlungstypen

Das solare Strahlungsangebot auf eine Gebäudeaußenfläche hängt von verschiedenen Parametern ab. Neben den für die Simulation verwendeten Klimadaten, und den Neigungswinkeln und Himmelsrichtungen der Flächennormalen, ist auch die durch die Gebäudegeometrie verursachte Eigenverschattung von Bedeutung. Deshalb werden für das Thoma Vergleichshaus 14 verschiedene Einstrahlungstypen definiert. Jeder Einstrahlungstyp steht für eine bestimmte Kombination von Neigungswinkel, Himmelsrichtung und Verschattungsgeometrie. Die Ausrichtungen der Flächennormalen der Strahlungstypen sind in Tabelle 3.

Tabelle 3: Ausrichtungen der einzelnen Flächennormalen

Strahlungstyp	Ausrichtung der Flächennormalen	
	Azimut	Neigung
	0 = facing equator 90 = facing west 180 = facing north 270 = facing east	0 = Horizontal 90 = Vertical facing toward azimuth
OG_W1	90	90
OG_W2	90	90
OG_S1	0	90
OG_S2	0	90
OG_O1	270	90
OG_N1	180	90
EG_W1	90	90
EG_W2	90	90
EG_S1	0	90
EG_S2	0	90
EG_O1	270	90
EG_N1	180	90
D_N1	180	22
D_S1	0	22

Zuordnung der Strahlungstypen

Jeder Außenfläche wird nun ein Strahlungstyp, und somit ein bestimmter Einstrahlungsverlauf zugeordnet. Der nach Norden geneigten Dachfläche wird der Strahlungstyp „D_N1“ und der nach Süden geneigten Dachfläche der Strahlungstyp „D_S1“ zugeordnet. Alle weiteren Zuordnungen sind in der Abbildung 12 dargestellt.

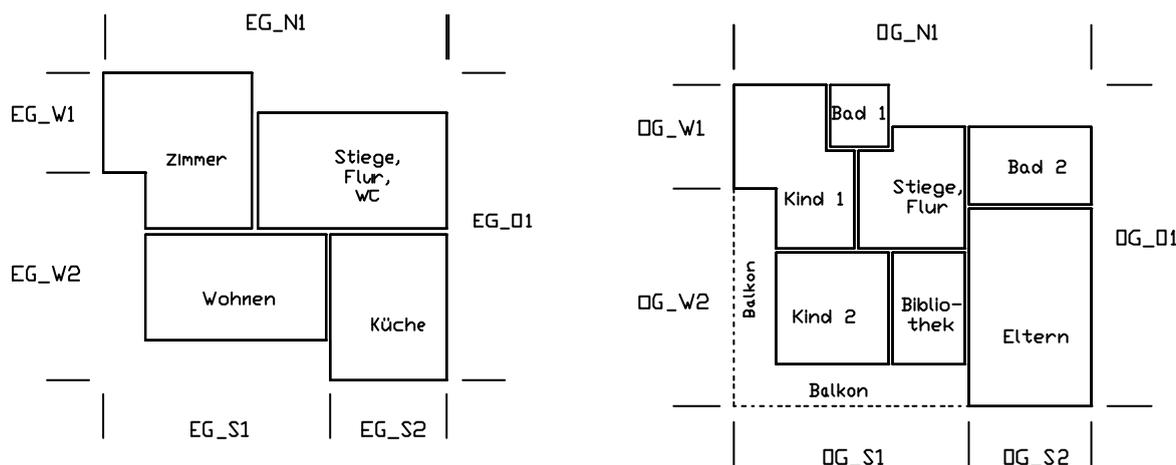


Abbildung 12: Zuordnung der Einstrahlungstypen auf das Ober- bzw. Untergeschoss

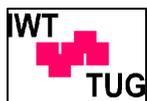
1.4 Verglaste Flächen

Verglasungs- und Rahmentypen

Für sämtliche Verglasungen des Thoma Vergleichshauses werden Verglasungen und Rahmen nach Tabelle 4 verwendet.

Tabelle 4: Angenommene Rechenwerte für Verglasungen und Fensterrahmen

Fensterverglasung:	$U = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ $g = 0,598$ (GTyp1)
--------------------	---



Fensterrahmen: $U = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (RTyp1)

Fenstertypen

Für das Vergleichsgebäude wurden 9 verschiedene Fenstertypen angenommen (Tabelle 5).

Tabelle 5: Definition der Fenstertypen

Fenstertypen									
	Stockaussenmass		Fensterfläche [m ²]	Rahmen			Glasfläche		
	Breite	Höhe		Fläche [m ²]	Anteil [%]	TYP [-]	Fläche [m ²]	Anteil [%]	TYP [-]
	[cm]	[cm]							
FenTyp1	60	100	0,60	0,27	45	RTyp1	0,33	55	GTyp1
FenTyp2	95	115	1,09	0,44	40	RTyp1	0,66	60	GTyp1
FenTyp3	95	130	1,24	0,49	40	RTyp1	0,74	60	GTyp1
FenTyp4	100	120	1,20	0,42	35	RTyp1	0,78	65	GTyp1
FenTyp5	110	210	2,31	0,81	35	RTyp1	1,50	65	GTyp1
FenTyp6	115	215	2,47	1,98	80	RTyp1	0,49	20	GTyp1
FenTyp7	180	130	2,34	0,82	35	RTyp1	1,52	65	GTyp1
FenTyp8	185	210	3,89	1,17	30	RTyp1	2,72	70	GTyp1
FenTyp9	320	230	7,36	2,21	30	RTyp1	5,15	70	GTyp1

Fensterzuordnung

Die in Tabelle 6 dargestellten Fenstertypen werden nun den einzelnen thermischen Zonen zugeordnet.

Tabelle 6: Zuordnung der einzelnen Fenstertypen zu den thermischen Zonen

Fensterzuordnung					
	Anzahl	Fenstertyp	Strahlungstyp	Glasfläche	Rahmenfläche
Kellerräume	-	-	-	-	-
Zimmer	1	FTyp7	EG_W1	1,52	0,82
	1	FTyp5	EG_W2	1,50	0,81
	1	FTyp1	EG_N1	0,33	0,27
Stiege, Flur, WC	3	FTyp1	EG_N1	0,99	0,81
	1	FTyp4	EG_N1	0,78	0,42
	1	FTyp6	EG_O1	0,49	1,98
Wohnen	1	FTyp9	EG_S1	5,15	2,21
	1	FTyp3	EG_W2	0,74	0,49
	1	FTyp5	EG_W2	1,50	0,81
Küche	1	FTyp2	EG_O1	0,66	0,44
	1	FTyp7	EG_S2	1,52	0,82
Kind 1	1	FTyp7	OG_W1	1,52	0,82
	1	FTyp5	OG_W2	1,50	0,81
Bad 1	1	FTyp1	OG_N1	0,33	0,27
Stiege, Flur	1	FTyp4	OG_N1	0,78	0,42
Bad 2	1	FTyp1	OG_N1	0,33	0,27
	1	FTyp1	OG_O1	0,33	0,27
Kind 2	1	FTyp5	OG_W2	1,50	0,81
	1	FTyp7	OG_S1	1,52	0,82
Bibliothek	1	FTyp8	OG_S1	2,72	1,17
Eltern	1	FTyp1	OG_O1	0,33	0,27
	1	FTyp2	OG_O1	0,66	0,44
	1	FTyp7	OG_S2	1,52	0,82
Dachraum	-	-	-	-	-
				28,229	17,05

1.5 Lüftungsannahmen

Aufgrund der Undichtigkeiten der Gebäudehülle wird für die Berechnung des Jahresheizwärmebedarfes für die beheizten Zonen des Vergleichsgebäudes ein Luftwechsel von 0,1/h und für den hygienischen Luftwechsel 0,5/h festgelegt. Der Dachraum (Zone 5) wird mit einem Luftwechsel von 2,0/h beaufschlagt.

1.6 Heizung

Die Raumluft Solltemperatur wird mit 21°C angesetzt. Das bedeutet, dass das Heizsystem dem Gebäude immer soviel Wärme zuführt, dass die Raumlufttemperatur in den Zonen im Laufe des Simulationszeitraumes nie unter 21°C fällt.

2 ANGENOMMENE KONSTRUKTIONSAUFBAUTEN

In der vorliegenden Studie wird ein Vergleichsgebäude in 5 Konstruktionsvarianten (Tabelle 7 – Tabelle 12) auf sein thermisches Verhalten untersucht. 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 U-Werte sind für Außenbauteile mit einem inneren Wärmeübergangskoeffizienten $a_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem äußeren Wärmeübergangskoeffizient $a_a = 25,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ berechnet.

Anmerkungen:

die in der Farbe „schwarz“ dargestellten Werte sind Annahmen des Berichtautors

die in der Farbe „rot“ ausgeführten Werte sind gemäß der DIN, laut

die in der Farbe „blau“ ausgeführten Werte sind Produktinformationen und Messberichten entnommen

die in der Farbe „grün“ ausgeführten Werte wurden von der Ing. Erwin Thoma Holz GmbH beigestellt

Tabelle 7: Konstruktionsaufbauten, die nicht variiert werden (für alle Varianten gleich)

	Bauteilschicht	Dicke [m]	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmekapazität [kJ/kgK]	U - Wert [W/m ² K]
Kellerboden KBO	Zementestrich	0,060	2000	1,400	1,00	| 2,376
	Bitumenbahnen	0,005	1200	0,170	1,00	
	Stahlbeton	0,300	2400	2,100	1,00	
	Zementschicht	0,050	2000	1,400	1,00	
Kellerwand KAW	Stahlbeton	0,250	2400	2,100	1,00	| 3,139
	Bitumenbahn	0,005	1200	0,170	1,00	
Kellerinnenwand KIW	Stahlbeton	0,250	2400	2,100	1,00	| 3,460
Kellerdecke Kdf	Hartholzriemen	0,026	800	0,200	2,10	| 0,332
	Mineralwolle	0,080	18	0,039	1,00	
	Mineralwolle (TDPT)	0,020	115	0,035	1,00	
	Stahlbeton	0,180	2400	2,100	1,00	
Kellerdecke Kdk	Hartholzriemen	0,026	800	0,200	2,10	| 0,624
	Kantholz (8/6)	0,060	600	0,130	2,10	
	Unterlagsbrett	0,024	600	0,130	2,10	
	Mineralwolle (TDPT)	0,020	115	0,035	1,00	
	Stahlbeton	0,180	2400	2,100	1,00	
Keller- aussendecke KAD	Stahlbeton	0,250	2400	2,100	1,00	| 3,139
	Bitumenbahn	0,005	1200	0,170	1,00	
Dachhaut DHA	Dachziegel	0,020	1800	0,811	1,00	| 5,137
Innentür IT	Holzplatte	0,032	600	0,130	2,10	| 2,403

Tabelle 8: Konstruktionsaufbauten der Variante 1 (Holzständerbau)

Konstruktionsvariante 1						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m³]	[W/mK]	[kJ/kgK]	[W/m²K]
Aussenwand KS1_AWf	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,157
	Mineralwolle	0,030	18	0,039	1,00	
	Mineralwolle	0,140	18	0,039	1,00	
	Mineralwolle	0,060	18	0,039	1,00	
	Holzschalung	0,024	600	0,130	2,10	
	Hinterlüftung	-	-	-	-	
	Fassadenplatte	-	-	-	-	
Aussenwand KS1_AWk	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,446
	Montagelattung (3/5)	0,030	600	0,130	2,10	
	Holzsteher	0,140	600	0,130	2,10	
	Kantholz	0,060	600	0,130	2,10	
	Holzschalung	0,024	600	0,130	2,10	
	Hinterlüftung	-	-	-	-	
	Fassadenplatte	-	-	-	-	
Decke EG KS1_DEGf	Hartholzriemen	0,023	800	0,200	2,10	0,127
	Mineralwolle	0,060	18	0,039	1,00	
	Mineralwolle (TDPT)	0,020	115	0,035	0,90	
	Schalung	0,032	600	0,130	2,10	
	Mineralwolle	0,200	18	0,039	1,00	
	Sichtschalung	0,016	600	0,130	2,10	
Decke EG KS1_DEGk	Hartholzriemen	0,023	800	0,200	2,10	0,300
	Kantholz (8/5)	0,050	600	0,130	2,10	
	Unterlagsbrett	0,024	600	0,130	2,10	
	Mineralwolle (TDPT)	0,020	115	0,035	1,00	
	Schalung	0,032	600	0,130	2,10	
	Holzträger	0,200	600	0,130	2,10	
	Sichtschalung	0,016	600	0,130	2,10	
Decke OG KS1_OEGf	Sichtschalung	0,016	600	0,130	2,10	0,139
	Mineralwolle	0,200	18	0,039	1,00	
	Schalung	0,032	600	0,130	2,10	
	Mineralwolle	0,060	18	0,039	1,00	
Decke OG KS1_OEGk	Sichtschalung	0,016	600	0,130	2,10	0,277
	Holzträger	0,200	600	0,130	2,10	
	Schalung	0,032	600	0,130	2,10	
	Mineralwolle	0,060	18	0,039	1,00	
Trennwand KS1_TWf	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,250
	Mineralwolle	0,140	18	0,039	1,00	
	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	
Trennwand KS1_TWk	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,676
	Holzsteher	0,140	600	0,130	2,10	
	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	
Innenwand KS1_IWf	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,250
	Mineralwolle	0,140	18	0,039	1,00	
	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	
Innenwand KS1_IWk	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	0,673
	Holzsteher	0,140	600	0,130	2,10	
	Gipskarton (2 lagig)	0,025	900	0,210	1,00	

Tabelle 9: Konstruktionsaufbauten der Variante 2 (Massivbau)

Konstruktionsvariante 3						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m³]	[W/mK]	[kJ/kgK]	[W/m²K]
Aussenwand KS3_AW	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	0,333
	HLZ (porosiert)	0,380	732	0,136	0,92	
	Kalkzementmörtel	0,025	1800	0,870	1,00	
Decke EG KS3_DEGf	Hartholzriemen	0,023	800	0,200	2,10	0,401
	Mineralwolle	0,060	18	0,039	1,00	
	Mineralwolle (TDPT)	0,020	115	0,035	1,00	
	Stahlbeton	0,180	2400	2,100	1,00	
	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	
Decke EG KS3_DEGk	Hartholzriemen	0,023	800	0,200	2,10	0,655
	Kantholz (B/5)	0,050	600	0,130	2,10	
	Unterlagsbrett	0,024	600	0,130	2,10	
	Mineralwolle (TDPT)	0,020	115	0,035	1,00	
	Stahlbeton	0,180	2400	2,100	1,00	
	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	
DeckeOG KS3_DOG	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	0,199
	Stahlbeton	0,180	2400	2,100	1,00	
	Sand/Kies	0,020	1800	1,400	1,00	
	EPS 20	0,180	20	0,038	1,50	
Trennwand KS3_TW	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	0,870
	Hochlochziegel	0,250	932	0,263	0,92	
	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	
Innenwand KS3_IW	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	1,779
	Hochlochziegel	0,250	767	0,330	0,92	
	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	

Tabelle 10: Konstruktionsaufbauten der Variante 3 (Massivbau mit Zusatzdämmung)

Konstruktionsvariante 4						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m³]	[W/mK]	[kJ/kgK]	[W/m²K]
Aussenwand KS4_AW	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	0,182
	HLZ (porosiert)	0,380	732	0,136	0,92	
	EPS-F	0,100	18	0,040	1,50	
	Kunstharzputz	0,003	1110	0,700	1,00	
Decke EG KS4_DEGf	Aufbau wie KS3_DEGf					
Decke EG KS4_DEGk	Aufbau wie KS3_DEGk					
Decke OG KS4_DOG	Aufbau wie KS3_DOG					
Trennwand KS4_TW	Aufbau wie KS3_TW					
Innenwand KS4_IW	Aufbau wie KS3_IW					

Tabelle 11: Konstruktionsaufbauten der Variante 4 (Thoma Holz 500 kg/m³, mit Zusatzdämmung)

Konstruktionsvariante 6						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m ³]	[W/mK]	[kJ/kgK]	[W/m ² K]
Aussenwand KS6_AWf	Holzinnenschalung	0,018	500	0,102	2,10	0,186
	Holz100_ Wand	0,176	500	0,102	2,10	
	Flachsdämmung	0,060	30	0,037	1,30	
	Flachsdämmung	0,040	30	0,037	1,30	
	Holzfaserplatte	0,018	180	0,050	2,10	
	Lärchenschalung	0,032	800	0,140	2,10	
Aussenwand KS6_AWk	Holzinnenschalung	0,018	500	0,102	2,10	0,275
	Holz100_ Wand	0,176	500	0,102	2,10	
	Kantholz_ Thoma (4/6)	0,060	500	0,102	2,10	
	Kantholz_ Thoma (4/4)	0,040	500	0,102	2,10	
	Holzfaserplatte	0,018	180	0,050	2,10	
	Lärchenschalung	0,032	800	0,140	2,10	
Decke EG KS6_DEGf	Hartholzriemen	0,023	800	0,200	2,10	0,190
	Flachsdämmung	0,040	30	0,037	1,30	
	Flachsdämmung	0,060	30	0,037	1,30	
	Holzfaserplatte	0,035	160	0,040	2,10	
	Holzdecke	0,250	750	0,180	2,10	
Decke EG KS6_DEGk	Hartholzriemen	0,023	800	0,200	2,10	0,301
	Kantholz (4/6)	0,040	600	0,130	2,10	
	Kantholz (6/6)	0,060	600	0,130	2,10	
	Holzfaserplatte	0,035	160	0,040	2,10	
	Holzdecke	0,250	750	0,180	2,10	
Decke OG KS6_DOGf	Aufbau wie KS5_DOGf					
Decke OG KS6_DOGk	Aufbau wie KS5_DOGk					
Trennwand KS6_TW	Aufbau wie KS5_TW					
Innenwand KS6_IW	Aufbau wie KS5_IW					

Tabelle 12: Konstruktionsaufbauten der Variante 5 (KV4 mit Stahlbetonaußenwänden)

Konstruktionsvariante 9						
	Bauteilschicht	Dicke	Dichte	Wärmeleitfähigkeit	Wärmekapazität	U - Wert
		[m]	[kg/m³]	[W/mK]	[kJ/kgK]	[W/m²K]
Aussenwand KS9_AW	Kalkgipsmörtel	0,010	1400	0,700	1,00	0,367
	Stahlbeton	0,240	2400	2,100	1,00	
	EPS-F	0,100	18	0,040	1,50	
	Kunstharzputz	0,003	1110	0,700	1,00	
Decke EG KS9_DEGf	Aufbau wie KS3_DEGf					
Decke EG KS9_DEGk	Aufbau wie KS3_DEGk					
Decke OG KS9_DOG	Aufbau wie KS3_DOG					
Trennwand KS9_TW	Aufbau wie KS3_TW					
Innenwand KS9_IW	Aufbau wie KS3_IW					

Die Konstruktionsaufbauten zeigen je nach Art der Oberfläche unterschiedliches Verhalten bezüglich der Absorption kurzwelliger Solarstrahlung. Der Absorptionskoeffizient gibt an wie viel Prozent der auf einen Bauteil auftreffenden Strahlungsenergie vom Bauteil absorbiert werden (Tabelle 13).

Tabelle 13: In der Simulation angenommene Absorptionskoeffizienten für kurzwellige Solarstrahlung

Absorptionskoeffizienten	
Gipskarton	30%
Kalkgips	30%
Kunstharzputz	30%
Kalkzement	30%
Innentür	60%
Holz	60%
Stahlbeton	60%

3 AUSWAHL EINER VERGLEICHZONE UND DIE ZONIERUNG DES GEBÄUDES

3.1 Die Vergleichszone

Zur genaueren Beurteilung des thermischen Verhaltens des Vergleichsgebäudes soll nun ein Zimmer einer genaueren Betrachtung unterzogen werden. Zu diesem Zweck wurde die Zone 6 (Eckraum im Obergeschoss) als Vergleichsraum herangezogen (Abbildung 13). Von jedem Typ der Raumbegrenzung (Außenwand, Innenwand, Boden, Decke) wird je ein Querschnitt zur genaueren Untersuchung ausgewählt. Die ausgewählten Querschnitte (AW-nord, Innenwand, Boden, Decke) sind durch rote Pfeile gekennzeichnet (Abbildung 14). Die geometrischen Annahmen der Begrenzungsflächen der Zone 6 sind in Tabelle 14 aufgelistet.

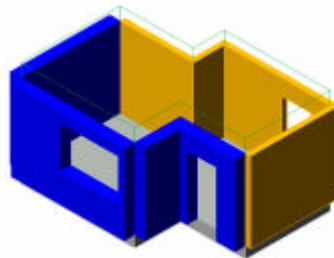


Abbildung 13: Vergleichsraum (Zone 6) mit Außenwänden (blau), Innenwänden (braun) und Boden (grau), inklusive der angenommenen Fenster und Türen

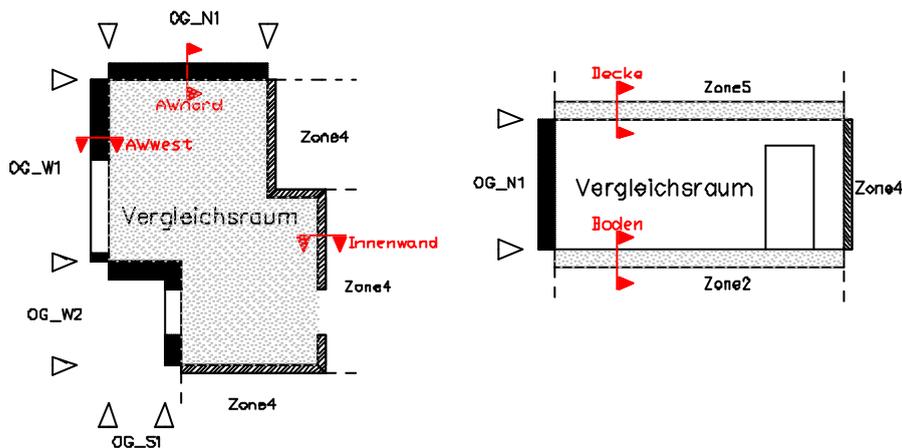


Abbildung 14: Darstellung des Vergleichsraumes (Zone 6) mit den zu untersuchenden Querschnitten

Tabelle 14: angenommene Begrenzungsflächen der Zone 6

Begrenzungsflächen der Vergleichszone (Zone 3)						
	angrenzend an	Fenster		Tür	Wand	Gesamtfläche
		Rahmen	Glas			
		[m ²]	[m ²]			
Aussenwände	OG_N1	-	-	-	7,63	7,63
	OG_W1	0,82	1,52	-	6,41	8,75
	OG_S1	-	-	-	3,50	3,50
	OG_W2	0,81	1,50	-	2,69	5,00
Zonen-trennwände	Zone 4	-	-	1,60	14,71	16,31
	Zone 4	-	-	-	6,69	6,69
Boden	Zone 2	-	-	-	17,06	17,06
Decke	Zone 5	-	-	-	17,06	17,06

3.2 Die thermische Zonierung des Gebäudes

Nach der Wahl des Vergleichsraumes kann nun die thermische Zonierung des restlichen Gebäudes angenommen werden. Der Vergleichsraum selbst wird als eigene thermische Zone (Zone 3) betrachtet. Die anderen Innenräume des Obergeschosses werden zu einer thermischen Zone mit der Bezeichnung „Zone 4“ zusammengefasst (Abbildung 15); die vier Räume des Erdgeschosses zu einer thermischen Zone mit der Bezeichnung „Zone 2“ (Abbildung 16). Sowohl der Dachraum (Zone 5) als auch der Keller (Zone 1) bilden je eine weitere thermische Zone.

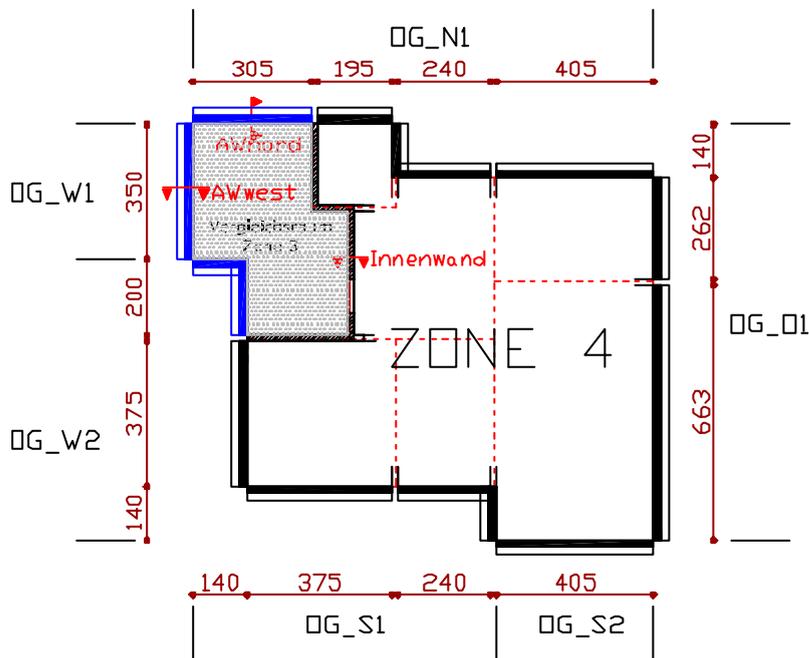


Abbildung 15: thermische Zonierung des Obergeschosses

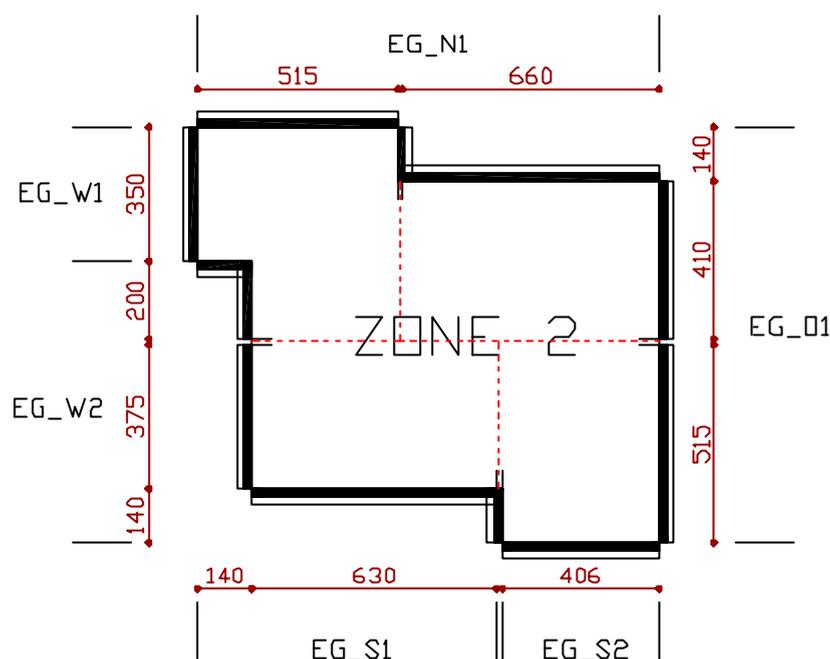


Abbildung 16: thermische Zonierung des Erdgeschosses

3.3 Geometrische Auswertung der thermischen Zonen

Das Gebäude wird nun entsprechend der gewählten thermischen Zonierung geometrisch ausgewertet. Tabelle 15 zeigt eine Übersicht über die in die Simulation zu übernehmenden Flächen und Kubaturen der beheizten thermischen Zonen (vergleiche Tabelle 2).

Tabelle 15: Flächen und Kubaturen der Thermischen Zonen im Simulationsmodell

geometrische Auswertung (netto)													
		Volumen	Höhe	Raumbegrenzungsflächen									
				horizontal				vertikal					
				Deck	Grund	Nord		Süd		Ost		West	
						Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche	Länge	Fläche
[m³]	[m]	[m²]	[m]	[m²]	[m]	[m²]	[m]	[m²]	[m]	[m²]			
KG	Zone 1	288,83	2,35	-	122,91	11,65	27,38	11,65	27,38	10,55	24,79	10,55	24,79
		288,83			122,91	11,65	27,38	11,65	27,38	10,55	24,79	10,55	24,79
EG	Zone 2	242,66	2,50	-	97,06	11,75	29,38	11,75	29,38	10,65	26,63	10,65	26,63
		242,66			97,06	11,75	29,38	11,75	29,38	10,65	26,63	10,65	26,63
OG	Zone 3	42,66	2,50	17,06	-	3,05	7,63	1,40	3,50	-	-	5,50	13,75
	Zone 4	195,50	2,50	78,20	-	8,40	21,00	10,20	25,50	10,65	26,63	5,15	12,88
		238,16		95,26		11,45	28,63	11,60	29,00	10,65	26,63	10,65	26,63
DR	Zone 5	134,70	-										k.A.

Nicht alle Konstruktionssysteme werden in den Simulationsrechnungen als homogen angenommen. Für Bauteile die unterschiedliche Konstruktionsaufbauten beinhalten, wird die Gesamtfläche des Bauteiles in je eine Feldfläche und eine Konstruktionsfläche unterteilt. Die für die gegenständlichen Simulationsrechnungen verwendete Aufteilung der Bauteilflächen ist in Tabelle 16) dargestellt

? **Flächenauswertung der Decken und Böden**

Tabelle 16: Flächenaufteilungen der horizontalen Bauteile in Feld- und Konstruktionsflächen

Flächenaufteilung der Kellerdecke: alle Konstruktionsvarianten							
horizontale Bauteile	Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtfläche	Feldfläche	Konstruktionsfläche
	[cm]	[%]	[cm]	[%]			
Zimmer	60	88,24	8	11,76	25,52	22,52	3,00
Stiege, Flur, WC	60	88,24	8	11,76	27,06	23,88	3,18
Wohnen	60	88,24	8	11,76	23,62	20,84	2,78
Küche	60	88,24	8	11,76	20,86	18,41	2,45
					97,06	85,64	11,42
Deckenfläche von Zone 1 zu Zone 2					97,06	85,64	11,42

Flächenaufteilung der Erdgeschossdecke: Konstruktionsvarianten 1,2 und 7							
horizontale Bauteile	Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtfläche	Feldfläche	Konstruktionsfläche
	[cm]	[%]	[cm]	[%]			
Deckenfläche von EG zu Kind 1	74	82,22	16	17,78	17,06	14,03	3,03
Deckenfläche von EG zu Bad 1	74	82,22	16	17,78	4,10	3,37	0,73
Deckenfläche von EG zu Stiege,Flur	74	82,22	16	17,78	13,58	11,17	2,41
Deckenfläche von EG zu Bad 2	74	82,22	16	17,78	10,61	8,72	1,89
Deckenfläche von EG zu Kind 2	74	82,22	16	17,78	14,06	11,56	2,50
Deckenfläche von EG zu Bibliothek	74	82,22	16	17,78	9,00	7,40	1,60
Deckenfläche von EG zu Eltern	74	82,22	16	17,78	26,85	22,08	4,77
					95,26	78,32	16,94
Deckenfläche von Zone 2 zu Zone 3					17,06	14,03	3,03
Deckenfläche von Zone 2 zu Zone 4					78,20	64,30	13,90
					95,26	78,32	16,94

Flächenaufteilung der Obergeschossdecke: Konstruktionsvarianten 1,2 und 7							
horizontale Bauteile	Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtfläche	Feldfläche	Konstruktionsfläche
	[cm]	[%]	[cm]	[%]			
Deckenfläche von Kind 1 zu Dachraum	74	82,22	16	17,78	17,06	14,03	3,03
Deckenfläche von Bad 1 zu Dachraum	74	82,22	16	17,78	4,10	3,37	0,73
Deckenfläche von Stiege,Flur zu Dachraum	74	82,22	16	17,78	13,58	11,17	2,41
Deckenfläche von Bad 2 zu Dachraum	74	82,22	16	17,78	10,61	8,72	1,89
Deckenfläche von Kind 2 zu Dachraum	74	82,22	16	17,78	14,06	11,56	2,50
Deckenfläche von Bibliothek zu Dachraum	74	82,22	16	17,78	9,00	7,40	1,60
Deckenfläche von Eltern zu Dachraum	74	82,22	16	17,78	26,85	22,08	4,77
					95,26	78,32	16,94
Deckenfläche von Zone 3 zu Zone 5					17,06	14,03	3,03
Deckenfläche von Zone 4 zu Zone 5					78,20	64,30	13,90
					95,26	78,32	16,94

Flächenaufteilung der Erdgeschossdecke: Konstruktionsvarianten 3,4,5,6,8,9,10,11 und 12							
horizontale Bauteile	Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtfläche	Feldfläche	Konstruktionsfläche
	[cm]	[%]	[cm]	[%]			
Deckenfläche von EG zu Kind 1	60	88,24	8	11,76	17,06	15,05	2,01
Deckenfläche von EG zu Bad 1	60	88,24	8	11,76	4,10	3,62	0,48
Deckenfläche von EG zu Stiege,Flur	60	88,24	8	11,76	13,58	11,98	1,60
Deckenfläche von EG zu Bad 2	60	88,24	8	11,76	10,61	9,36	1,25
Deckenfläche von EG zu Kind 2	60	88,24	8	11,76	14,06	12,41	1,65
Deckenfläche von EG zu Bibliothek	60	88,24	8	11,76	9,00	7,94	1,06
Deckenfläche von EG zu Eltern	60	88,24	8	11,76	26,85	23,69	3,16
					95,26	84,05	11,21
Deckenfläche von Zone 2 zu Zone 3					17,06	15,05	2,01
Deckenfläche von Zone 2 zu Zone 4					78,20	69,00	9,20
					95,26	84,05	11,21

Flächenaufteilung der Obergeschossdecke: Konstruktionsvarianten 3,4,5,6,8,9,10 und 11							
horizontale Bauteile	Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtfläche	Feldfläche	Konstruktionsfläche
	[cm]	[%]	[cm]	[%]			
Deckenfläche von Kind 1 zu Dachraum	-	100	0	0	17,06	17,06	0,00
Deckenfläche von Bad 1 zu Dachraum	-	100	0	0	4,10	4,10	0,00
Deckenfläche von Stiege, Flur zu Dachraum	-	100	0	0	13,58	13,58	0,00
Deckenfläche von Bad 2 zu Dachraum	-	100	0	0	10,61	10,61	0,00
Deckenfläche von Kind 2 zu Dachraum	-	100	0	0	14,06	14,06	0,00
Deckenfläche von Bibliothek zu Dachraum	-	100	0	0	9,00	9,00	0,00
Deckenfläche von Eltern zu Dachraum	-	100	0	0	26,85	26,85	0,00
					95,26	95,26	0,00
Deckenfläche von Zone 3 zu Zone 10					17,06	17,06	0,00
Deckenfläche von Zone 4 zu Zone 10					78,20	78,20	0,00
					95,26	95,26	0,00

? Flächenauswertung der Außenwände

Tabelle 17: Flächenaufteilungen der Außenwände in Feld- und Konstruktionsflächen

Flächenaufteilung der Aussenwände: Konstruktionsvariante 1 und 2

	vertikale Bauteile	Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtfläche [m²]	Feldfläche [m²]	Konstruktionsfläche [m²]
		[cm]	[%]	[cm]	[%]			
EG	Zimmer - EG_N1	76	84,44	14	15,56	12,88	10,88	2,00
	Zimmer - EG_S1	76	84,44	14	15,56	3,50	2,96	0,54
	Zimmer - EG_O1	76	84,44	14	15,56	3,50	2,96	0,54
	Zimmer - EG_W1	76	84,44	14	15,56	8,75	7,39	1,36
	Zimmer - EG_W2	76	84,44	14	15,56	5,00	4,22	0,78
	Stiege,Flur,WC - EG_N1	76	84,44	14	15,56	16,50	13,93	2,57
	Stiege,Flur,WC - EG_O1	76	84,44	14	15,56	10,25	8,66	1,59
	Wohnen - EG_S1	76	84,44	14	15,56	15,75	13,30	2,45
	Wohnen - EG_W2	76	84,44	14	15,56	9,38	7,92	1,46
	Küche - EG_S2	76	84,44	14	15,56	10,15	8,57	1,58
	Küche - EG_O1	76	84,44	14	15,56	12,88	10,88	2,00
	Küche - EG_W2	76	84,44	14	15,56	3,55	3,00	0,55
						112,09	94,65	17,44
EG	Zone 2 - EG_N1					29,38	24,81	4,57
	Zone 2 - EG_O1					26,63	22,49	4,14
	Zone 2 - EG_S1					19,25	16,26	2,99
	Zone 2 - EG_S2					10,15	8,57	1,58
	Zone 2 - EG_W1					8,75	7,39	1,36
	Zone 2 - EG_W2					17,93	15,14	2,79
						112,09	94,65	17,44
OG	Kind 1 - OG_N1	76	84,44	14	15,56	7,63	6,44	1,19
	Kind 1 - OG_S1	76	84,44	14	15,56	3,50	2,96	0,54
	Kind 1 - OG_W1	76	84,44	14	15,56	8,75	7,39	1,36
	Kind 1 - OG_W2	76	84,44	14	15,56	5,00	4,22	0,78
	Bad 1 - OG_N1	76	84,44	14	15,56	4,88	4,12	0,76
	Bad 1 - OG_O1	76	84,44	14	15,56	3,50	2,96	0,54
	Stiege,Flur - OG_N1	76	84,44	14	15,56	6,00	5,07	0,93
	Bad 2 - OG_N1	76	84,44	14	15,56	10,13	8,55	1,58
	Bad 2 - OG_O1	76	84,44	14	15,56	6,55	5,53	1,02
	Kind 2 - OG_S1	76	84,44	14	15,56	9,38	7,92	1,46
	Kind 2 - OG_W2	76	84,44	14	15,56	9,38	7,92	1,46
	Bibliothek - OG_S1	76	84,44	14	15,56	6,00	5,07	0,93
	Eltern - OG_S2	76	84,44	14	15,56	10,13	8,55	1,58
	Eltern - OG_O1	76	84,44	14	15,56	16,58	14,00	2,58
Eltern - OG_W2	76	84,44	14	15,56	3,50	2,96	0,54	
						110,91	93,66	17,25
OG	Zone 3 - OG_N1					7,63	6,44	1,19
	Zone 3 - OG_S1					3,50	2,96	0,54
	Zone 3 - OG_W1					8,75	7,39	1,36
	Zone 3 - OG_W2					5,00	4,22	0,78
	Zone 4 - OG_N1					21,01	17,74	3,27
	Zone 4 - OG_O1					26,63	22,49	4,14
	Zone 4 - OG_S1					15,38	12,99	2,39
	Zone 4 - OG_S2					10,13	8,55	1,58
	Zone 4 - OG_W2					12,88	10,88	2,00
						110,91	93,66	17,25

Flächenaufteilung der Aussenwände: Konstruktionsvariante 6 und 8								
	vertikale Bauteile	Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtfläche [m ²]	Feldfläche [m ²]	Konstruktionsfläche [m ²]
		[cm]	[%]	[cm]	[%]			
EG	Zimmer - EG_N1	86	95,56	4	4,444	12,88	12,31	0,57
	Zimmer - EG_S1	86	95,56	4	4,444	3,50	3,34	0,16
	Zimmer - EG_O1	86	95,56	4	4,444	3,50	3,34	0,16
	Zimmer - EG_W1	86	95,56	4	4,444	8,75	8,36	0,39
	Zimmer - EG_W2	86	95,56	4	4,444	5,00	4,78	0,22
	Stiege,Flur,WC - EG_N1	86	95,56	4	4,444	16,50	15,77	0,73
	Stiege,Flur,WC - EG_O1	86	95,56	4	4,444	10,25	9,79	0,46
	Wohnen - EG_S1	86	95,56	4	4,444	15,75	15,05	0,70
	Wohnen - EG_W2	86	95,56	4	4,444	9,38	8,96	0,42
	Küche - EG_S2	86	95,56	4	4,444	10,15	9,70	0,45
	Küche - EG_O1	86	95,56	4	4,444	12,88	12,31	0,57
	Küche - EG_W2	86	95,56	4	4,444	3,55	3,39	0,16
						112,09	107,11	4,98
EG	Zone 2 - EG_N1					29,38	28,07	1,31
	Zone 2 - EG_O1					26,63	25,45	1,18
	Zone 2 - EG_S1					19,25	18,39	0,86
	Zone 2 - EG_S2					10,15	9,70	0,45
	Zone 2 - EG_W1					8,75	8,36	0,39
	Zone 2 - EG_W2					17,93	17,13	0,80
						112,09	107,11	4,98
OG	Kind 1 - OG_N1	86	95,56	4	4,444	7,63	7,29	0,34
	Kind 1 - OG_S1	86	95,56	4	4,444	3,50	3,34	0,16
	Kind 1 - OG_W1	86	95,56	4	4,444	8,75	8,36	0,39
	Kind 1 - OG_W2	86	95,56	4	4,444	5,00	4,78	0,22
	Bad 1 - OG_N1	86	95,56	4	4,444	4,88	4,66	0,22
	Bad 1 - OG_O1	86	95,56	4	4,444	3,50	3,34	0,16
	Stiege,Flur - OG_N1	86	95,56	4	4,444	6,00	5,73	0,27
	Bad 2 - OG_N1	86	95,56	4	4,444	10,13	9,68	0,45
	Bad 2 - OG_O1	86	95,56	4	4,444	6,55	6,26	0,29
	Kind 2 - OG_S1	86	95,56	4	4,444	9,38	8,96	0,42
	Kind 2 - OG_W2	86	95,56	4	4,444	9,38	8,96	0,42
	Bibliothek - OG_S1	86	95,56	4	4,444	6,00	5,73	0,27
	Eltern - OG_S2	86	95,56	4	4,444	10,13	9,68	0,45
	Eltern - OG_O1	86	95,56	4	4,444	16,58	15,84	0,74
Eltern - OG_W2	86	95,56	4	4,444	3,50	3,34	0,16	
						110,91	105,98	4,93
OG	Zone 3 - OG_N1					7,63	7,29	0,34
	Zone 3 - OG_S1					3,50	3,34	0,16
	Zone 3 - OG_W1					8,75	8,36	0,39
	Zone 3 - OG_W2					5,00	4,78	0,22
	Zone 4 - OG_N1					21,01	20,08	0,93
	Zone 4 - OG_O1					26,63	25,45	1,18
	Zone 4 - OG_S1					15,38	14,70	0,68
	Zone 4 - OG_S2					10,13	9,68	0,45
Zone 4 - OG_W2					12,88	12,31	0,57	
						110,91	105,98	4,93

? Innen- und Trennwände

Tabelle 18: Flächenaufteilungen der Gebäudeinnenwände in Feld- und Konstruktionsflächen

Flächen der Innen- und Trennwände: Konstruktionsvarianten 2 - 12								
		Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtwandfläche [m ²]	Feldfläche [m ²]	Konstruktionsfläche [m ²]
		[cm]	[%]	[cm]	[%]			
KG	innerhalb Zone 1	-	100	-	-	53,35	53,35	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KAW)	-
EG	innerhalb Zone 2	-	100	-	-	46,25	46,25	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_TWf)	(KS2-12_TWk)
OG	Koppelung von Zone 3 zu Zone 4	-	100	-	-	6,69	6,69	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_TWf)	(KS2-12_TWk)
	Koppelung von Zone 3 zu Zone 4	-	100	-	-	16,31	16,31	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_IWf)	(KS2-12_IWk)
	innerhalb Zone 4	-	100	-	-	29,25	29,25	-
<i>Konstruktionsaufbau</i>					(KS2-12_TWf)		(KS2-12_TWk)	
innerhalb Zone 4	-	100	-	-	24,70	24,70	-	
<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_IWf)	(KS2-12_IWk)	

Flächen der Innen- und Trennwände: Konstruktionsvarianten 2 - 12								
		Feldbreite		Konstruktionsbreite		Gesamtwandfläche [m ²]	Feldfläche [m ²]	Konstruktionsfläche [m ²]
		[cm]	[%]	[cm]	[%]			
KG	innerhalb Zone 1	-	100	-	-	53,35	53,35	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KAW)	-
EG	innerhalb Zone 2	-	100	-	-	46,25	46,25	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_TWf)	(KS2-12_TWk)
OG	Koppelung von Zone 3 zu Zone 4	-	100	-	-	6,69	6,69	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_TWf)	(KS2-12_TWk)
	Koppelung von Zone 3 zu Zone 4	-	100	-	-	16,31	16,31	-
	<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_IWf)	(KS2-12_IWk)
	innerhalb Zone 4	-	100	-	-	29,25	29,25	-
<i>Konstruktionsaufbau</i>					(KS2-12_TWf)		(KS2-12_TWk)	
innerhalb Zone 4	-	100	-	-	24,70	24,70	-	
<i>Konstruktionsaufbau</i>						(KS2-12_IWf)	(KS2-12_IWk)	

3.4 Personenbelegung der Zonen

Die angenommene Personenbelegung im Vergleichsgebäude ist für den Zeitraum eines Tages festgelegt (Abbildung 17). Diese Belegung wiederholt sich im 24 Stunden Rhythmus über den gesamten Simulationszeitraum.

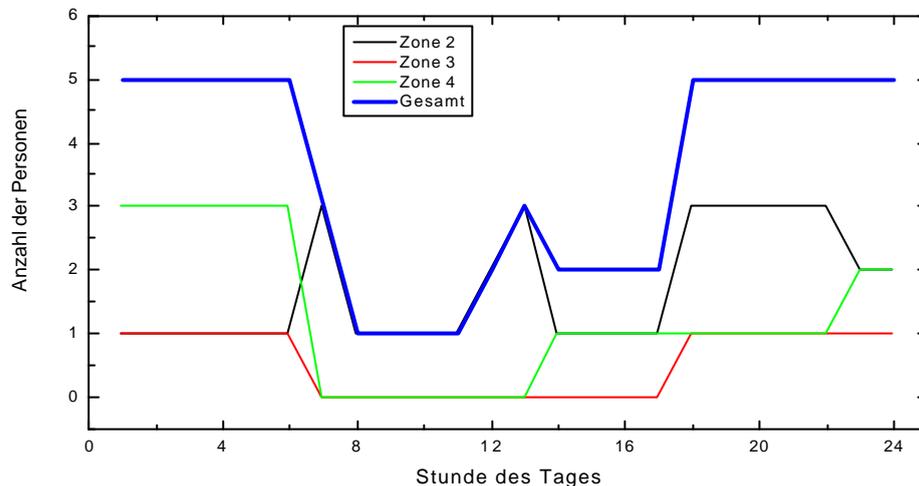


Abbildung 17: Personenbelegung im Vergleichsgebäude

3.5 Innere Lasten

? Personenabwärme

Die Wärmeabgabe durch Personen ist im Simulationsmodell an die Anwesenheit der Personen geknüpft. Sobald eine Person in der Belegung geführt wird, werden laut / 4 folgende Innenwärmern in Rechnung gestellt:

120 W/Person

Degree of activity – very light writing	sensible heat	65 W/Person
	latent heat	55 W/Person

? Geräteabwärme

Die Wärmeabgabe durch Beleuchtung und Haushaltsgeräte ist in Anlehnung an die in / 1 veröffentlichten Werte angenommen. Die darin enthaltene Aufstellung über innere Wärmequellen wurde für das Vergleichsgebäude modifiziert. Feist bezieht sich auf einen Durchschnittshaushalt mit 2,42 Personen und 87,1 m² Wohnfläche. Die für das Vergleichsgebäude relevanten inneren Wärmern wurden übernommen und auf die 87,1 m² Wohnfläche bezogen. Die derart erhaltene Leistung von 1,3 W/m² wird im Vergleichsgebäude auf die Nutzfläche bezogen in Rechnung gestellt.

3.6 Beschattungen

Die verschattende Wirkung des Balkons und des Dachvorsprunges an der West- und Südfassade des Vergleichsgebäudes ist durch den Einsatz entsprechender „wingwalls“ berücksichtigt.

Für die Berechnung des Jahresheizwärmebedarfes sind keine beweglichen Verschattungselemente (z.B. Jalousien) vorgesehen.

4 BESTIMMEN DER TEMPERATURABNAHMEFLÄCHEN

Das Vergleichsgebäude wird in 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten einer thermischen Analyse unterzogen. Die verwendeten Konstruktionsaufbauten entsprechen den im Kapitel „Konstruktionsaufbauten“ dargestellten und mit Zahlenwerten hinterlegten Konstruktionen.

Um die spätere Verwechslungsfahr zu verkleinern wird jede „Abnahmefläche“ mit einem eindeutigen Namen versehen, bei dem folgender Aufbau eingehalten wurde (Abbildung 18):

LUFTTEMPERATUREN				
tairi	.....	t (Temperatur)	air (Luft)	i (Innen = Zone 6)
tamb	.....	t (Temperatur)	amb (außen)	
tairZ2	.....	t (Temperatur)	air (Luft)	Z2 (Zone 2)
tairZ8	.....	t (Temperatur)	air (Luft)	Z8 (Zone 8)
tairZ13	.....	t (Temperatur)	air (Luft)	Z13 (Zone 13)
BAUTEILTEMPERATUREN				
Bauteiltemperaturen enthalten die Bezeichnung der Art der Begrenzungsfläche (Außenwand AW, Innenwand IW, Boden BO, Decke DE), die Nummer des Konstruktionssystems (1-9), die Bezeichnung ob Feldquerschnitt (f) oder Konstruktionsquerschnitt (k) und die Lage der Temperaturabnahmefläche intern (i), kern (k), extern (e)				
Beispiele:				
tBO3ki	.....	t (Temperatur)	BO3 (Boden der KV3)	k (Konstruktion) i (intern = Zone 6)
tAW7fe	.....	t (Temperatur)	AW3 (Außenwand der KV7)	f (Feld) e (extern = außen)
tAW7fk	.....	t (Temperatur)	AW3 (Außenwand der KV7)	f (Feld) k (kern)

Abbildung 18: Nomenklatur der Temperaturabnahmeflächen

Jede thermische Zone wird durch Konstruktionsaufbauten begrenzt. Der Teil der Konstruktionsaufbauten der zwischen der inneren Oberfläche und der jeweiligen Temperaturabnahme­fläche (gekennzeichnet durch den roten Punkt innerhalb eines Aufbaus) liegt wird in TRNSYS / 6 als Begrenzungsaufbau der jeweiligen Zone eingegeben. Die konstruktiven Schichten, die außerhalb der Kerntemperaturabnahme­flächen liegen, werden jeweils zu einer eigenen thermischen Zonen zusammengefasst.

5 AUFBAU DER TESTSZENARIEN

Die Konstruktionssysteme des Vergleichsgebäudes sollen unter mittleren klimatischen Randbedingungen für den Standort Graz und für verschiedene Heizungszuständen auf ihre instationären Temperaturverläufe simulationstechnisch untersucht werden. Vom besonderen Interesse waren Jahresheizwärmebedarf, Aufheiz- bzw. Abkühlverhalten.

5.1 Klimatische Randbedingungen

Als Klimadaten wurden die von der ZAMG / 3 bezogenen Messreihen für den Standort Graz verwendet. Es standen die Klimadaten von den Jahren 1990 bis 2000 zur Verfügung. Kleinere Lücken in den Messreihen (Messausfälle) wurden mit interpolierten Werten ergänzt. Allgemeine Informationen zu den Klimadaten zeigt Tabelle 19. Eine Auswertung wird in Abbildung 19 dargestellt.

Es standen folgende Messreihen zur Verfügung:

- Globalstrahlung auf die horizontale Fläche
- Diffusstrahlung auf die horizontale Fläche
- Außenlufttemperatur (gemessen in 2 m Höhe)
- Relative Luftfeuchtigkeit

Tabelle 19: Allgemeine Informationen zu den Klimadaten

Standort / Jahr	Klimadaten
Meßpunkt:	Karl-Franzens Universität Graz
geograph.Breite (Meßpunkt):	47,07 Grad
geograph.Länge (Meßpunkt):	15,43 Grad
Seehöhe:	353 m
Shift in solar time (TRNSYS 15):	0,43

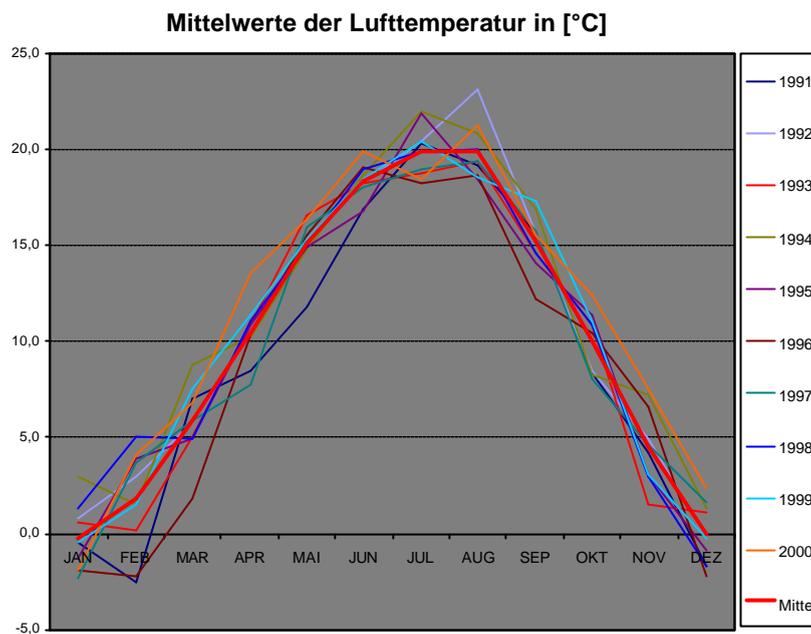


Abbildung 19: Darstellung der monatlichen Mittelwerte der Jahre 1991 bis 2000 (Standort Graz)

Tabelle 20: Minima, Maxima und Mittelwerte der in Graz gemessenen Lufttemperaturen der letzten 10 Jahre

LUFTEMPERATUR													
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jahr
MINIMA [°C]													
1991	-9,7	-16,2	-1,1	-1,5	3,5	6,7	9,0	9,4	7,6	-2,2	-4,7	-14,2	-16,2
1992	-9,6	-6,7	-3,5	-0,4	5,4	8,9	11,0	11,0	4,4	-1,4	-3,1	-10,7	-10,7
1993	-13,8	-10,1	-6,6	0,5	6,2	9,0	7,6	10,4	5,1	-1,1	-8,4	-7,9	-13,8
1994	-7,2	-12,6	-2,3	-0,1	2,1	5,1	12,9	10,8	5,3	-1,2	-0,1	-5,7	-12,6
1995	-11,4	-5,5	-3,0	-0,4	3,2	7,8	12,5	5,2	0,9	-1,1	-7,8	-13,2	-13,2
1996	-9,0	-12,2	-9,9	-0,9	5,1	6,5	7,5	9,4	3,6	0,6	-4,0	-16,4	-16,4
1997	-11,4	-9,4	-1,7	-2,1	4,1	5,1	10,2	10,3	5,9	-6,3	-7,0	-7,6	-11,4
1998	-9,1	-10,2	-4,6	-0,8	3,6	6,8	8,0	7,5	6,2	1,5	-5,7	-11,5	-11,5
1999	-7,4	-9,6	-3,1	1,0	5,6	9,2	12,3	9,7	8,8	1,8	-6,7	-12,4	-12,4
2000	-13,1	-4,6	-3,0	1,6	3,1	7,5	7,6	11,6	6,8	2,4	-0,7	-9,0	-13,1
<i>Mittel</i>	-3,9	-5,6	-0,2	3,2	7,9	11,8	13,6	12,2	9,3	2,9	-0,9	-5,3	-5,6
MAXIMA [°C]													
1991	11,9	13,1	19,1	19,3	25,4	29,1	32,2	28,2	25,3	19,4	14,7	6,7	32,2
1992	11,4	14,6	19,5	27,0	25,0	28,3	32,8	34,6	26,4	19,9	15,2	12,9	34,6
1993	16,1	9,9	23,7	24,5	28,3	30,5	30,9	32,5	27,7	25,2	13,2	13,4	32,5
1994	13,6	19,9	23,7	24,5	27,8	32,7	32,4	33,7	28,2	25,0	19,9	12,0	33,7
1995	12,3	16,4	20,9	26,6	28,4	30,7	30,4	30,5	24,5	23,3	14,2	6,3	30,7
1996	8,5	8,2	10,3	26,2	28,1	31,6	28,1	29,2	22,8	23,5	20,1	8,5	31,6
1997	4,3	19,9	19,8	21,8	28,8	29,7	28,4	28,9	28,1	24,5	20,4	9,3	29,7
1998	12,4	19,8	18,1	23,5	27,5	33,2	30,8	31,5	24,1	20,3	17,9	13,1	33,2
1999	11,1	16,9	19,9	22,6	31,4	28,7	32,1	31,7	27,9	24,0	17,1	10,7	32,1
2000	15,2	16,1	21,5	27,9	29,3	33,7	32,2	35,1	26,6	23,7	18,5	11,8	35,1
<i>Mittel</i>	5,4	11,1	13,2	18,7	22,9	25,0	28,2	26,9	22,8	18,5	12,7	6,4	28,2
MITTELWERT [°C]													
1991	-0,5	-2,5	7,0	8,5	11,8	16,9	20,3	19,2	15,7	8,3	4,2	-1,7	9,0
1992	0,8	2,9	5,7	10,3	15,2	18,2	20,4	23,1	15,6	8,5	4,9	-0,3	10,5
1993	0,6	0,2	5,0	10,8	16,6	18,2	18,8	19,3	14,6	10,8	1,5	1,1	9,9
1994	3,0	1,5	8,8	10,2	14,8	18,7	22,0	20,8	16,9	8,3	7,2	1,3	11,2
1995	-1,2	3,9	4,9	10,9	14,9	16,7	21,8	18,4	14,1	11,4	3,1	-0,8	9,9
1996	-1,9	-2,2	1,8	10,4	15,5	19,1	18,3	18,6	12,2	10,5	6,6	-2,2	9,0
1997	-2,3	3,7	5,9	7,7	15,9	18,1	18,9	19,3	15,7	8,0	4,6	1,6	9,8
1998	1,3	5,1	5,0	11,1	15,1	18,9	19,9	20,0	14,6	10,9	2,9	-1,7	10,3
1999	-0,5	1,5	7,6	11,3	15,4	18,4	20,4	18,6	17,3	11,1	3,1	-0,3	10,4
2000	-1,9	4,1	6,9	13,6	16,3	19,9	18,5	21,3	15,6	12,5	7,5	2,4	11,4
<i>Mittel</i>	-0,3	1,8	5,9	10,5	15,2	18,3	19,9	19,9	15,2	10,0	4,6	-0,1	10,1

Die mittlere Temperatur für Graz ermittelt über den betrachteten Zeitraum von 1990 bis 2000 ist 10,1°C. Die durchschnittliche jährliche solare Einstrahlung betrug 1187 kWh/m²a, während sich die Anzahl der Heizgradtage (HGT) im Schnitt zu 3109 Kd/a berechnet, wobei die Heizgrenztemperatur auf 12°C gesetzt wurde. Die Klimadaten von Graz 1998 passen am besten zu den mittleren Werten und repräsentieren somit ein durchschnittliches Jahr der letzten Dekade für den Standort Graz.

Tabelle 21: Auswertung des Klimadatensatzes (Standort Graz, 1998)

Klimadaten, Graz 1998													
	JAN	FEB	MAR	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	Jahr
GLOBALSTRAHLUNG													
Maxima, [W/m ²]	400	544	786	906	961	900	883	844	811	567	436	372	961
Mittelwert, [W/m ²]	55	104	141	163	215	219	212	212	124	79	58	38	135
Energie, [kWh/m ²]	41	70	105	117	160	158	157	158	89	59	42	28	1184
DIFFUSSTRAHLUNG													
Maxima, [W/m ²]	242	336	417	469	528	508	528	472	397	317	214	256	528
Mittelwert, [W/m ²]	26	42	69	91	95	103	106	89	70	44	28	26	66
Energie, [kWh/m ²]	19	28	51	65	71	74	79	66	50	33	20	19	576
LUFTTEMPERATUR													
Minima, [°C]	-9,1	-10,2	-4,6	-0,8	3,6	6,8	8,0	7,5	6,2	1,5	-5,7	-11,5	-11,5
Maxima, [°C]	12,4	19,8	18,1	23,5	27,5	33,2	30,8	31,5	24,1	20,3	17,9	13,1	33,2
Mittelwert, [°C]	1,3	5,1	5,0	11,1	15,1	18,9	19,9	20,0	14,6	10,9	2,9	-1,7	10,3
LUFTFEUCHTIGKEIT													
Minima, [%]	36,0	30,0	26,0	31,0	33,0	32,0	39,0	37,0	43,0	30,0	37,0	39,0	26,0
Maxima, [%]	99,0	98,0	98,0	97,0	97,0	97,0	98,0	96,0	96,0	98,0	99,0	98,0	99,0
Mittelwert, [%]	76,7	67,8	65,3	69,4	66,5	73,5	74,1	72,8	79,8	81,0	81,2	85,1	74,5

5.2 Erdreichtemperaturen

Um die Wärmeströme zwischen den Gebäuden und dem darunterliegenden und dem seitlich angrenzenden Erdreich in die Rechnung einzubeziehen, wird unter der erdberührten Bodenplatte und an den Außenseiten der Kelleraußenwände ein 80 cm dicker Erdkoffer modelliert. An der Außenseiten dieser Erdkoffer wird ein im Jahresrhythmus schwingender Temperaturverlauf angenommen. Für die vertikalen Außenwände des Kellers wird der in Abbildung 20 dargestellte Temperaturverlauf in einer Tiefe von 1,5 m ausgewählt. Dem Erdkoffer unter der Bodenplatte wird der Temperaturverlauf in einer Tiefe von 3,0 m aufgeprägt. Die angenommenen Stoffwerte des den Keller umschließenden Erdreiches werden in Tabelle 22 gezeigt.

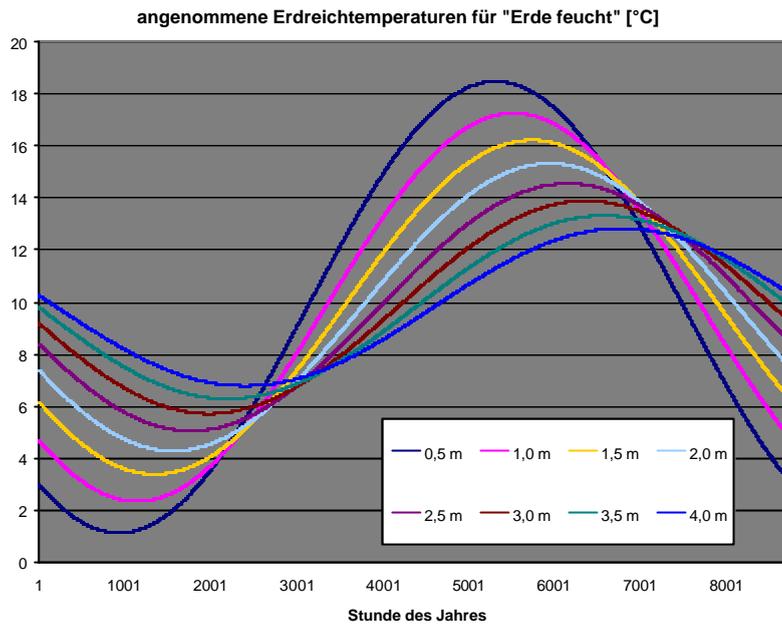


Abbildung 20: Jahresverlauf der angenommenen Bodentemperatur außerhalb der Erdzonen

Tabelle 22: angenommene Stoffwerte für die Erdreichzone unter dem Gebäude

Bodenart	Dichte [kg/m ³]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmekapazität [kJ/kgK]
Erde feucht	1800	2,5	1,26

Um das Aufheizverhalten möglichst realistisch darzustellen wird die Heizleistung jeder Zone einer Beschränkung unterworfen. Die Konstruktionsvariante 5 (Massivbau mit Stahlbetonaußenwänden) ist die Konstruktionsvariante mit dem höchsten Wärmebedarf. Aus diesem Grund wird sie zur Auslegung der Heizleistung herangezogen. Die ermittelte zu installierende Heizleistung (Auslegungstemperatur: -14°C) ergibt sich mit 10,84 kW (Tabelle 23). Daraufhin wurde ein Kessel mit einer Maximalleistung von 12 kW angenommen und in der Folge auf die Zonen im Verhältnis zu ihrem Bedarf aufgeteilt. Diese maximal jeder Zone zur Verfügung gestellte Heizleistung wird, zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse) für alle anderen Konstruktionsvarianten übernommen. Der Auslegungsfall definiert sich durch das Aussetzen der Solastrahlung und der Innenwärmen und durch das Setzen der Außentemperatur auf eine konstante Auslegungstemperatur (hier: -14°C). Nach einer Einschwingzeit zu Beginn der Simulation stellt sich eine konstante Heizleistung ein.

Tabelle 23: in den einzelnen Zonen installierte Heizleistung

installierte Heizleistung				
	Fläche	DIN 4701	Kessel mit 12 KW	
	[m ²]	[kW]	[kW]	[kJ/h]
Zone 1	-	-	-	-
Zone 2	97,06	5,51	6,10	21959
Zone 3	17,06	1,06	1,17	4224
Zone 4	78,20	4,27	4,73	17017
Zone 5	-	-	-	-
	192,32	10,84	12,00	43200

6 BESCHREIBUNG DER TESTSZENARIEN

Um das Potential energiesparender Maßnahmen durch den Einsatz von modernen Informationstechnologien zu zeigen, wurden mehrere Testszenarien definiert, die an dieser Stelle beschrieben werden sollen. Alle folgenden Testszenarien zeichnen sich dadurch aus, dass das Vergleichsgebäude für einen definierten Zeitraum unbenutzt bleibt, und daher die Raumtemperatur während dieser Phase abgesenkt werden kann.

6.1 Dreiwöchiger Urlaub

Über einen Zeitraum von drei Wochen während der Heizperiode bleibt das Gebäude unbenutzt, die Raumtemperatur wird in dieser Zeit von 21°C auf 15°C bzw. auf 5°C abgesenkt. In dieser Phase werden auch keine inneren Wärmen durch Personen- und Geräteabwärmen verzeichnet. Abbildung 21 zeigt das Temperaturregelungsschema, die Personenbelegung und die Ventilationsrate für das Testszenario „Dreiwöchiger Urlaub“. Es wurden insgesamt drei Urlaubsphasen zu je 3 Wochen definiert, um den Einfluss unterschiedlicher klimatischer Randbedingungen zu untersuchen. So liegt die durchschnittliche Außenlufttemperatur für die 1. Urlaubsphase vom 19. Dezember bis zum 10. Jänner bei $-1,4^{\circ}\text{C}$, während sie für die 2. und 3. Urlaubsphase bei $1,3^{\circ}\text{C}$ bzw. $2,5^{\circ}\text{C}$ liegt. Während der Urlaubsphasen sind keine Personen anwesend, die rote Kurve in Abbildung 21 zeigt die entsprechende Personenanzahl in der Vergleichszone. Außerdem wird die Ventilationsrate durch Fensterlüftung während der Urlaubsphase vom Standardwert $0,5\text{ h}^{-1}$ auf 0 reduziert, und es ist nur mehr eine Infiltrationsrate von $0,1\text{ h}^{-1}$ wirksam. Zwei Temperaturregelungsschemata werden untersucht: Absenkung der Raumtemperatur auf 15°C bzw. auf 5°C (vgl. Abbildung 21).

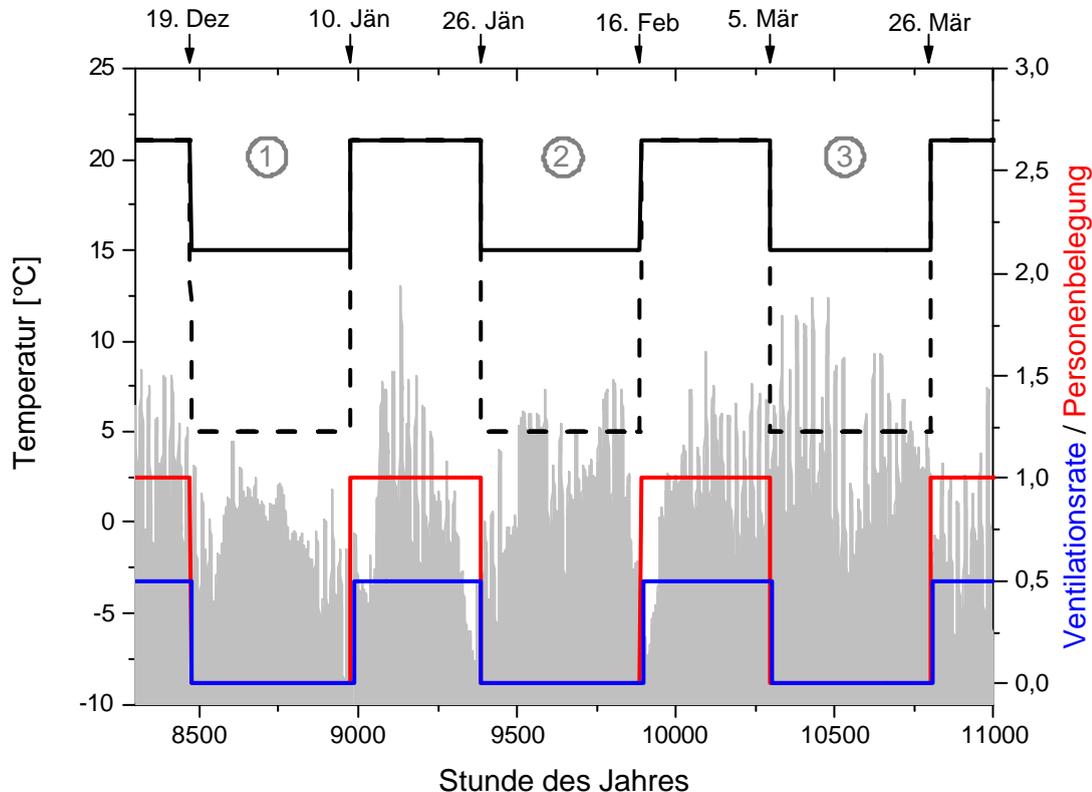


Abbildung 21: Temperaturregelungsschema, Personenbelegung und Ventilationsrate für das Testszenario „Dreiwöchiger Urlaub“. Die grau hinterlegte Fläche stellt den Verlauf der Außenlufttemperatur dar.

6.2 Einwöchiger Urlaub

Über einen Zeitraum von einer Woche während der Heizperiode bleibt das Gebäude unbenutzt, die Raumtemperatur wird in dieser Zeit von 21°C auf 15°C bzw. auf 5°C abgesenkt. In dieser Phase werden auch keine inneren Wärmen durch Personen- und Geräteabwärmen verzeichnet. Abbildung 22 zeigt das Temperaturregelungsschema, die Personenbelegung und die Ventilationsrate für das Testszenario „Einwöchiger Urlaub“. Es wurden insgesamt drei Urlaubsphasen zu je 1 Woche definiert, um den Einfluss unterschiedlicher klimatischer Randbedingungen zu untersuchen. So liegt die durchschnittliche Außenlufttemperatur für die 1. Urlaubsphase vom 3. – 10. Jänner bei $-4,4^{\circ}\text{C}$, während sie für die 2. und 3. Urlaubsphase bei $1,8^{\circ}\text{C}$ bzw. $3,7^{\circ}\text{C}$ liegt. Während der Urlaubsphasen sind keine Personen anwesend, die rote Kurve in Abbildung 22 zeigt die entsprechende Personenanzahl in der Vergleichszone. Außerdem wird die Ventilationsrate durch Fensterlüftung während der Urlaubsphase vom Standardwert $0,5\text{ h}^{-1}$ auf 0 reduziert, und es ist nur mehr eine Infiltrationsrate von $0,1\text{ h}^{-1}$ wirksam. Zwei Temperaturregelungsschemata werden untersucht: Absenkung der Raumtemperatur auf 15°C bzw. auf 5°C (vgl. Abbildung 22).

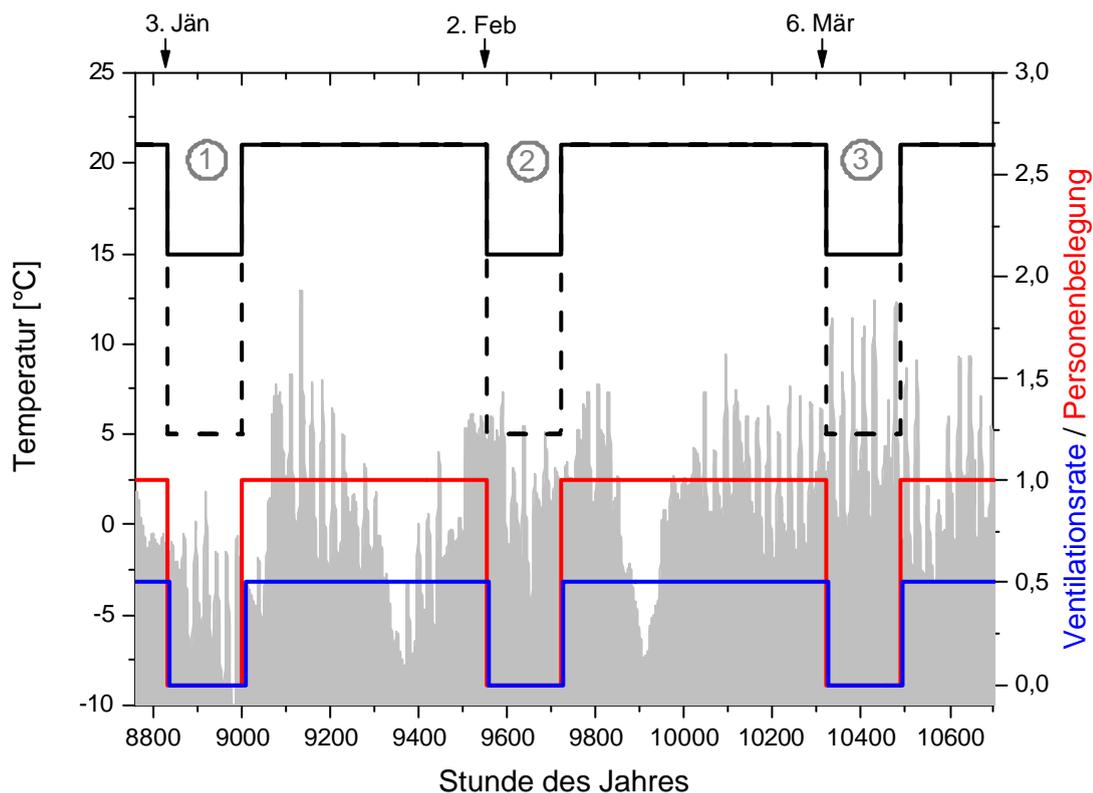


Abbildung 22: Temperaturregelungsschema, Personenbelegung und Ventilationsrate für das Testszenario „Einwöchiger Urlaub“. Die grau hinterlegte Fläche stellt den Verlauf der Außenlufttemperatur dar.

6.3 Wochenendhaus

Dieses Szenario beschreibt den Fall eines Wochenendhauses, d.h. es wird angenommen, dass das Gebäude das ganze Jahr hindurch nur am Wochenende benützt wird. Während der Heizperiode wird daher an den Wochentagen die Raumtemperatur auf 15°C abgesenkt. Abbildung 23 zeigt das Temperaturregelungsschema, die Personenbelegung und die Ventilationsrate für das Testszenario „Wochenendhaus“ für einen Zeitraum von rund drei Monaten (Das Schema wird jedoch das ganze Jahr hindurch fortgesetzt). Während der Wochentage sind keine Personen anwesend, die rote Kurve in Abbildung 23 zeigt die entsprechende Personenanzahl in der Vergleichszone. Außerdem wird die Ventilationsrate durch Fensterlüftung während der Abwesenheit (=Wochentage) vom Standardwert 0,5 h⁻¹ auf 0 reduziert, und es ist nur mehr eine Infiltrationsrate von 0,1 h⁻¹ wirksam.

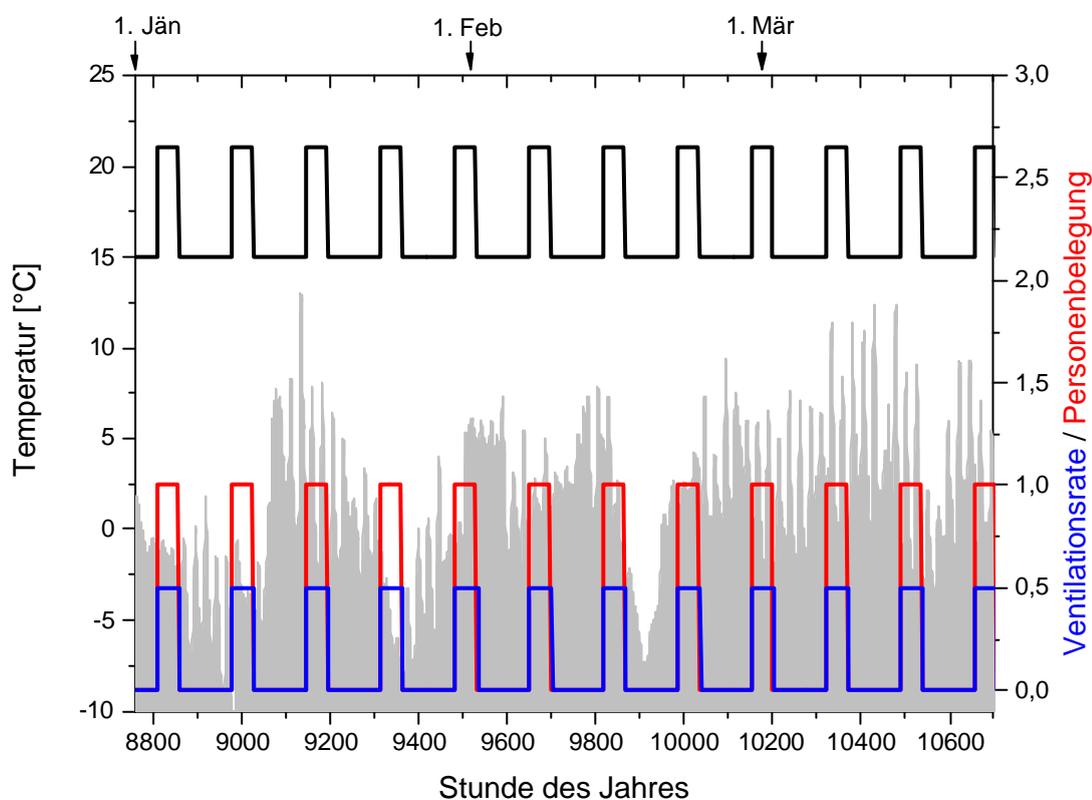


Abbildung 23: Temperaturregelungsschema, Personenbelegung und Ventilationsrate für das Testszenario „Wochenendhaus“. Die grau hinterlegte Fläche stellt den Verlauf der Außenlufttemperatur dar.

6.4 Arbeitsdomizil

Dieser Fall stellt gewissermaßen das Gegenstück zum Szenario „Wochenendhaus“ dar. Hier wird angenommen, dass das Gebäude nur während der Wochentage belegt ist, und über das Wochenende unbenützt bleibt. Die Raumtemperatur wird an den Wochenenden auf 15°C abgesenkt. Abbildung 24 zeigt das entsprechende Temperaturregelungsschema, die Personenbelegung und die Ventilationsrate für das Testszenario „Arbeitsdomizil“ für einen Zeitraum von rund drei Monaten (Das Schema wird jedoch das ganze Jahr hindurch

fortgesetzt). Während der Wochenenden sind keine Personen anwesend, die rote Kurve in Abbildung 24 zeigt die entsprechende Personenanzahl in der Vergleichszone. Außerdem wird die Ventilationsrate durch Fensterlüftung während der Abwesenheit (=Wochenenden) vom Standardwert $0,5 \text{ h}^{-1}$ auf 0 reduziert, und es ist nur mehr eine Infiltrationsrate von $0,1 \text{ h}^{-1}$ wirksam.

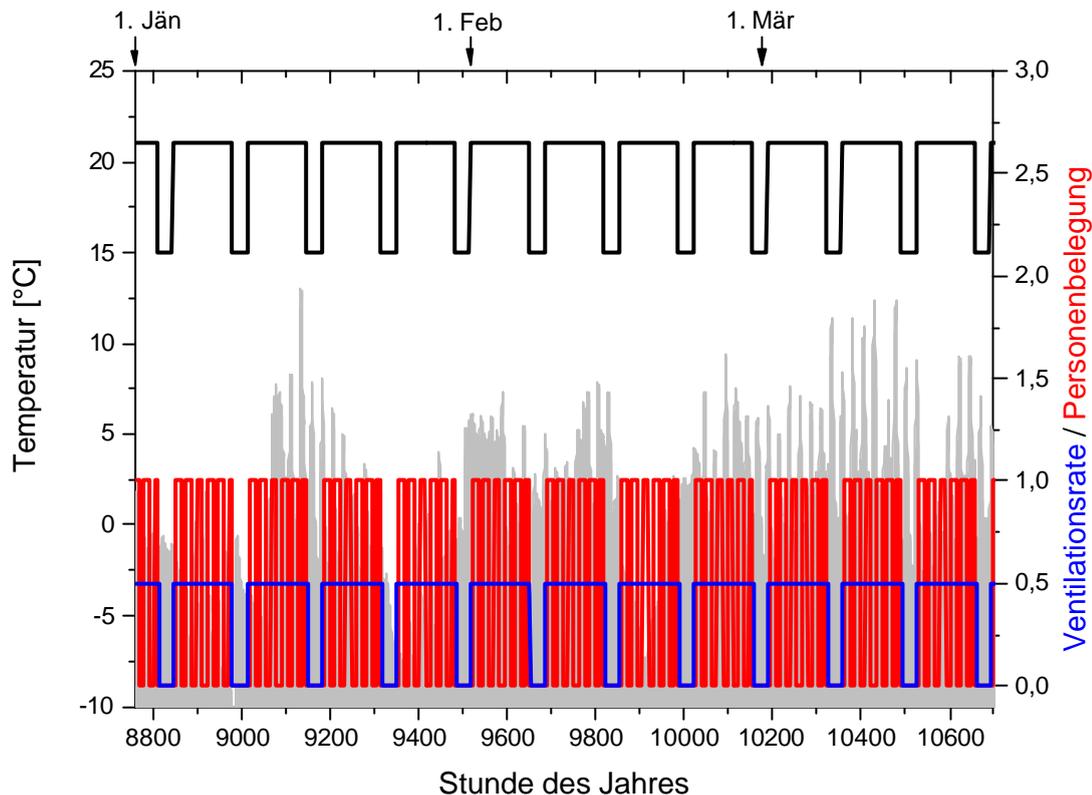


Abbildung 24: Temperaturregelungsschema, Personenbelegung und Ventilationsrate für das Testszenario „Arbeitsdomizil“. Die grau hinterlegte Fläche stellt den Verlauf der Außenlufttemperatur dar.

6.5 Tagesabsenkung

Dieses Szenario „Tagesabsenkung“ simuliert den Fall, dass das Gebäude tagsüber nicht benützt wird und daher für diese Zeiten die Raumtemperatur auf 15°C abgesenkt werden kann. Abbildung 25 zeigt das entsprechende Temperaturregelungsschema, die Personenbelegung und die Ventilationsrate für das Testszenario „Tagesabsenkung“ für einen Zeitraum von rund 10 Tagen (Das Schema wird jedoch das ganze Jahr hindurch fortgesetzt). Zwischen 7 und 18 Uhr sind keine Personen im Gebäude anwesend, die rote Kurve in Abbildung 25 zeigt die entsprechende Personenanzahl in der Vergleichszone. Außerdem wird die Ventilationsrate durch Fensterlüftung während dieser Zeit vom Standardwert $0,5 \text{ h}^{-1}$ auf 0 reduziert, und es ist nur mehr eine Infiltrationsrate von $0,1 \text{ h}^{-1}$ wirksam.

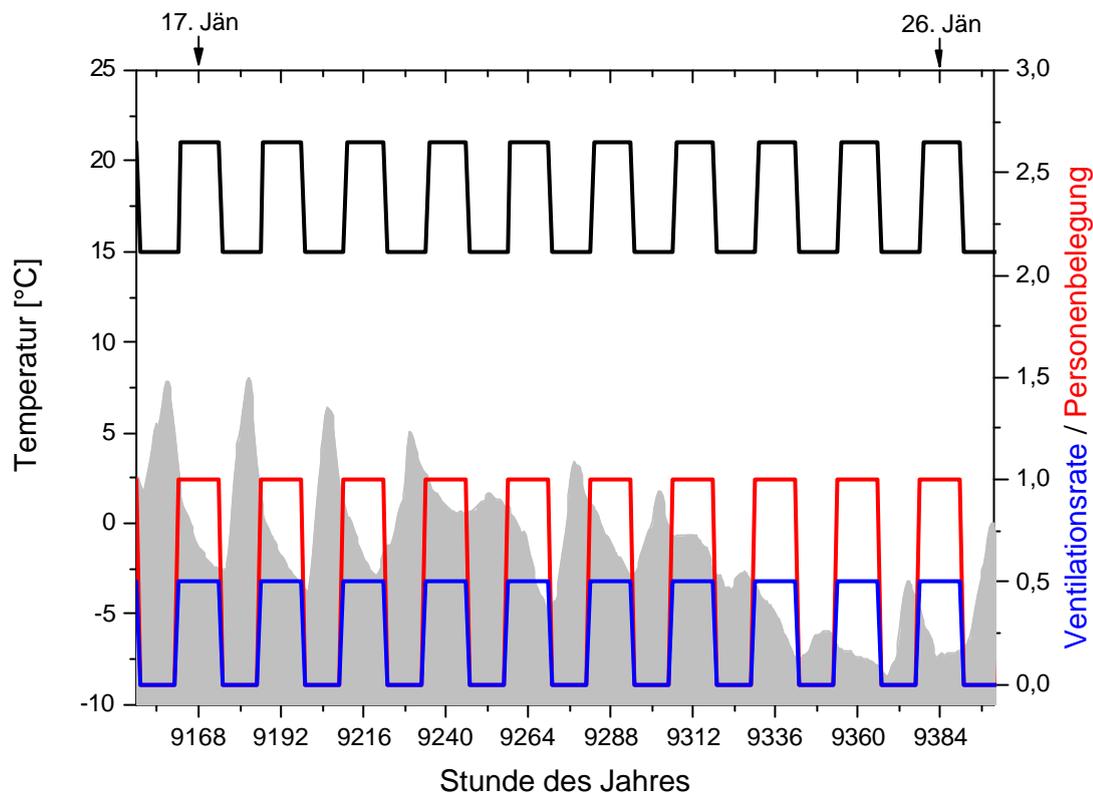


Abbildung 25: Temperaturregelungsschema, Personenbelegung und Ventilationsrate für das Testszenario „Tagesabsenkung“. Die grau hinterlegte Fläche stellt den Verlauf der Außenlufttemperatur dar.

6.6 Nachtabenkung

Dieses Szenario „Nachtabenkung“ untersucht den Fall, dass die Raumtemperatur während der Nachtstunden von 23 – 6 Uhr auf 15°C abgesenkt wird. Abbildung 26 zeigt das entsprechende Temperaturregelungsschema, die Personenbelegung und die Ventilationsrate für das Testszenario „Tagesabsenkung“ für einen Zeitraum von rund 10 Tagen (Das Schema wird jedoch das ganze Jahr hindurch fortgesetzt). Zwischen 7 und 18 Uhr sind keine Personen im Gebäude anwesend, die rote Kurve in Abbildung 26 zeigt die entsprechende Personenanzahl in der Vergleichszone. Für dieses Szenario wird die Ventilationsrate durch Fensterlüftung auf den konstanten Wert von 0,5 h⁻¹ gesetzt.

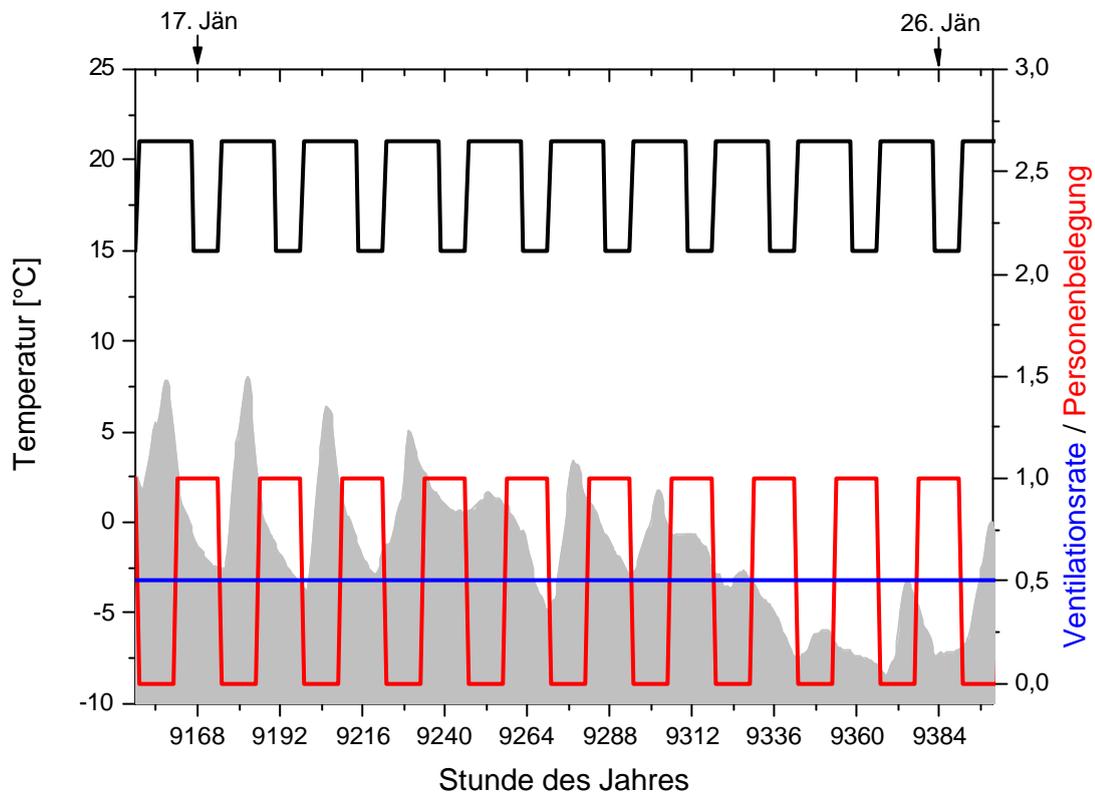


Abbildung 26: Temperaturregelungsschema, Personenbelegung und Ventilationsrate für das Testszenario „Nachtabenkung“. Die grau hinterlegte Fläche stellt den Verlauf der Außenlufttemperatur dar.

7 ENERGETISCHE AUSWERTUNG

In diesem Kapitel werden die Heizwärmeeinsparungen erzielt durch Absenken der Raumtemperatur für die verschiedenen Abkühl Szenarien ausgewertet.

7.1 Generelle Abkühl- und Aufheizcharakteristika

Zunächst werden die prinzipiellen Abkühl- und Aufheizcharakteristika des Vergleichsgebäudes für konstante Außenlufttemperaturen und ohne Einbeziehung von Solarstrahlung betrachtet.

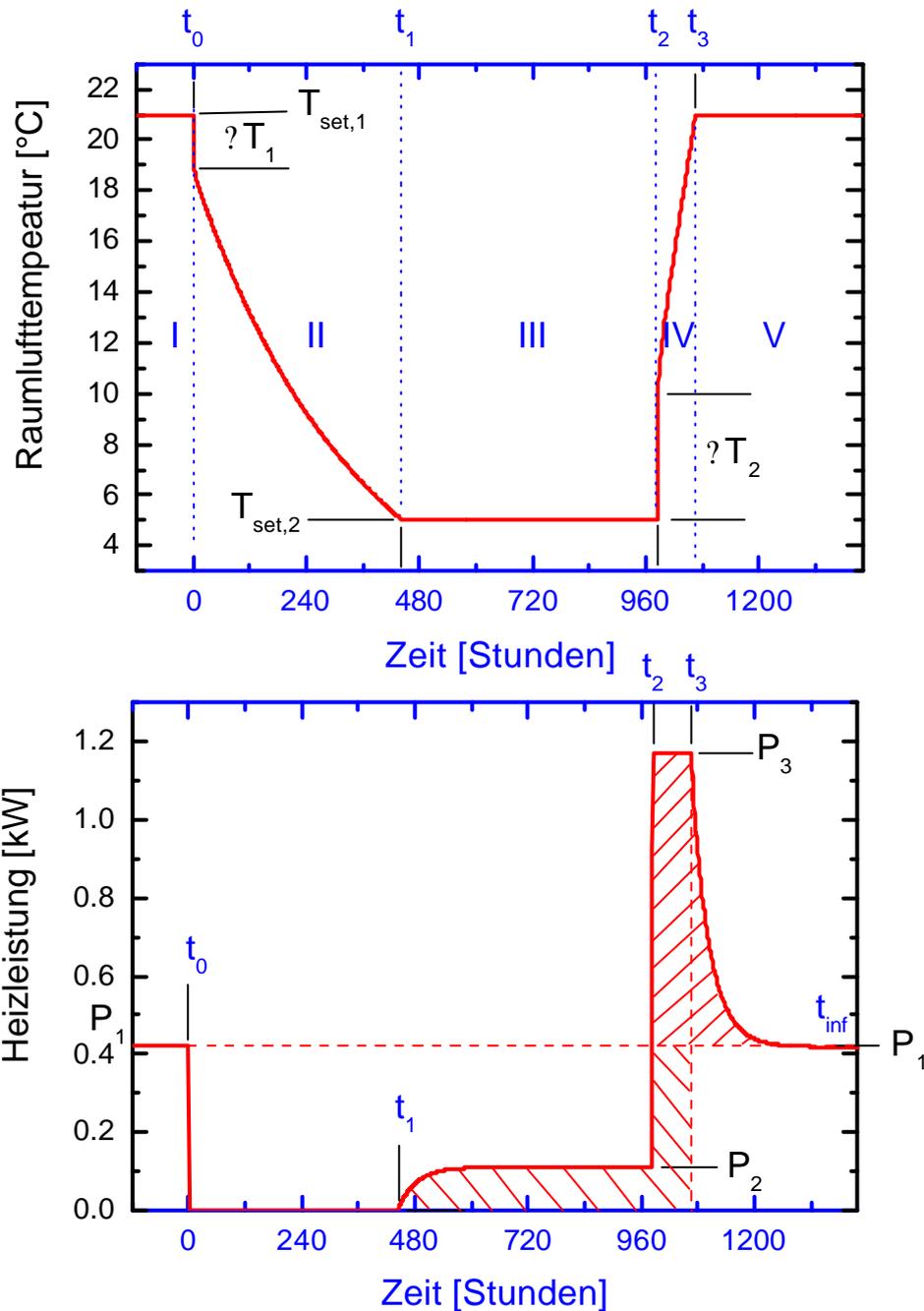


Abbildung 27: Das Abkühlverhalten der Raumlufthtemperatur in der Vergleichszone (Bild oben) und die dazugehörige Heizleistung (Bild unten).

Abbildung 27 zeigt das Abkühlverhalten der Raumlufthtemperatur in der Vergleichszone bei einer konstanten Außenlufttemperatur von 0°C und ohne Einwirkung von Solarstrahlung.

- (I) Vor dem Zeitpunkt t_0 befindet sich die Vergleichszone auf der Solltemperatur von $T_{set,1} = 21^\circ\text{C}$, die mit der entsprechenden Heizleistung P_1 gehalten wird.

- (II) Zum Zeitpunkt t_0 wird nun die Heizleistung auf 0 reduziert. Aufgrund der vergleichsweise geringen Wärmekapazität der Raumluft kommt es zunächst zu einem sehr raschen Ausgleich zwischen Raumlufttemperatur und der Oberflächentemperaturen der umgebenden Wände. Dieser Vorgang geschieht auf einer Zeitskala, der in der vorliegenden Darstellung nicht aufgelöst werden kann. Daher erscheint diese erste Temperaturänderung als „Sprung“ um den Wert ΔT_1 nach unten. Im Zeitraum zwischen t_0 und t_1 kühlt sich nun der Raum weiter aus, wobei die relevante Zeitkonstante von der Wärmekapazität der umgebenden Wände bestimmt wird, während dieser Zeit ist keine Heizleistung erforderlich.
- (III) Um eine minimal gewünschte Raumlufttemperatur $T_{\text{set},2}$ zu halten, muss zum Zeitpunkt t_1 die Heizleistung wieder einsetzen, die sich nach einer Zeit wieder einem stationärem Wert P_2 nähert. Die Zeitkonstante für den Anstieg zu P_2 hängt wiederum von der thermischen Speichermasse der umschließenden Wände ab.
- (IV) Zum Zeitpunkt t_2 wird die Heizleistung von P_2 auf die maximale installierte Heizleistung P_3 erhöht, um die Raumtemperatur in möglichst kurzer Zeit wieder auf die Solltemperatur von $T_{\text{set},1}$ zu bringen. Zunächst „springt“ die Raumlufttemperatur wiederum um den Wert ΔT_2 auf die Oberflächentemperatur der Wände bevor auch die umschließenden Wände wieder aufgeheizt werden.
- (V) Schließlich wird die Solltemperatur für die Raumluft zum Zeitpunkt t_3 wieder erreicht, und die Heizleistung sinkt wieder allmählich auf ihren ursprünglichen Wert von P_1 ab. Auch dieser Vorgang wird von einer Zeitkonstanten dominiert, die im wesentlichen von den Speichermassen der umschließenden Wände bestimmt wird.

Der Heizwärmebedarf während der Temperaturabsenkung, d.h. von t_0 bis t_3 ergibt sich als Integral über die Heizleistung (schraffierte Fläche in Abbildung 27).

$$E_{\text{absenk}} = \int_{t_0}^{t_3} P(t) dt = \int_{t_0}^{t_{\text{inf}}} P_3 dt + \int_{t_{\text{inf}}}^{t_3} P_2 dt + \int_{t_3}^{t_3} P_1 dt \quad (1)$$

während sich der Heizwärmebedarf ohne Absenkphase (strichlierte Linie in Abbildung 27) einfach zu

$$E_0 = \int_{t_0}^{t_3} P_1 dt = P_1 (t_3 - t_0) = P_1 t_{\text{ges}} \quad (2)$$

ergibt. Die Differenz aus E_0 und E_{absenk} ist somit die Heizenergieersparnis, die sich dadurch ergibt, dass die Raumsolltemperatur für die Zeit $t_{\text{ges}} = t_3 - t_0$ von $T_{\text{set},1}$ auf $T_{\text{set},2}$ abgesenkt wird. Für eine praktische Anwendung wird die Dauer der Abkühlphase t_{ges} vom Bewohner bestimmt, wie es auch bei den Testszenarien, die im letzten Abschnitt vorgestellt wurden, der Fall ist. Daher ist es erforderlich über die Aufheizzeit $t_{\text{aufheiz}} = t_3 - t_2$ im vorhinein Bescheid zu wissen. Diese Zeitspanne wird im wesentlichen von fünf Parametern abhängen:

- (i) Die mittlere Außenlufttemperatur während der Aufheizphase
- (ii) Die Luftwechselrate mit Außenluft
- (iii) Die Absenkttemperatur $T_{\text{set},2}$
- (iv) Die maximal verfügbare Heizleistung
- (v) Die vorhanden Speichermassen

Aufheizzeiten, Ventilationsrate 0,5 Infiltration = 0,1

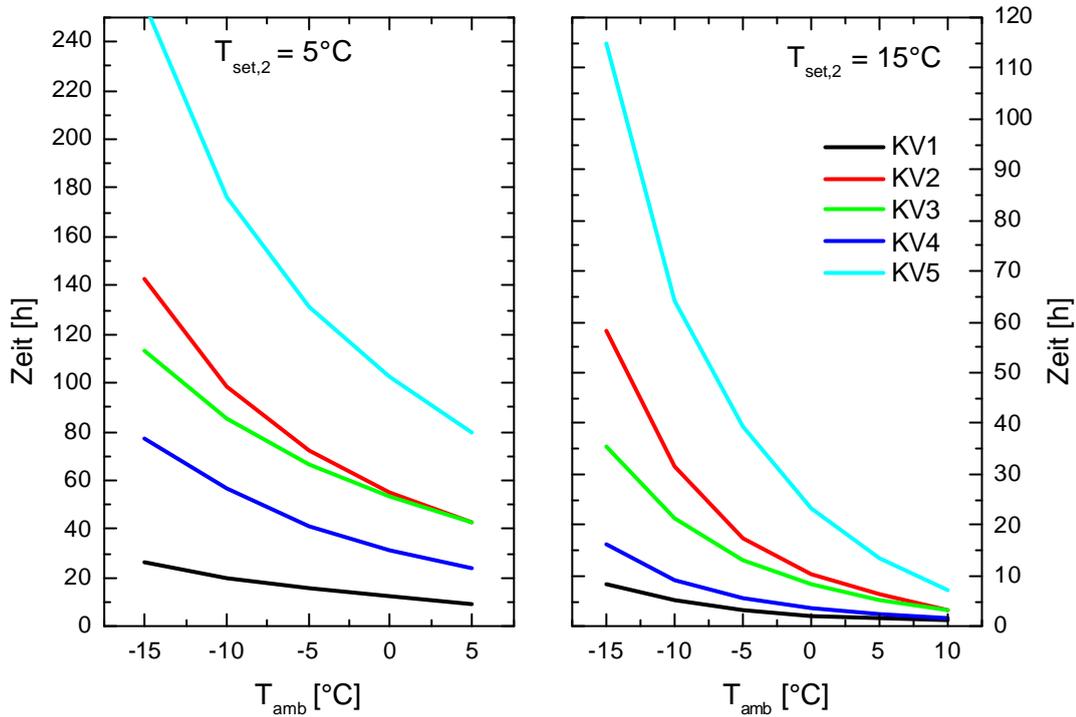


Abbildung 28: Die Aufheizzeiten für die fünf betrachteten Konstruktionsvarianten als Funktion der Außenlufttemperatur. Die Absenkttemperatur wurde mit $T_{set,2} = 5^\circ\text{C}$ (links) und mit $T_{set,2} = 15^\circ\text{C}$ (rechts) gewählt. Die maximale Heizleistung ist auf 69 W/m^2 beschränkt (vgl. Tabelle 23), die Ventilationsrate beträgt $0,5 \text{ h}^{-1}$, die Infiltration $0,1 \text{ h}^{-1}$.

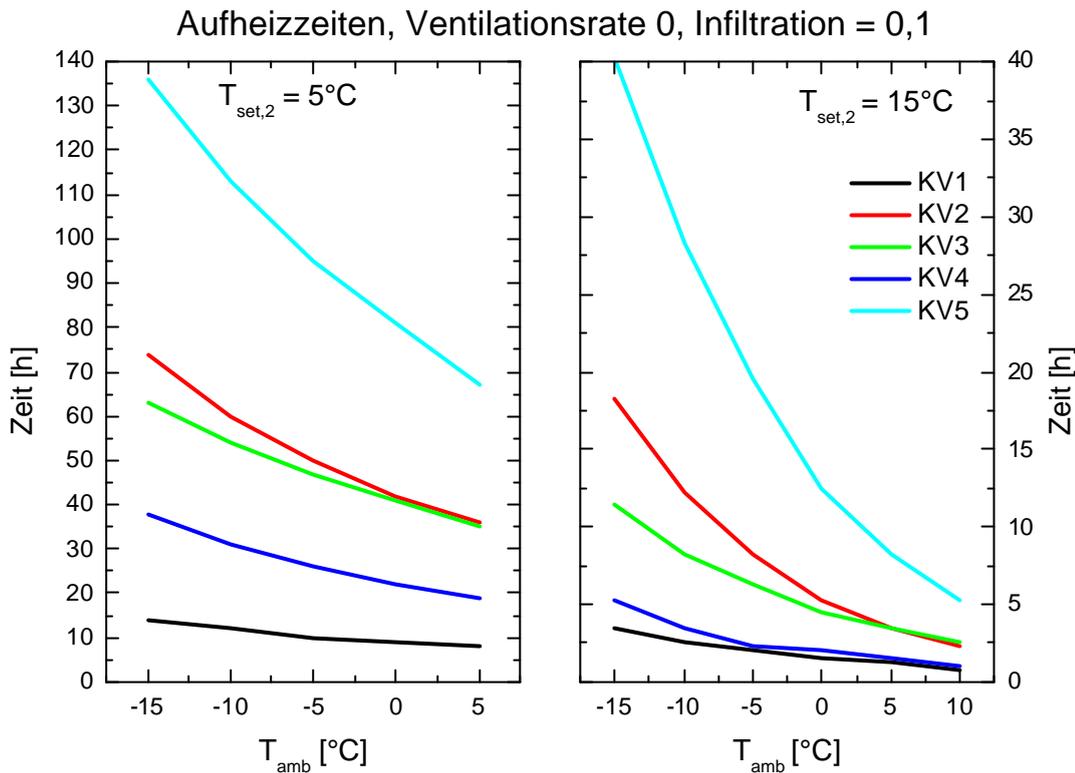


Abbildung 29: Wie Abbildung 28 nur mit auf 0 reduzierter Ventilationsrate während der Aufheizphase.

Aus Abbildung 28 bzw. Abbildung 29 ist der Einfluss des Konstruktionssystems auf das thermische Verhalten nach einer Abkühlphase klar ersichtlich. Der Unterschied zwischen Abbildung 28 und Abbildung 29 liegt in der Ventilationsrate, die mit $0,5 \text{ h}^{-1}$ im ersten Fall bzw. 0 h^{-1} im letzteren Fall angesetzt wurde, während die Infiltrationsrate in beiden Fällen $0,1 \text{ h}^{-1}$ beträgt. Für die im letzten Kapitel beschriebenen Testszenarien fallen die Aufheizphase jeweils in Zeiträume, in denen keine Personenbelegung vorhanden ist. Daher kann der hygienische Luftwechsel in diesen Zeiten reduziert werden. Eine Ausnahme bildet das Szenario „Nachtabsenkung“, in dem während der Absenckphasen (23 bis 6 Uhr) Personen im Gebäude anwesend sind, und daher der hygienische Luftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ aufrecht erhalten werden muss. Generell kann man feststellen, dass sich die Aufheizen grob gesagt halbieren, wenn man die Luftwechselrate von $0,5 \text{ h}^{-1}$ auf 0 h^{-1} reduziert, und eine Infiltrationsrate von $0,1 \text{ h}^{-1}$ für beide Fälle annimmt (vgl. Abbildung 28 und Abbildung 29). Die kürzesten Aufheizzeiten verzeichnet – wie zu erwarten – der Holzständerleichtbau (KV1), für den sich relativ konstante Aufheizzeiten von ca. 12 Stunden für eine Erwärmung von 5°C auf 21°C ergeben. Das andere Extrem ist der Stahlbetonmassivbau (KV5) für den Aufheizzeiten von bis zu 5 Tagen bei einer Außenlufttemperatur von -12°C zu erwarten sind. Die restlichen Konstruktionsvarianten liegen mit ihren Aufheizzeiten zwischen diesen beiden Extremfällen, wobei zu bemerken ist, dass die Massivholzvariante (KV4) nur etwa halb so lange Aufheizzeiten aufweist wie die beiden Ziegelmassivkonstruktionen (KV2 und KV3). Es ist zu beachten, dass die in Abbildung 28 und Abbildung 29 dargestellten Zeiten „worst-case“ Werte darstellen, da eventuelle solare Einträge während der Aufheizphase hier nicht berücksichtigt wurden. Abbildung 30 zeigt einen Vergleich der Abkühl- und Aufheizcharakteristika für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten. Zunächst erkennt man deutlich den prinzipiellen Temperatur- und Heizleistungsungsverlauf wie in Abbildung 27 gezeigt wieder. Am schnellsten kühlt wiederum der Holzständerleichtbau (KV1) aus. Zu diesem Zeitpunkt muss auch die Heizung wieder einsetzen, um die gewünschte Minimaltemperatur von 5°C zu halten. Bei einer Außentemperatur von 0°C ist das erst nach ca. 4 Tagen der Fall, während sich der Stahlbetonmassivbau (KV5) überhaupt erst nach gut 18 Tagen auf 5°C abgekühlt hat. Tabelle 24 zeigt eine

vollständige Auflistung der Abkühl- und Aufheizzeiten für die betrachteten Konstruktionsvarianten für eine Absenkttemperatur von 5°C und 15°C.

Tabelle 24: Abkühl- und Aufheizzeiten für die betrachteten Konstruktionsvarianten bei einer Außentemperatur von 0°C und Absenkttemperaturen von 5 bzw. 15 °C, die Ventilationsrate während der Aufheizphase beträgt 0 h^{-1} , die Infiltration $0,1 \text{ h}^{-1}$.

	$T_{\text{set } 2} = 5^\circ\text{C}$		$T_{\text{set } 2} = 15^\circ\text{C}$	
	$t_{\text{abkühl}} [\text{h}]$	$t_{\text{aufheiz}} [\text{h}]$	$t_{\text{abkühl}} [\text{h}]$	$t_{\text{aufheiz}} [\text{h}]$
KV1	104	9	13	1.5
KV2	274	42	42	5.5
KV3	375	41	62	4.5
KV4	347	22	43	2
KV5	445	81	76	12.5

Nach diesen prinzipiellen Betrachtungen, bei denen die Außentemperatur auf stationäre Werte gesetzt wurde und auch keine solaren Einträge berücksichtigt wurden, wenden wir uns nun einem realen Klima, nämlich Graz 1998 (siehe Kapitel 5.1) und den in Kapitel 6 beschriebenen Szenarien zu.

$T_{\text{amb}} = 0^{\circ}\text{C}$, Zone 3 (17.06 m²)

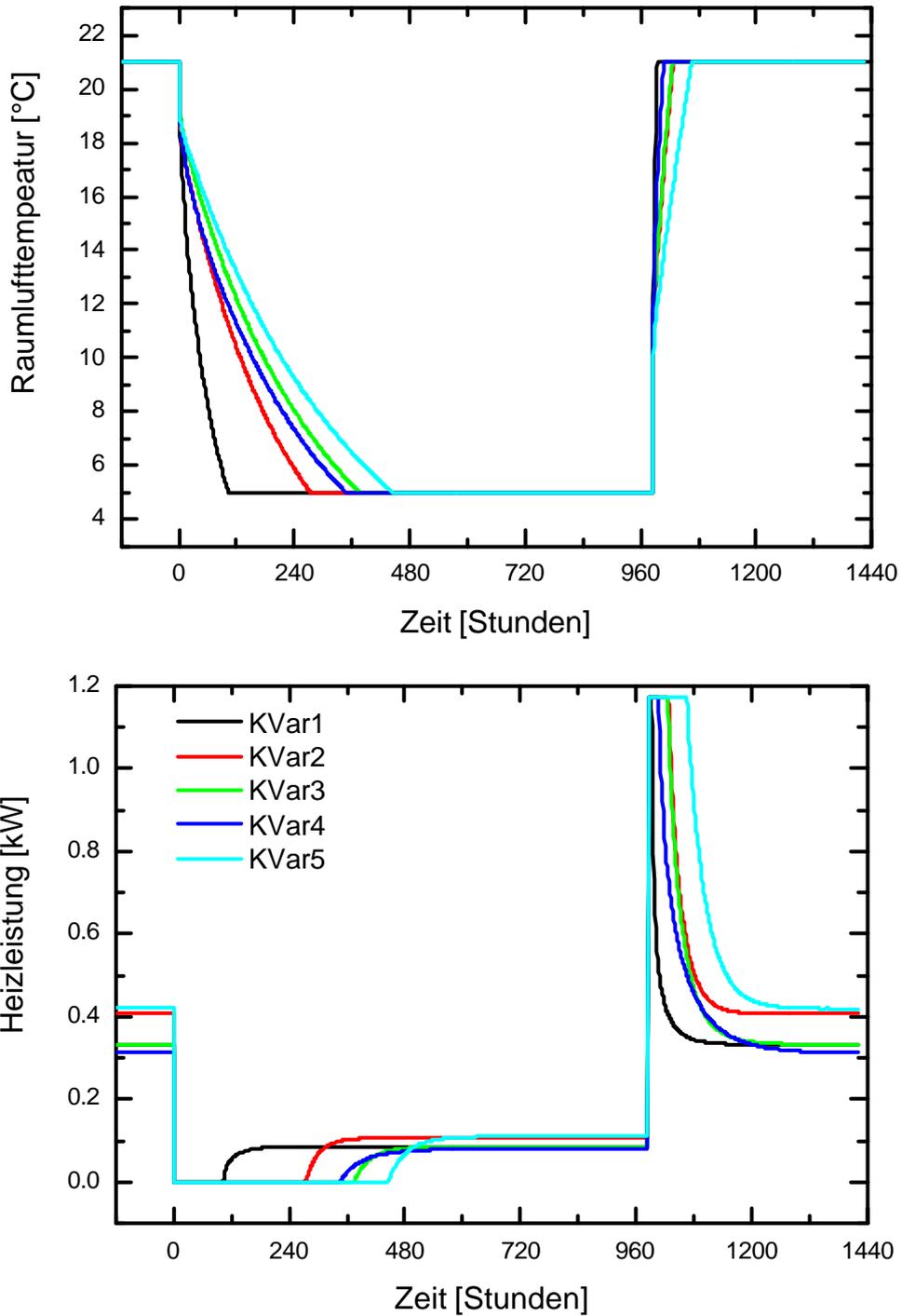


Abbildung 30 Vergleich der Abkühl- und Aufheizcharakteristika für Vergleichszone (Zone 3) für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten. Die Außentemperatur ist auf den konstanten Wert von 0°C fixiert, die maximale Heizleistung auf 1,17 kW beschränkt.

7.2 Dreiwöchige Urlaubsphase

Bild 10 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizleistungskurve während einer dreiwöchigen Abkühlphase vom 19. Dezember 1997 bis zum 10. Jänner 1998 im real gemessenen Klima vom Standort Graz. Der Verlauf der Außentemperatur wird durch die grau hinterlegte Fläche verdeutlicht, die durchschnittliche Außentemperatur während dieses Zeitraums betrug $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die roten Kurven korrespondieren zu einer Temperaturabsenkung auf $T_{\text{set},2} = 5^{\circ}\text{C}$ während die schwarzen Linien den entsprechenden Verlauf für $T_{\text{set},2} = 15^{\circ}\text{C}$ charakterisieren. **Bild 10** stellt den Holzständerleichtbau (KV1) und den Stahlbetonmassivbau (KV5) gegenüber. Man erkennt deutlich die unterschiedlichen Zeitkonstanten der beiden Bauweisen, und die Temperaturverläufe bzw. Heizlastkurven weisen zeigen prinzipiell ein analoges Verhalten zu dem in Abbildung 27 dargestellten Verlauf für stationäre Außentemperatur. Gründe für ein Abweichen vom vereinfachten Verhalten von Abbildung 27 liegen einerseits in einer variablen Außentemperatur und andererseits in dem Vorhandensein von solaren Gewinnen. Beide Effekte führen dazu, dass sowohl der Temperaturverlauf als auch die Heizlastkurve mehr oder weniger starken Schwankungen unterworfen ist. Diese Schwankungen sind für den Leichtbau naturgemäß ausgeprägter als für den Stahlbetonmassivbau.

Es ist zu beachten, dass für den Stahlbetonmassivbau die Raumtemperatur $6,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ nicht unterschreitet, d.h. dass die $T_{\text{set},2} = 5^{\circ}\text{C}$ während der drei Wochen nicht erreicht werden, andererseits ist eine Aufheizzeit von 85 h notwendig was recht gut mit den aus Abbildung 30 ermittelten Werten übereinstimmt (vgl. Tabelle 24).

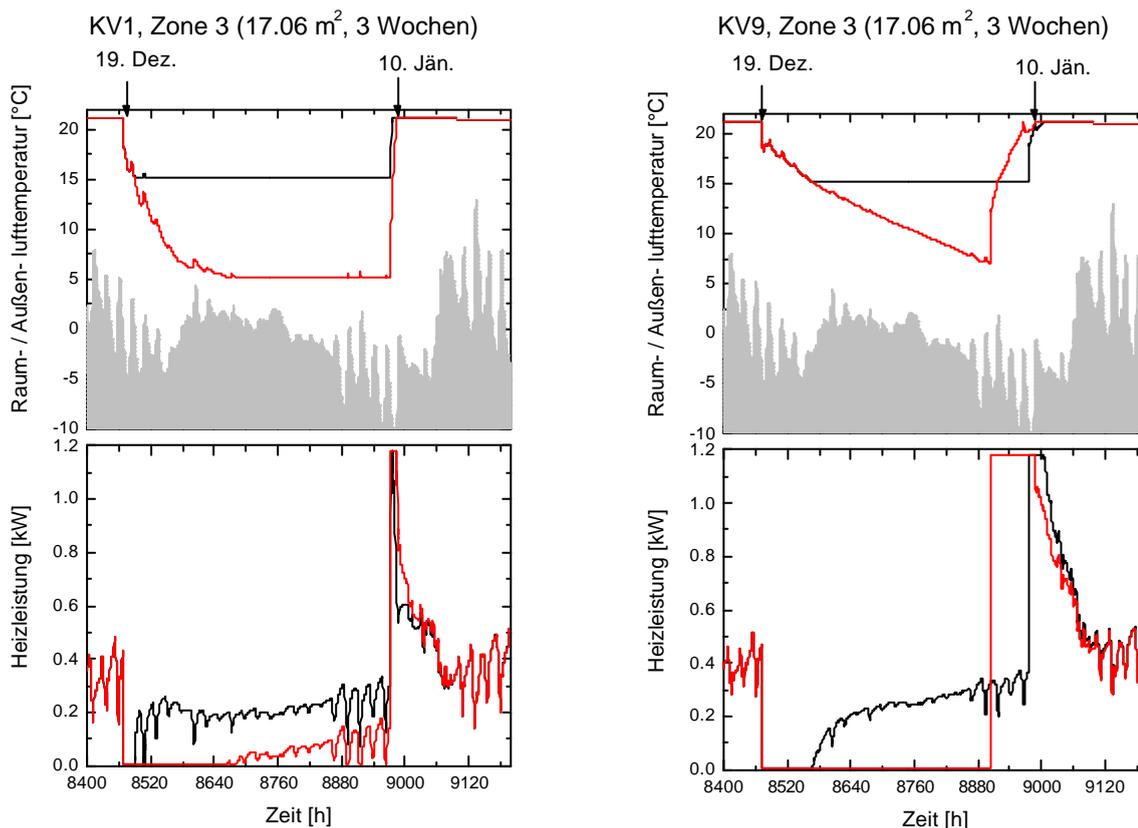


Abbildung 31: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) während einer dreiwöchigen Abkühlphase für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schwarzen (roten) Kurven korrespondieren zu Abkühlenszenarien auf 15°C (5°C) Raumtemperatur, während die schraffierte Fläche den Verlauf der Außenlufttemperatur darstellt.

Der Heizwärmebedarf während der Abkühlphase ergibt sich als Integral über den Heizlastverlauf analog zu Gleichung (1), der Vergleichswert – also der Heizwärmebedarf über den selben Zeitraum ohne Temperaturabsenkung – ergibt sich ebenso aus der Integration der Heizlast für diesen Fall. zeigt eine dementsprechende Auswertung des Heizwärmebedarfs für alle 5 betrachteten Konstruktionsvarianten für eine Temperaturabsenkung auf 5°C (links) bzw. auf 15°C (rechts). Die weißen Balken dienen als Referenz und zeigen den Energiebedarf für die betrachteten 3 Wochen ohne Absenken der Raumtemperatur, während die Summe der grauen Balken den Bedarf darstellt, der sich ergibt, wenn die Raumtemperatur auf 5 bzw. 15°C abgesenkt wird. Die Aufteilung der Balken in hellgraue und dunkelgraue Bereiche entspricht den in Abbildung 27 unterschiedlich schraffierten Flächen. Das heißt, der hellgraue Bereich beziffert den Wärmebedarf während der reinen Absenkphase, während der dunkelgraue Bereich den Wärmebedarf angibt, der zum Wiederaufheizen des Raumes samt Speichermassen erforderlich ist. Es ist klar, dass dieser Anteil für den Holzständerleichtbau (KV1) viel kleiner ist als beispielsweise für den Stahlbetonmassivbau (KV5), was man auch deutlich entnehmen kann. Weiters sieht man, dass die Energiemenge zum Wiederaufheizen bei Abkühlung auf 5°C rund den doppelten Wert annimmt im Vergleich zum Absenkszenario auf 15°C. Umgekehrt erkennt man aber auch, dass der Wärmebedarf während der Abkühlphase (hellgrauer Bereich) naturgemäß stark abnimmt, wenn man die Raumsolltemperatur von 15°C auf 5 °C reduziert. Insgesamt ergeben sich deutlich höhere Einsparungen bei Absenkung auf 5°C, wobei der Unterschied für die Leichtbauweisen ausgeprägter ist als für Massivbaukonstruktionen. So erwartet man für die KV1 eine Einsparung von knapp 7 kWh/m² bei 5°C, bzw. nur 2,8 kWh/m² bei 15°C Absenktemperatur, während man für KV5 Werte von 5,1 kWh/m² und 3,4 kWh/m² errechnet.

Zusammenfassend kann man sagen, dass sich Unterschiede in der Konstruktionsart bei einer Raumtemperaturabsenkung auf 15°C nur wenig auswirken, und die relativen Energieeinsparungen bei rund 30% für alle betrachteten Konstruktionsvarianten liegen. Lässt man die Raumtemperatur jedoch bis auf 5°C sinken, so zeigen sich Vorteile der Leichtbauweise, die Einsparungen bis zu 75% ermöglichen, während beispielsweise mit einer Stahlbetonbauweise nur Einsparungen von rund 45% erzielt werden können. Der Vorsprung der Leichtbauweise gegenüber der Massivbauweise ergibt sich aus der Tatsache, dass erstere schnellere Auskühl- und Aufheizzeiten aufweist, wodurch der Leichtbau für eine längere Zeit auf niedrigem Temperaturniveau bleibt und somit geringere Transmissionsverluste aufweist.

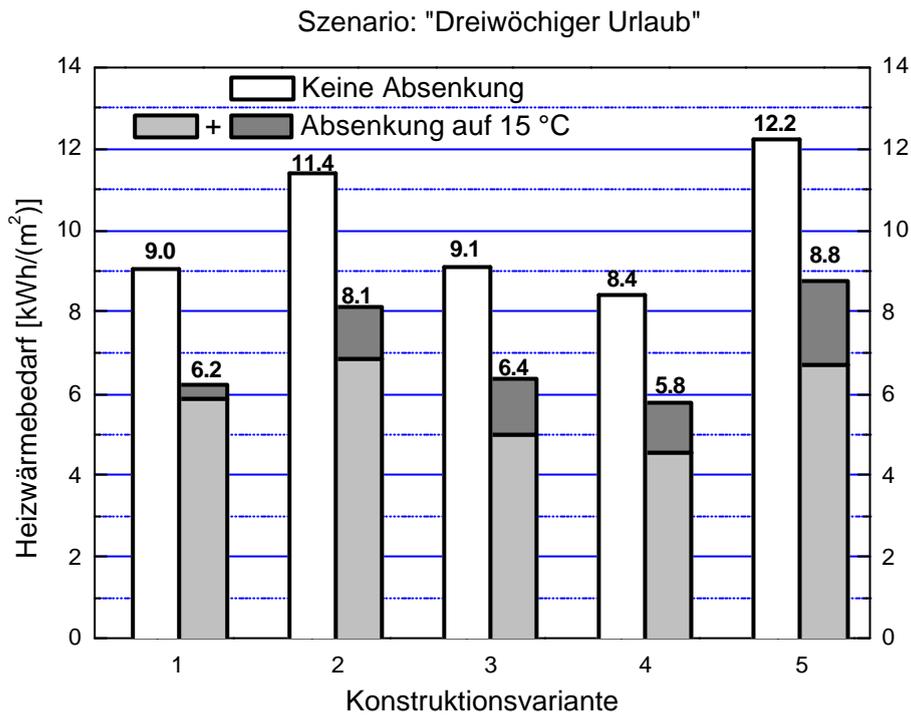


Abbildung 32: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfs in der Vergleichszone für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten für 3 Wochen des Winters 1997/98 (vgl. **Bild 10**). Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15°C bezeichnen.

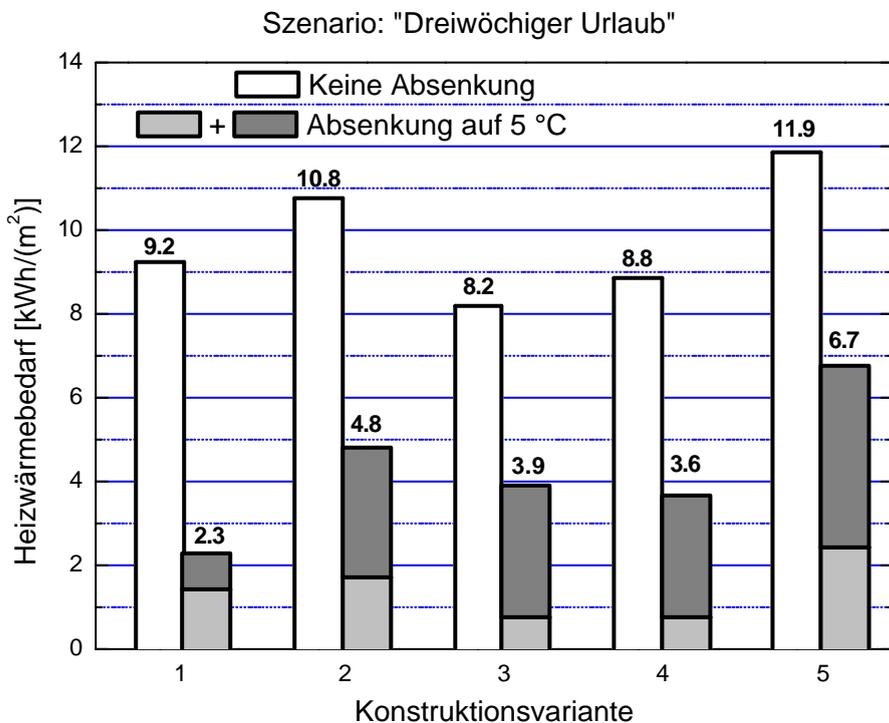


Abbildung 33: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfs in der Vergleichszone für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten für 3 Wochen des Winters 1997/98 (vgl. **Bild 10**). Die weißen Balken dienen als

Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 5°C bezeichnen.

7.3 Einwöchige Urlaubsphase

Abbildung 34 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während einer einwöchigen Urlaubsphase vom 3. bis zum 10. Jänner 1998 im real gemessenen Klima vom Standort Graz. Der Verlauf der Außentemperatur wird durch die grau hinterlegte Fläche verdeutlicht, die durchschnittliche Außentemperatur während dieses Zeitraums betrug $-4,4\text{ °C}$.

Analog zum vorhergehenden Kapitel korrespondieren die roten Kurven zu einer Temperaturabsenkung auf $T_{\text{set},2} = 5\text{ °C}$ während die schwarzen Linien den Verlauf für $T_{\text{set},2} = 15\text{ °C}$ charakterisieren. Wieder werden der Holzständerleichtbau (KV1) und der Stahlbetonmassivbau (KV5) gegenübergestellt. Zusätzlich ist der Verlauf der Heizlast für den Fall dargestellt, dass die Raumtemperatur *nicht* abgesenkt wird (blau strichlierte Kurve). Wie bereits für die dreiwöchige Urlaubsphase zu bemerken war, kühlt der Stahlbetonmassivbau aufgrund seiner hohen Speichermassen innerhalb einer Woche nur sehr langsam aus, und die minimale erreichte Temperatur liegt bei $11,9\text{ °C}$ bevor die Aufheizphase einsetzt.

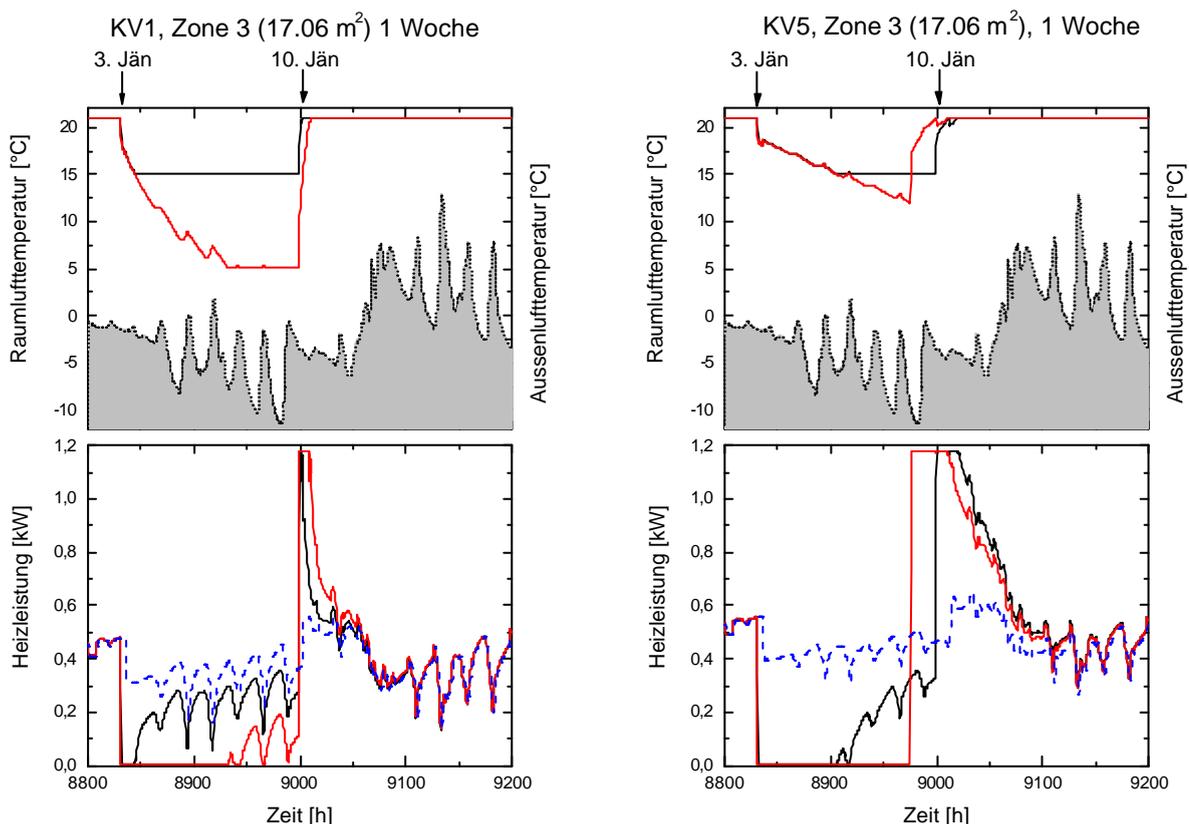


Abbildung 34: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) während einer einwöchigen Abkühlphase im Jänner für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schwarzen (roten) Kurven korrespondieren zu Abkühl Szenarien auf 15 °C (5 °C) Raumtemperatur, während die schraffierte Fläche den Verlauf der Außenlufttemperatur darstellt. Die blau strichlierte Kurve stellt die Heizlastkurve *ohne* Temperaturabsenkung dar.

Die energetische Auswertung der für die oben gezeigte einwöchige Urlaubsphase ist in den Abbildung 36 dargestellt, wobei die Bedeutung der einzelnen Balken analog zu Abbildung 32 und Abbildung 33 gewählt ist (vgl. auch Kapitel 7.2). Im Vergleich zur dreiwöchigen Urlaubsphase fällt zunächst auf, dass der Heizwärmebedarf für die einwöchige Phase naturgemäß um rund ein Drittel geringer ist (vgl. die veränderte Skala in Abbildung 36). Da der Energieanteil für das Wiederaufheizen (graue Balken) jedoch *absolut* gesehen unverändert bleibt, ist die zu erwartende Energieeinsparung sowohl relativ als auch absolut gesehen geringer als für die dreiwöchige Urlaubsphase. Bei einer Temperaturabsenkung auf $T_{\text{set},2} = 15^\circ\text{C}$ liegt die Energieeinsparung bei rund 1 kWh/m^2 für alle 5 betrachteten Konstruktionsvarianten, während sich bei einer Absenkung auf $T_{\text{set},2} = 5^\circ\text{C}$, wiederum Vorteile der Leichtbauweise gegenüber der Massivbauweise deutlich werden. Die maximale Einsparung von rund $2,2 \text{ kWh/m}^2$ erwartet man wiederum für den Holzständerleichtbau (KV1) während sich die Einsparungen beim Stahlbetonmassivbau gegenüber $T_{\text{set},2} = 15^\circ\text{C}$ nicht weiter steigern lassen, weil die Speichermassen keine so große Auskühlung zulassen.

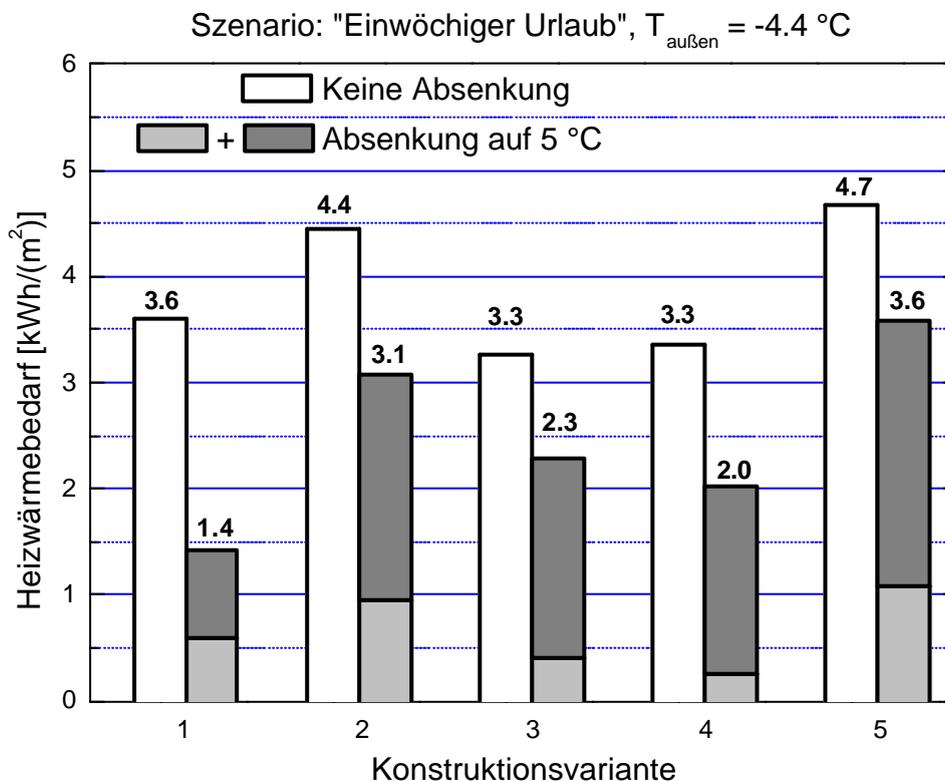


Abbildung 35: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfs in der Vergleichszone für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten für 1 Woche des Winters 1997/98 vom 3. – 10. Jänner. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 5°C bezeichnen.

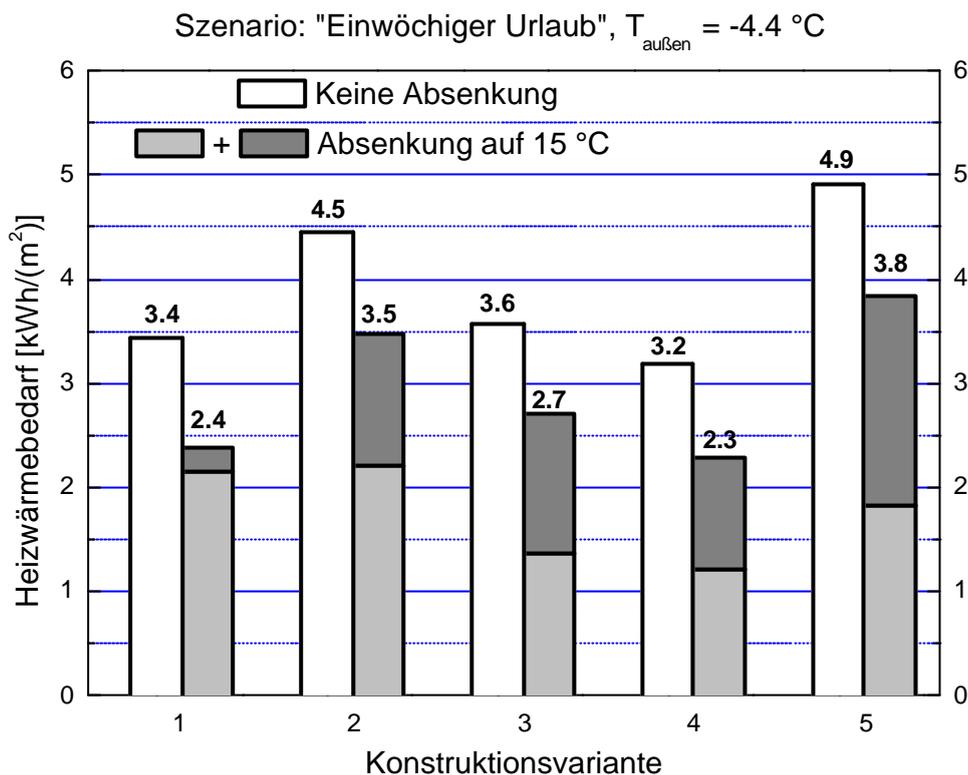


Abbildung 36: Gegenüberstellung des Heizwärmebedarfs in der Vergleichszone für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten für 1 Woche des Winters 1997/98 vom 3. – 10. Jänner. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15°C bezeichnen.

Alle oben genannten Auswertungen beziehen sich auf eine einzige – im Prinzip willkürlich gewählte – Woche im Jänner 1998 mit einer durchschnittlichen Temperatur von $-4,4\text{°C}$, die Minimal- und Maximalwerte liegen bei $-11,4\text{°C}$ und $1,8\text{°C}$. Es ist nun interessant den Einfluss der klimatischen Randbedingungen auf die Heizenergieeinsparung zu diskutieren. Abbildung 37 zeigt nun die Temperaturverläufe zusammen mit den Heizlastkurven während einer einwöchigen Urlaubsphase im März, mit dem Klimadatensatz von Graz 1998. Die Durchschnittstemperatur liegt hier bei $3,7\text{°C}$, die Minimal- und Maximaltemperatur bei $-1,3\text{°C}$ bzw. $12,4\text{°C}$. Aufgrund der höheren Außentemperaturen und der größeren solaren Einträge sinkt die Raumtemperatur selbst beim Holzständerleichtbau (KV1) innerhalb dieser Woche nie unter $7,8 \text{ °C}$, beim Stahlbetonbau bleibt die Temperatur immer über 14°C .

Betrachtet man die energetische Auswertung für diese Märzwoche (Abbildung 39), so sieht man zunächst deutlich reduzierte Heizenergien im Vergleich zur Jännerwoche aufgrund des um beinahe 8°C höheren Durchschnittswert der Außentemperatur. Absolut gesehen bleiben jedoch die energetischen Einsparungen durch Absenken der Temperatur auf $T_{\text{set},2} = 15\text{°C}$ bei rund 1 kWh/m^2 für alle 5 Konstruktionsvarianten, die relativen Einsparungen sind für diese Woche mit höherer Außentemperatur etwas größer. Ein Absenken der Temperatur auf $T_{\text{set},2} = 5\text{°C}$ wirkt sich nur mehr für den Holzständerleichtbau (KV1) aus, da die Speichermassen der anderen Konstruktionsvarianten ein zu starkes Auskühlen nicht zulassen.

Zusammenfassend kann man sagen, dass man durch ein Absenken der Raumtemperatur auf 15°C während einer einwöchigen Abwesenheit rund 1 kWh/m^2 an Heizenergie einsparen kann. Dieses Ergebnis trifft sowohl für Leichtbauweisen, wie den Holzständerleichtbau (KV1), als auch für Massivbauweisen wie die Stahlbetonkonstruktion (KV5) gleichermaßen zu. Wie die Auswertung der zwei Wochen im Jänner (Außentemperatur $-4,4\text{°C}$) und im März (Außentemperatur $+3,6\text{°C}$) gezeigt haben, bleiben die Heizenergieeinsparungen annähernd gleich groß trotz 8°C Differenz in der Außentemperatur für diese zwei Wochen. Ein Absenken der Raumtemperatur auf 5°C wirkt sich nur mehr für Leichtbauweisen wie zum

Beispiel KV1 aus, wodurch sich die Energieeinsparung auf rund 1,5 – 2,2 kWh/m² für eine einwöchige Urlaubsphase steigern lassen.

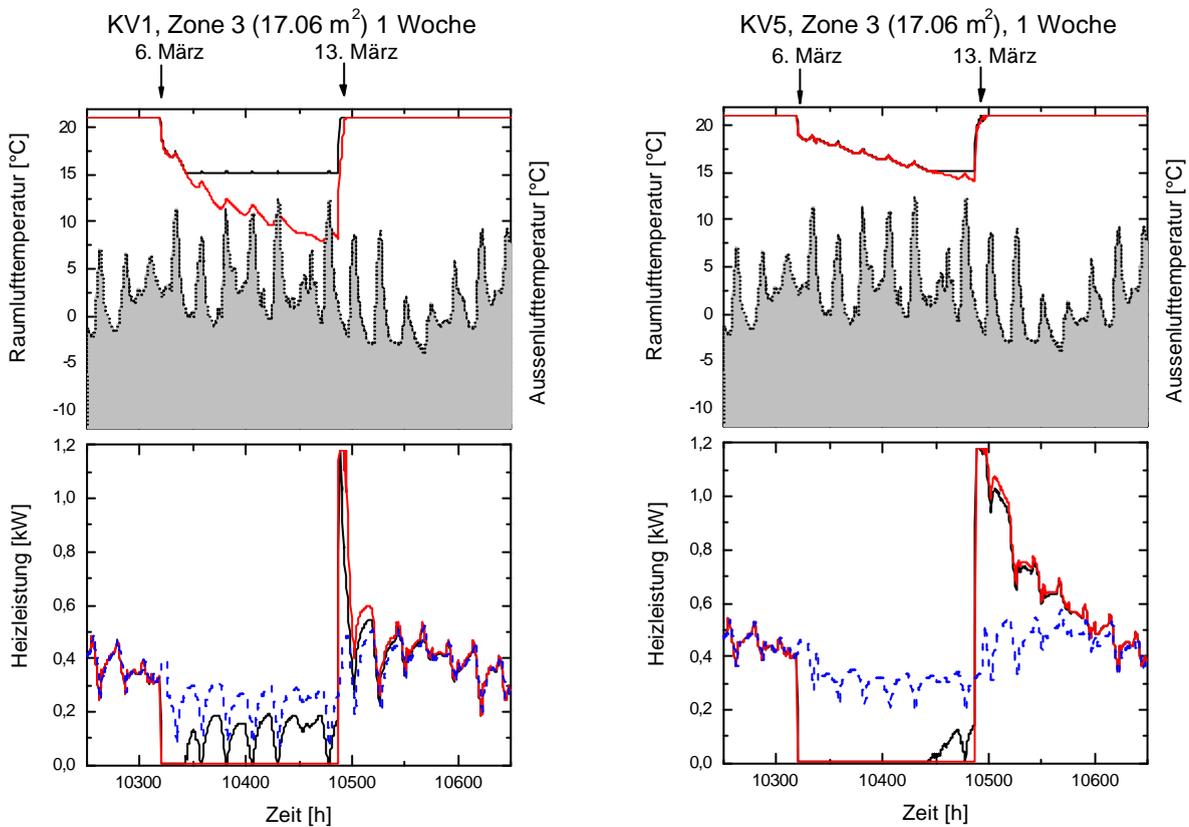


Abbildung 37: Gleich wie Abbildung 34 nur für eine Urlaubswoche im März, wobei die durchschnittliche Außentemperatur während der Absenkephase um rund 8°C höher liegt als bei Abbildung 34.

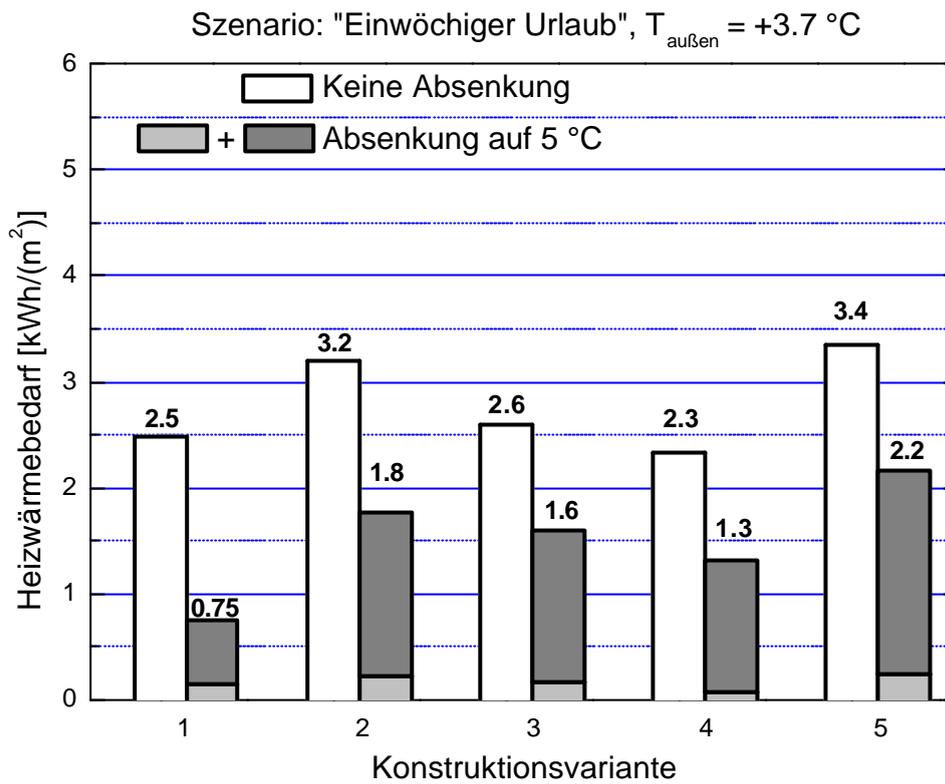


Abbildung 38: Energetische Auswertung für die einwöchige Urlaubsphase im März mit einer durchschnittlichen Außentemperatur von $3,7\text{ °C}$ und einer Absenkung der Raumtemperatur auf 5 °C .

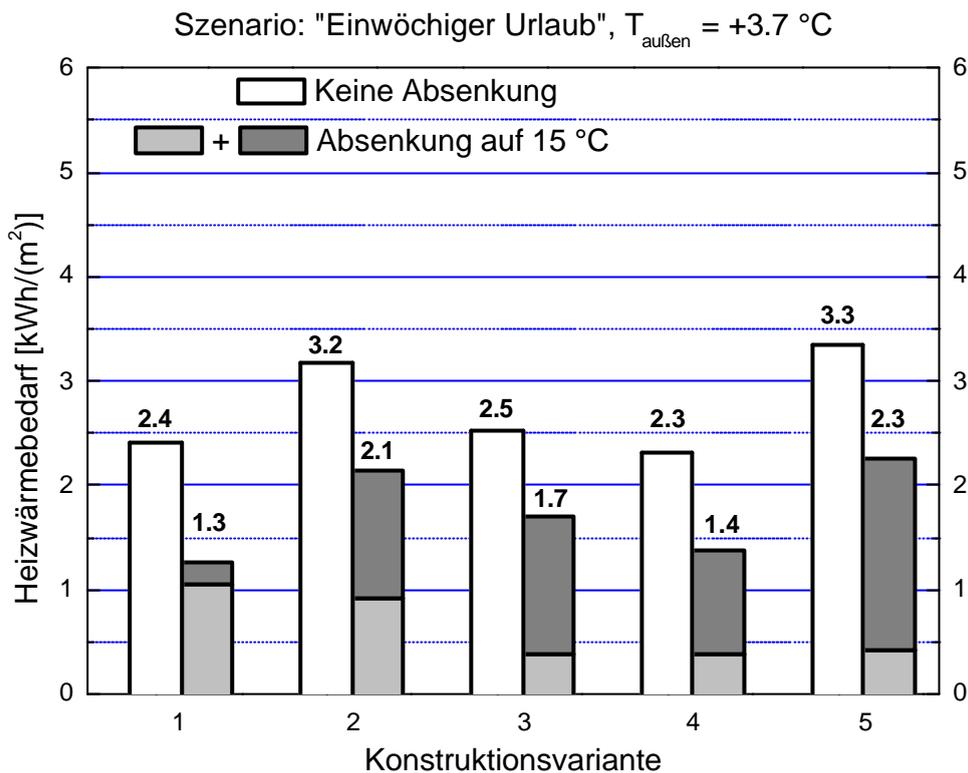


Abbildung 39: Energetische Auswertung für die einwöchige Urlaubsphase im März mit einer durchschnittlichen Außentemperatur von $3,7\text{ °C}$ und einer Absenkung der Raumtemperatur auf 15 °C .

7.4 Wochenendhaus

Abbildung 40 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während dreier Jännerwochen für das Testszenario „Wochenendhaus“. Im Gegensatz zu den Testszenarien der letzten beiden Kapiteln handelt es sich hier um kein einmaliges Absenken der Raumtemperatur, sondern um einen periodischen Wechsel von 21 °C während der Wochentage auf 15 °C während der Wochenende. Der in Abbildung 40 dargestellte Zeitraum ist nur exemplarisch herausgegriffen. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf hingegen erfolgt über ein ganzes Jahr, indem der Integrationsbereich in Gleichung (1) einfach über die gesamte Heizperiode ausgeweitet wird.

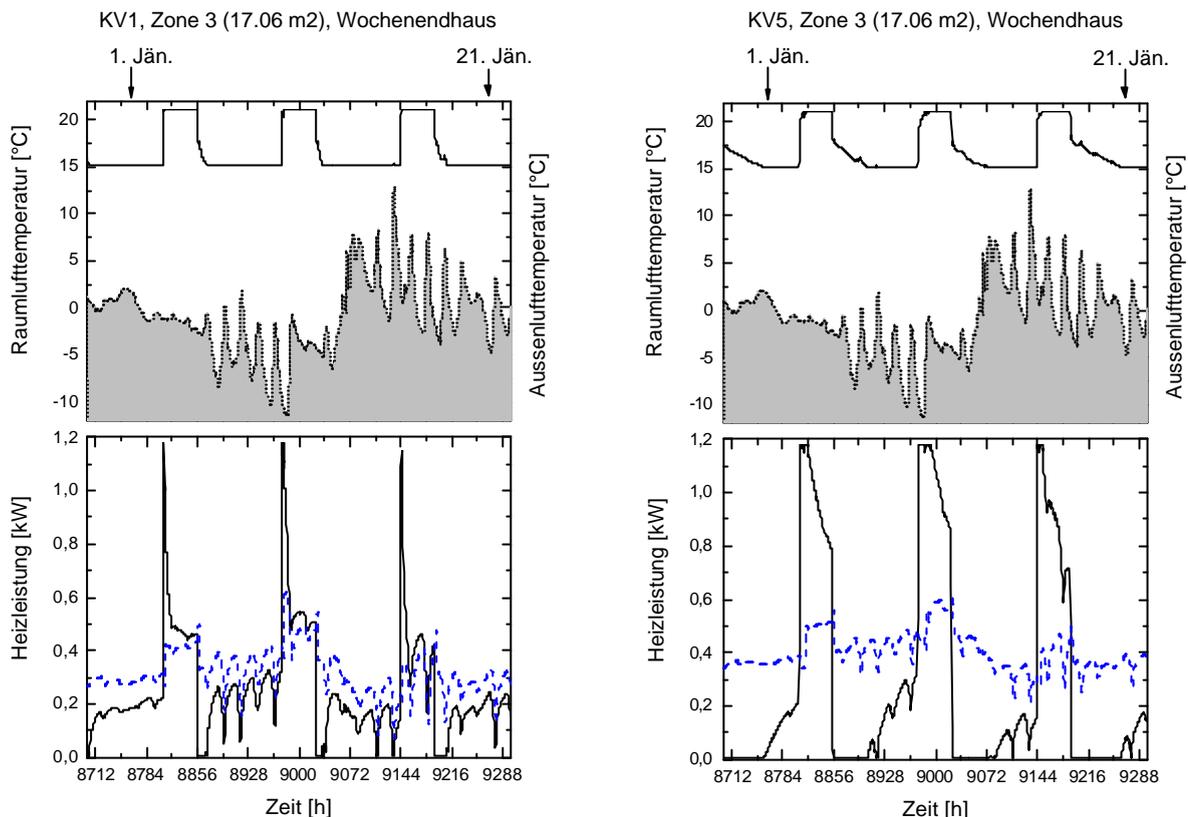


Abbildung 40: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) für das Szenario „Wochenendhaus“ für drei Jännerwochen für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur, während die blaue strichlierte Kurve die Heizlastkurve ohne Temperaturabsenkung darstellt.

Abbildung 41 zeigt nun eine energetische Auswertung des Jahresheizwärmebedarfs für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15°C während der Wochentage bedeuten. Die erzielbaren Einsparungen liegen zwischen 21,6 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) bis zu 27,4% für den Holzständerleichtbau (KV1). Das heißt, dass auch für dieses Testszenario der Leichtbau gegenüber massiveren Bauweisen leicht im Vorteil ist. Weiters ist zu bemerken, dass der Holzmassivbau (KV4) mit einer Einsparung von knapp 26% nur geringfügig hinter der KV1 liegt, und für die betrachteten Konstruktionsvarianten mit 44,1 kWh/(m²a) den kleinsten absoluten Jahresheizenergiebedarf aufweist. Die übrigen Zahlenwerte können der

Bild 20: Jahresheizwärmebedarf (1989) für das Szenario „Wochenendhaus“ für 5 verschiedene Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15 °C bedeuten. entnommen werden.

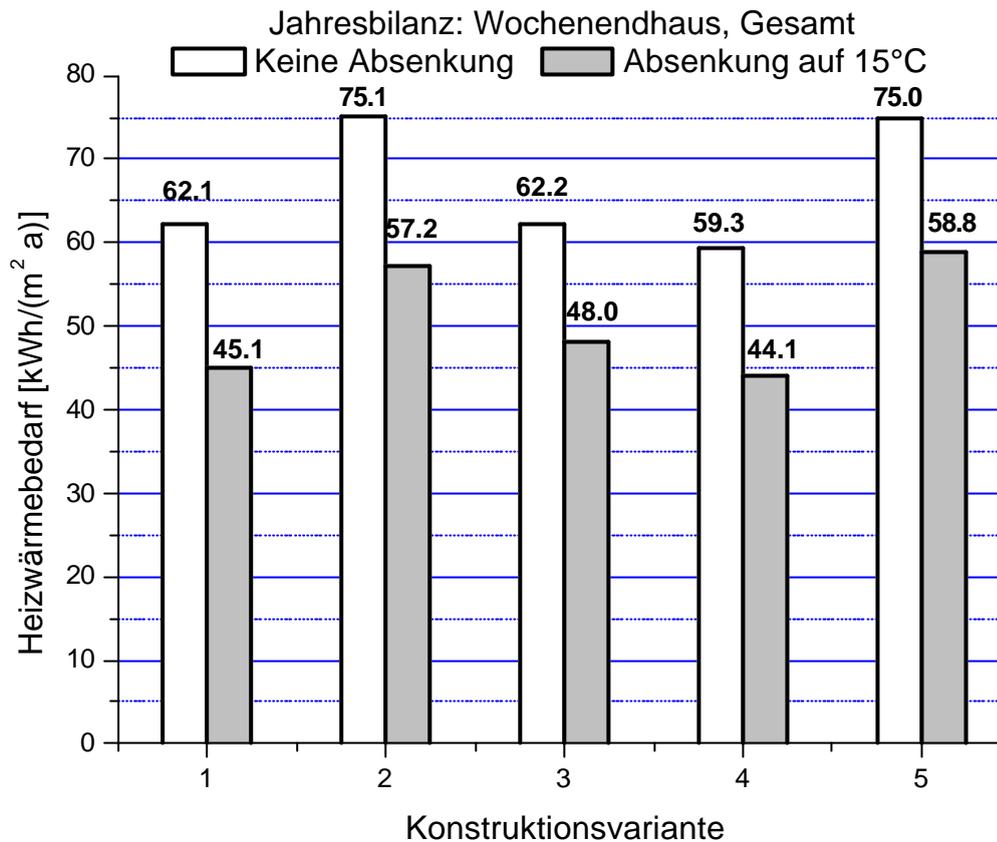


Abbildung 41: Gegenüberstellung des Jahresheizwärmebedarfs für das Szenario „Wochenendhaus“ für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15°C bedeuten.

Alle bisher vorgestellten Resultate beziehen sich auf den Klimadatensatz von Graz, 1998, der als repräsentativ für das Klima von Graz für das letzte Jahrzehnt angesehen werden kann. Im folgenden wird nun der Versuch unternommen, die gewonnenen Resultate für die Heizenergieeinsparung auch auf andere Klimadatensätze zu übertragen. Abbildung 42 zeigt eine Auswertung des Heizwärmebedarfs für einzelne Absenkphasen (5 Wochentage) als Funktion der mittleren Außentemperatur während des betrachteten Zeitraums. Und zwar wurde sowohl der Heizwärmebedarf bei Absenkung auf 15°C (rote Symbole in Abbildung 42) als auch der entsprechende Wert ohne Temperaturabsenkung (schwarze Symbole) ausgewertet. Wenn man annimmt, dass dieser Heizwärmebedarf $Q_{15^\circ\text{C}}$ (bzw. $Q_{21^\circ\text{C}}$) in linearem Zusammenhang mit der mittleren Außentemperatur $\bar{\theta}_m$ steht, d.h.,

$$Q_{15^\circ\text{C}} = N \cdot (k_{15^\circ\text{C}} - k_{15^\circ\text{C}}^{\text{grenz}}) \cdot \bar{\theta}_m + k_{15^\circ\text{C}}^{\text{grenz}} \cdot N \quad (3)$$

$$Q_{21^\circ\text{C}} = N \cdot (k_{21^\circ\text{C}} - k_{21^\circ\text{C}}^{\text{grenz}}) \cdot \bar{\theta}_m + k_{21^\circ\text{C}}^{\text{grenz}} \cdot N \quad (4)$$

dann erhält man für die Energieeinsparung E durch Absenken der Raumtemperatur auf 15°C

$$E = N \cdot (k_{21^\circ\text{C}} - k_{15^\circ\text{C}}) \cdot \bar{\theta}_m + k_{15^\circ\text{C}}^{\text{grenz}} \cdot N - k_{21^\circ\text{C}}^{\text{grenz}} \cdot N \quad (5)$$

Hierbei berechnet man die mittlere Temperatur $\bar{\theta}_m$ zu

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \vartheta_m^{(i)}, \quad (6)$$

wobei die Summe über alle 5-Tage Wochen läuft, während der die Temperatur auf 15°C abgesenkt wird und auch Heizbedarf besteht. Anhand eines Beispiels soll nun kurz die Anwendung der Formeln (3) – (6) verdeutlicht werden. Für die KV1 liest man aus Abbildung 42 bzw. aus Tabelle 25 die Parameter $k_{21^\circ\text{C}} = 0.115782$, $k_{15^\circ\text{C}} = 0.0707257$, und $\vartheta_{\text{grenz}} = 15^\circ\text{C}$ ab. Für den Klimadatensatz Graz 1998 errechnet man $\bar{\vartheta} = 3,35^\circ\text{C}$, wobei die Summe über $N = 30$ Fünftagewochen läuft. In Formel (5) eingesetzt erhält man somit einen Wert von $\vartheta E = 15,7 \text{ kWh}$. Dieser Wert ist mit dem direkt ermittelten Wert von $\vartheta E = 17,0 \text{ kWh}$ (vgl.

Bild 20: **Jahresheizwärmebedarf (1989)** für das Szenario „Wochenendhaus“ für 5 verschiedene Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15 °C bedeuten.) zu vergleichen. Die Abweichung von 7,6% kann dadurch erklärt werden, dass Formel (5) einen linearen Zusammenhang zwischen Energieeinsparung und mittlerer Außentemperatur voraussetzt, was natürlich nur eine Approximation darstellt. Nichtsdestoweniger kann man Formel (5) sehr gut dafür einsetzen, um die Energieeinsparung bei unterschiedlichen Klimata abzuschätzen, wobei der Fehler für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten mit weniger als 10% beziffert werden kann. Eine vollständige Auflistung der Ergebnisse nach Gleichung (5) kann Tabelle 25 entnommen werden.

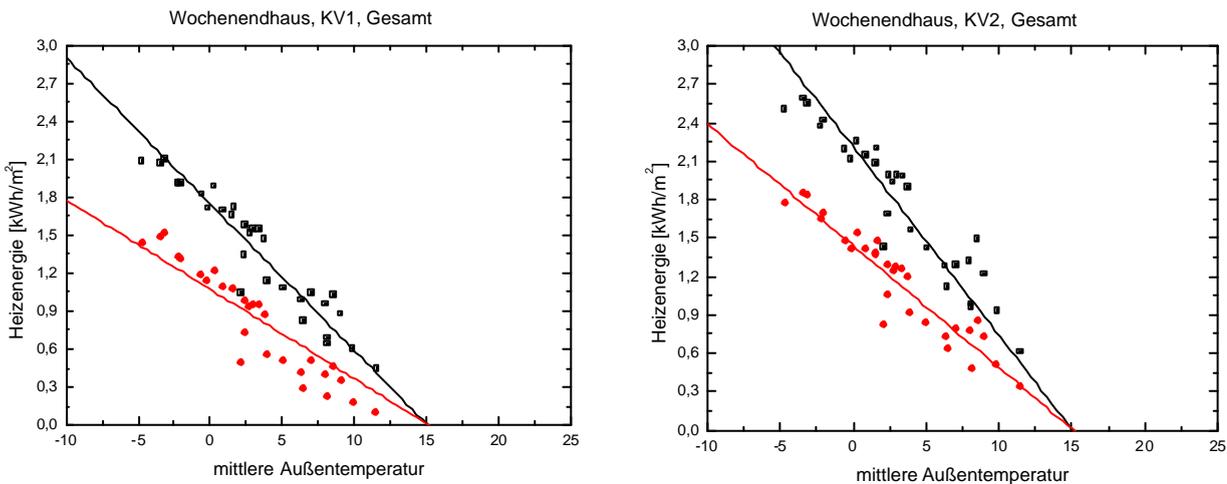


Abbildung 42: Heizwärmebedarf während einer Absenkephase (Wochentage) als Funktion der mittleren Außentemperatur während dieser Zeit für die KV1 (links) und KV2 (rechts). Die roten Symbole stellen den Heizwärmebedarf bei Absenkung auf 15°C dar während die schwarzen Symbole den entsprechenden Wert ohne Absenkung darstellen.

Tabelle 25: Die Parameter $k_{21^\circ\text{C}}$ und $k_{15^\circ\text{C}}$ aus Formel (3) und (4) für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten für das Testszenario „Wochenendhaus“. Zusätzlich ist die Heizenergieeinsparung ϑE für das Graz 1998 Klima berechnet nach Formel (5) bzw. aus direkter Integration (vgl. Abbildung 41), und die Abweichung dieser beiden Berechnungsmethoden aufgelistet.

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
$k_{21^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,115782	0,146699	0,120640	0,112745	0,148020
$k_{15^\circ\text{C}}$ [kWh/ m ² K]	0,070726	0,095108	0,078585	0,068431	0,097109

$k_{21^{\circ}\text{C}} - k_{15^{\circ}\text{C}}$ [kWh/ m ² K]	0,045056	0,051591	0,042055	0,044314	0,050911
$?E - \text{Formel (5)}$ [kWh/m ² a]	15,7	18,0	14,7	15,5	17,8
$?E - \text{direkt}$ [kWh/m ² a]	17,0	17,9	14,1	15,1	16,1
Abweichung[%]	7,6	0,6	4,3	2,6	9,5

7.5 Arbeitsdomizil

Abbildung 43 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während dreier Jännerwochen für das Testszenario „Arbeitsdomizil“. Wie bereits für das Testszenario des letzten Kapitels handelt es sich auch hier um einen periodischen Wechsel von 21°C während der Wochentage auf 15°C während der Wochenenden. Dieses Szenario stellt somit das Gegenstück zum „Wochenendhaus“ dar, mit 5-tägiger Phase auf 21°C und 2-tägiger Phase auf 15°C. Der in Abbildung 43 dargestellte Zeitraum ist wiederum nur exemplarisch herausgegriffen ist jedoch identisch mit dem in Abbildung 40 gezeigten. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf hingegen erfolgt ebenso über ein ganzes Jahr (Abbildung 44).

Im Vergleich zum Szenario „Wochenendhaus“ ist das Einsparungspotential naturgemäß kleiner, da das Verhältnis zwischen beheizter (21°C) zu unbeheizter (15°C) Zeit im „Wochenendhaus“ günstiger ist als für das Szenario „Arbeitsdomizil“. Der Vorteil der Leichtbauweise gegenüber der Massivbauweise ist hier auch ausgeprägter. Die erzielbaren Einsparungen liegen zwischen 3,4 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) bis zu 6,6% für den Holzständerleichtbau (KV1). Das liegt daran, dass aufgrund der Speichermassen der Massivbauweise die Raumtemperatur während der Wochenenden nicht so weit absinkt wie für die Leichtbauweise (vgl. Abbildung 43), und daher die Transmissionsverluste für erstere höher sind. Absolut betrachtet erzielt wiederum die Holzmassivkonstruktion (KV4) den kleinsten Jahresheizwärmebedarf, wobei die Einsparungen gegenüber dem Vergleichsszenario bei immerhin 5,3% liegen.

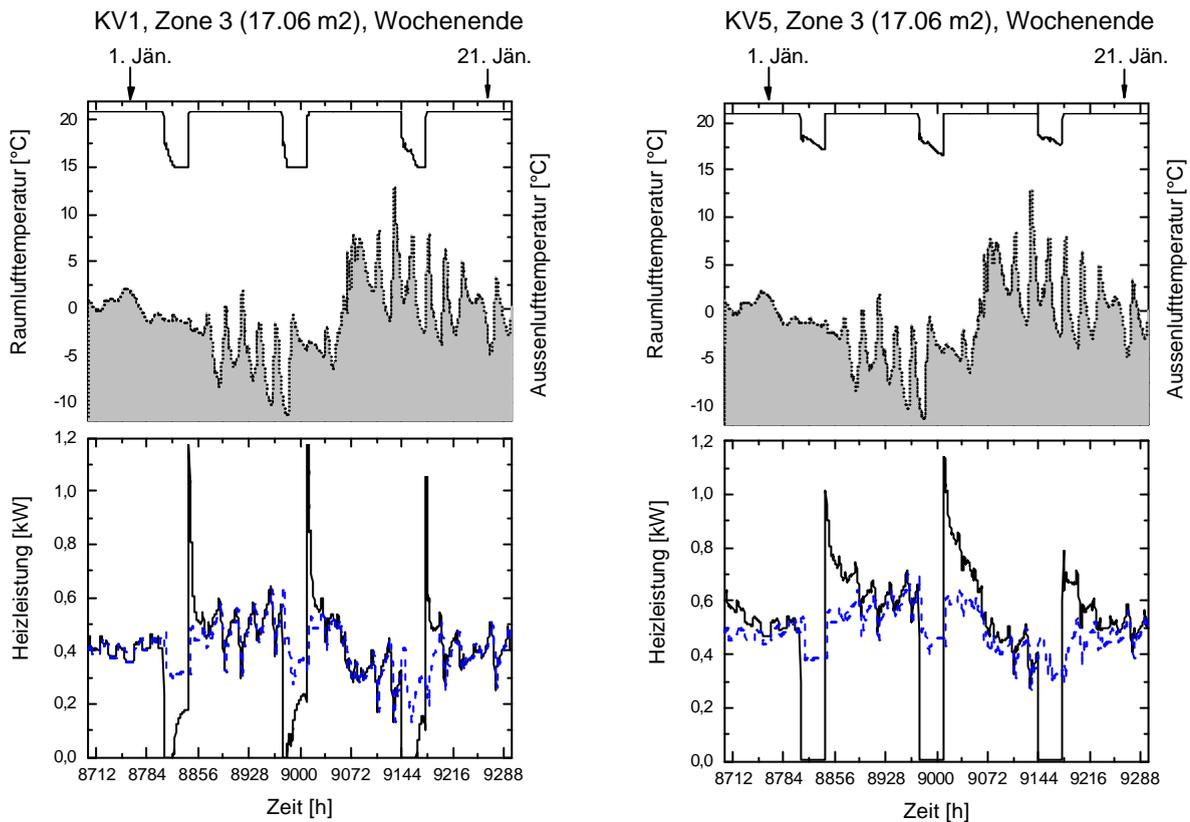


Abbildung 43: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) für das Szenario „Arbeitsdomizil“ für drei Jännerwochen für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur, während die blaue strichlierte Kurve die Heizlastkurve *ohne* Temperaturabsenkung darstellt.

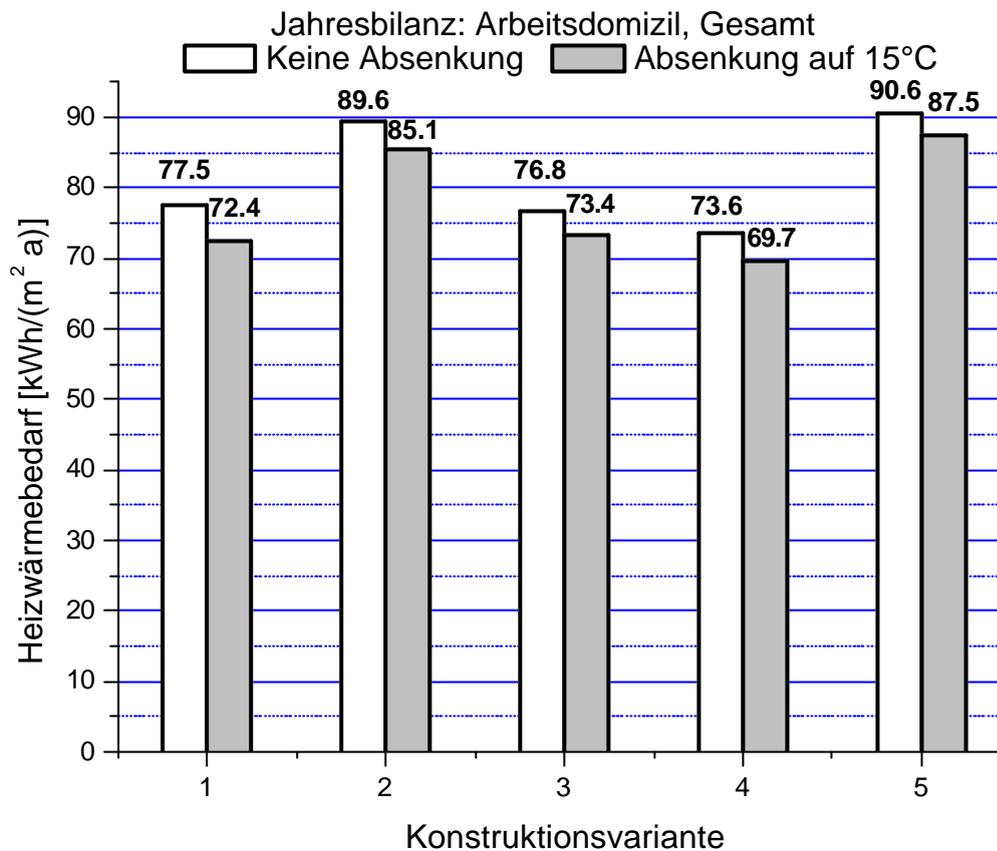


Abbildung 44: Gegenüberstellung des Jahresheizwärmebedarfs für das Szenario „Arbeitsdomizil“ für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15°C bedeuten.

Wertet man den Heizenergiebedarf der einzelnen Wochenenden, an denen die Raumtemperatur abgesenkt werden soll, analog zum vorigen Kapitel aus, so erhält zum Beispiel für die Konstruktionsvarianten KV1 (Holzständerleichtbau) und KV5 (Stahlbetonmassivbau) das in Abbildung 45 dargestellte Verhalten als Funktion der mittleren Außentemperatur während der Wochenenden. Bestimmt man nun die Parameter $k_{21^\circ\text{C}}$ und $k_{15^\circ\text{C}}$ aus Gleichung (3) und (4), und errechnet für den Klimadatensatz Graz 1998 die mittlere Temperatur an den Wochenenden zu $\bar{\theta} = 3,40^\circ\text{C}$, wobei die Summe in Gleichung (6) über $N = 34$ Wochenenden läuft, so erhält man aus Gleichung (5) die in Tabelle 26 angeführten Werte.

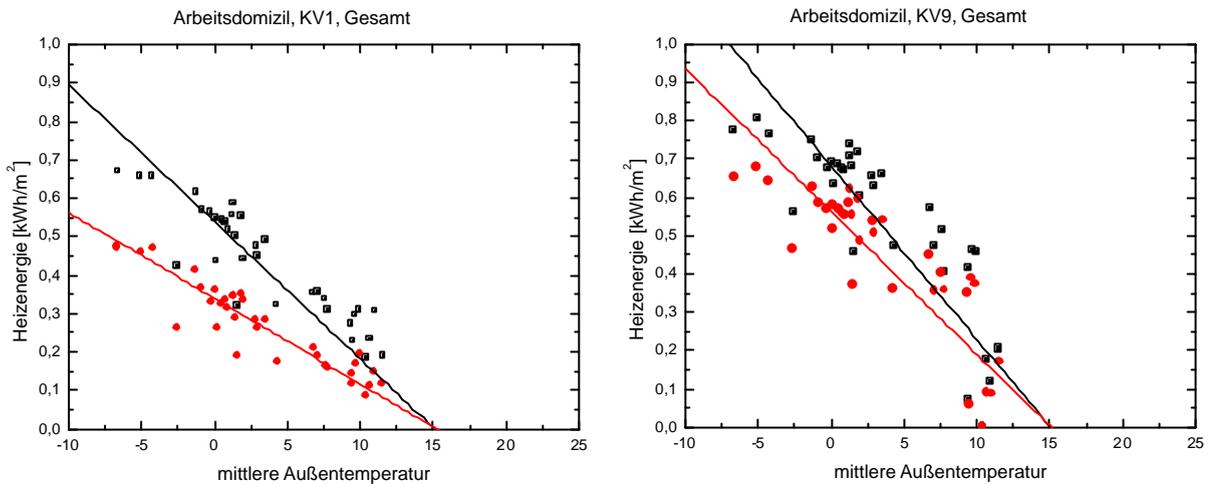


Abbildung 45: Heizwärmebedarf während einer Absenkephase (Wochenende) als Funktion der mittleren Außentemperatur während dieser Zeit für die KV1 (links) und KV5 (rechts). Die roten Symbole stellen den Heizwärmebedarf bei Absenkung auf 15°C dar während die schwarzen Symbole den entsprechenden Wert ohne Absenkung darstellen.

Tabelle 26: Die Parameter $k_{21^\circ\text{C}}$ und $k_{15^\circ\text{C}}$ aus Formel (3) und (4) für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten für das Testszenario „Arbeitsdomizil“. Zusätzlich ist die Heizenergieeinsparung ΔE für das Graz 1998 Klima berechnet nach Formel (5) bzw. aus direkter Integration (vgl. Abbildung 44), und die Abweichung dieser beiden Berechnungsmethoden aufgelistet.

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
$k_{21^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,0356764	0,0467803	0,0421658	0,0366407	0,0452891
$k_{15^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,022328	0,0357029	0,0324042	0,0258322	0,0373003
$k_{21^\circ\text{C}} - k_{15^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,013348	0,011077	0,0097616	0,0108085	0,0079888
$\Delta E - \text{Formel (5)}$ [kWh/m ² a]	5,3	4,4	3,8	4,3	3,2
$\Delta E - \text{direkt}$ [kWh/m ² a]	5,1	4,1	3,4	4,0	3,0
Abweichung[%]	3,7	6,8	10,5	7,0	6,3

7.6 Tagesabsenkung

Abbildung 46 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während zweier Jännerwochen für das Testszenario „Tagesabsenkung“. Es handelt es sich auch hier um einen periodischen Wechsel von 15°C während der Arbeitszeit auf 21°C während der Abend- und Nachtstunden. Der in Abbildung 46 dargestellte Zeitraum ist wiederum nur exemplarisch. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf hingegen erfolgt ebenso über ein ganzes Jahr (Abbildung 47).

Die erzielbaren Einsparungen liegen hier zwischen 9,4 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) bis zu 12,1 % für den Holzständerleichtbau (KV1). Im Vergleich zum Szenario „Arbeitsdomizil“ sind die erreichbaren Einsparungen hier wiederum größer, da das Verhältnis der Perioden mit 15°C bzw. 21°C hier wieder größer ist. Der Vorteil der Leichtbauweise ist wiederum dadurch bedingt, dass diese schneller auskühlt und somit geringere Transmissionsverluste aufweist. Auch hier schneidet die betrachtete Holzmassivkonstruktion (KV4) mit einer Einsparung von 8,2 kWh(m²a), das sind rund 11,6%, nur geringfügig schlechter ab als KV1. Absolut gesehen erreicht sie sogar den kleinsten Jahresheizenergiebedarf mit 62,7 kWh(m²a). Alle anderen Zahlenwerte können auch Abbildung 47 entnommen werden.

Wertet man den Heizwärmebedarf der einzelnen Wochenenden, an denen die Raumtemperatur abgesenkt werden soll, analog zum Kapitel 7.4 aus, so erhält zum Beispiel für die Konstruktionsvarianten KV1 (Holzständerleichtbau) und KV5 (Stahlbetonmassivbau) das in Abbildung 48 dargestellte Verhalten als Funktion der mittleren Außentemperatur während der Tageszeit von 7 bis 18 Uhr. Bestimmt man nun die Parameter $k_{21^{\circ}\text{C}}$ und $k_{15^{\circ}\text{C}}$ aus Gleichung (3) und (4), und errechnet für den Klimadatensatz Graz 1998 die mittlere Temperatur während dieser Zeit zu $\bar{\theta} = 4,22$ °C, wobei die Summe in Gleichung (6) über $N = 207$ Tage läuft, so erhält man aus Gleichung (5) die in Tabelle 27 angeführten Werte.

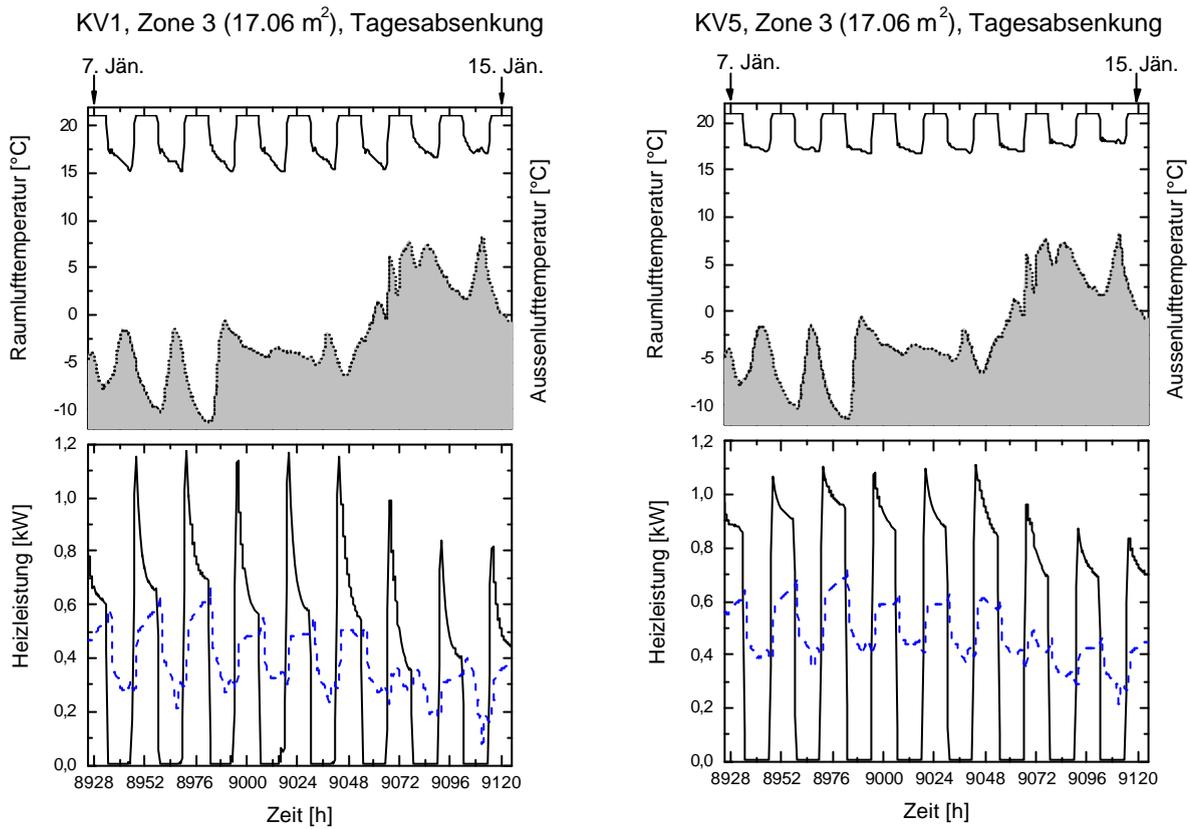


Abbildung 46: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) für das Szenario „Tagesabsenkung“ für 8 Jännertage für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schraffierte Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur, während die blaue strichlierte Kurve die Heizlastkurve *ohne* Temperaturabsenkung darstellt.

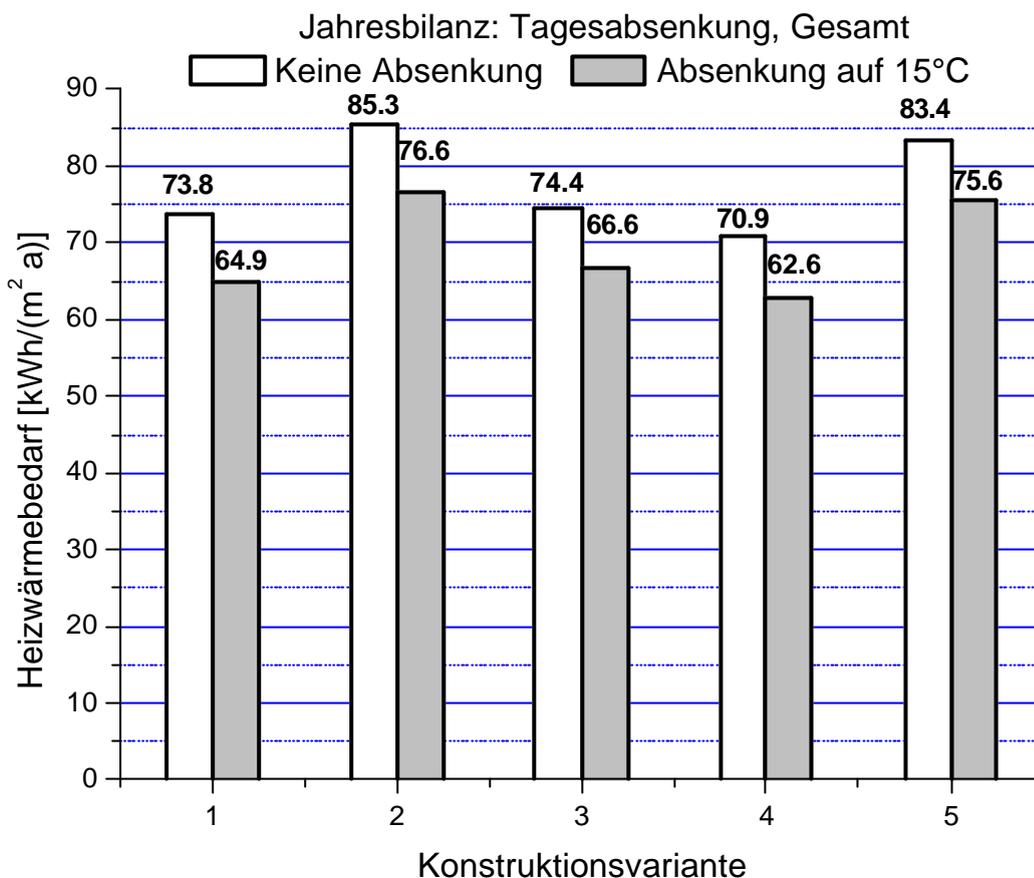


Abbildung 47: Gegenüberstellung des Jahresheizwärmebedarfs für das Szenario „Tagesabsenkung“ für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den Heizwärmebedarf bei Temperaturabsenkung auf 15°C bedeuten.

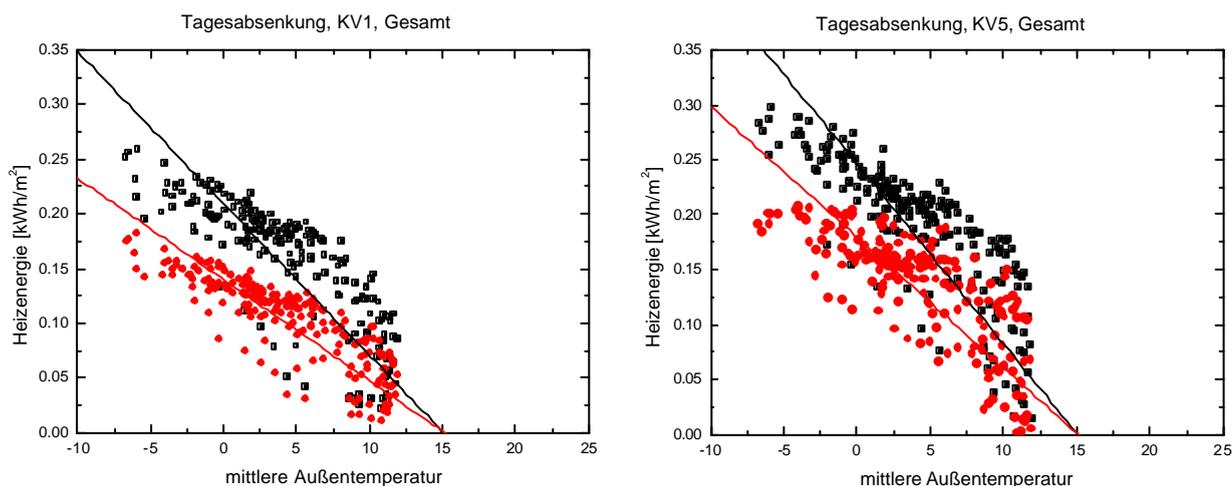


Abbildung 48: Heizwärmebedarf während einer Absenkephase (zwischen 7 und 18 Uhr) als Funktion der mittleren Außentemperatur während dieser Zeit für die KV1 (links) und KV5 (rechts). Die roten Symbole stellen den

Heizwärmebedarf bei Absenkung auf 15°C dar während die schwarzen Symbole den entsprechenden Wert ohne Absenkung darstellen.

Tabelle 27: Die Parameter $k_{21^\circ\text{C}}$ und $k_{15^\circ\text{C}}$ aus Formel (3) und (4) für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten für das Testszenario „Tagesabsenkung“. Zusätzlich ist die Heizenergieeinsparung $?E$ für das Graz 1998 Klima berechnet nach Formel (5) bzw. aus direkter Integration (vgl. Abbildung 47), und die Abweichung dieser beiden Berechnungsmethoden aufgelistet.

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
$k_{21^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,0139024	0,0174816	0,0159926	0,0142119	0,0163656
$k_{15^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,0092571	0,0126387	0,0114552	0,0096713	0,0119128
$k_{21^\circ\text{C}} - k_{15^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,0046453	0,0048429	0,0045374	0,0045406	0,0044528
$?E - \text{Formel (5)}$ [kWh/m ² a]	10,4	10,8	10,1	10,1	9,9
$?E - \text{direkt}$ [kWh/m ² a]	8,9	8,7	7,8	8,2	7,8
Abweichung[%]	14,4	19,4	22,8	18,8	21,2

7.7 Nachtabsenkung

Abbildung 49 zeigt den Temperaturverlauf und die Heizlastkurve während zweier Jännerwochen für das Testszenario „Nachtabsenkung“. Es handelt es sich auch hier um einen periodischen Wechsel von 15°C während der Nachtstunden auf 21°C während der Tagesstunden. Der in Abbildung 49 dargestellte Zeitraum ist wiederum nur exemplarisch, jedoch identisch mit dem für das Szenario „Tagesabsenkung“. Die energetische Auswertung für den Heizwärmebedarf hingegen erfolgt ebenso über ein ganzes Jahr (Abbildung 50).

Die erzielbaren Einsparungen liegen hier zwischen 8,6 % für den Stahlbetonmassivbau (KV5) bis zu 11,3 % für den Holzständerleichtbau (KV1), sind also in etwa vergleichbar mit den für das Szenario „Tagesabsenkung“ erzielten Werten. Der Vorteil der Leichtbauweise ist wiederum dadurch bedingt, dass diese schneller auskühlt und somit geringere Transmissionsverluste aufweist. Auch hier schneidet die betrachtete Holzmassivkonstruktion (KV4) mit einer Einsparung von 7,5 kWh(m²a), das sind rund 9,9 %, nur geringfügig schlechter ab als KV1. Absolut gesehen erreicht sie wieder den kleinsten Jahresheizenergiebedarf mit 68,6 kWh(m²a). Alle anderen Zahlenwerte können auch Abbildung 50 entnommen werden.

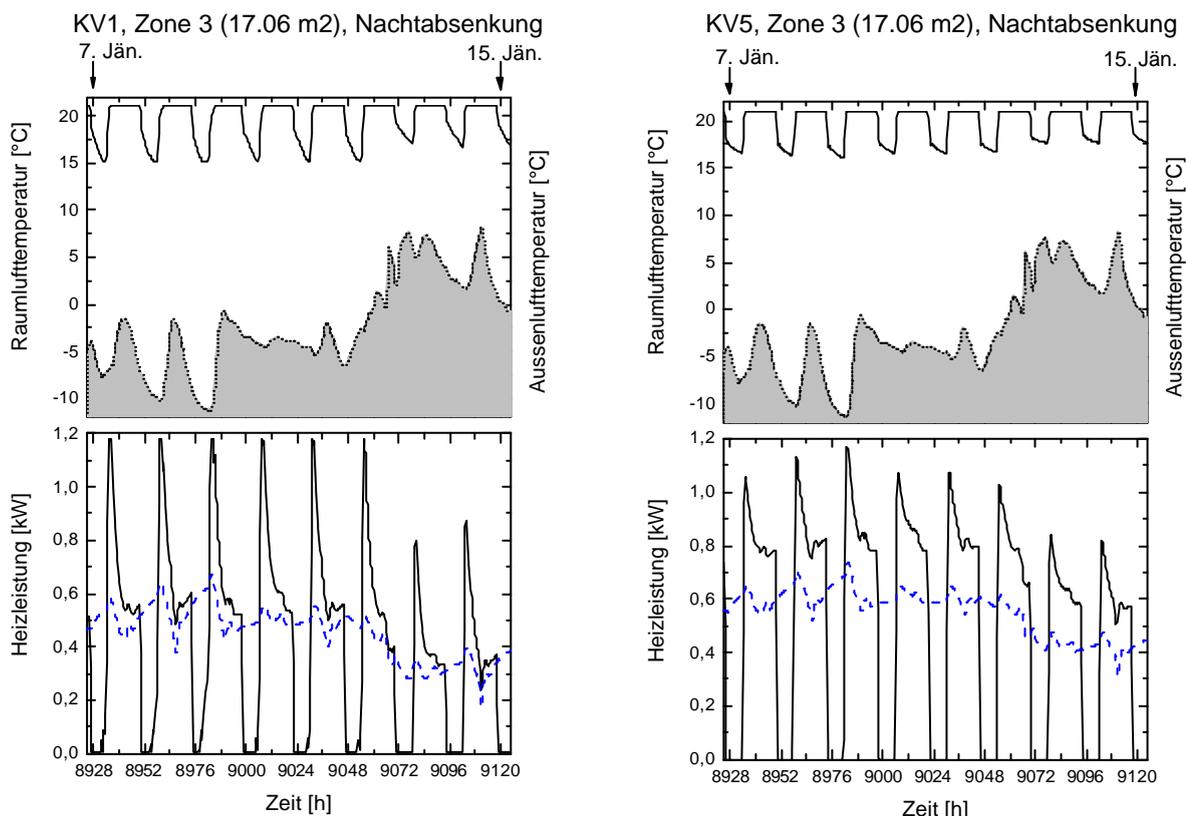


Abbildung 49: Temperaturverlauf (oben) und Heizleistungskurve (unten) für das Szenario „Nachtabsenkung“ für 8 Jännertage für den Holzständerleichtbau (links) und den Stahlbetonmassivbau (rechts). Die schraffierte

Fläche zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur, während die blaue strichlierte Kurve die Heizlastkurve ohne Temperaturabsenkung darstellt.

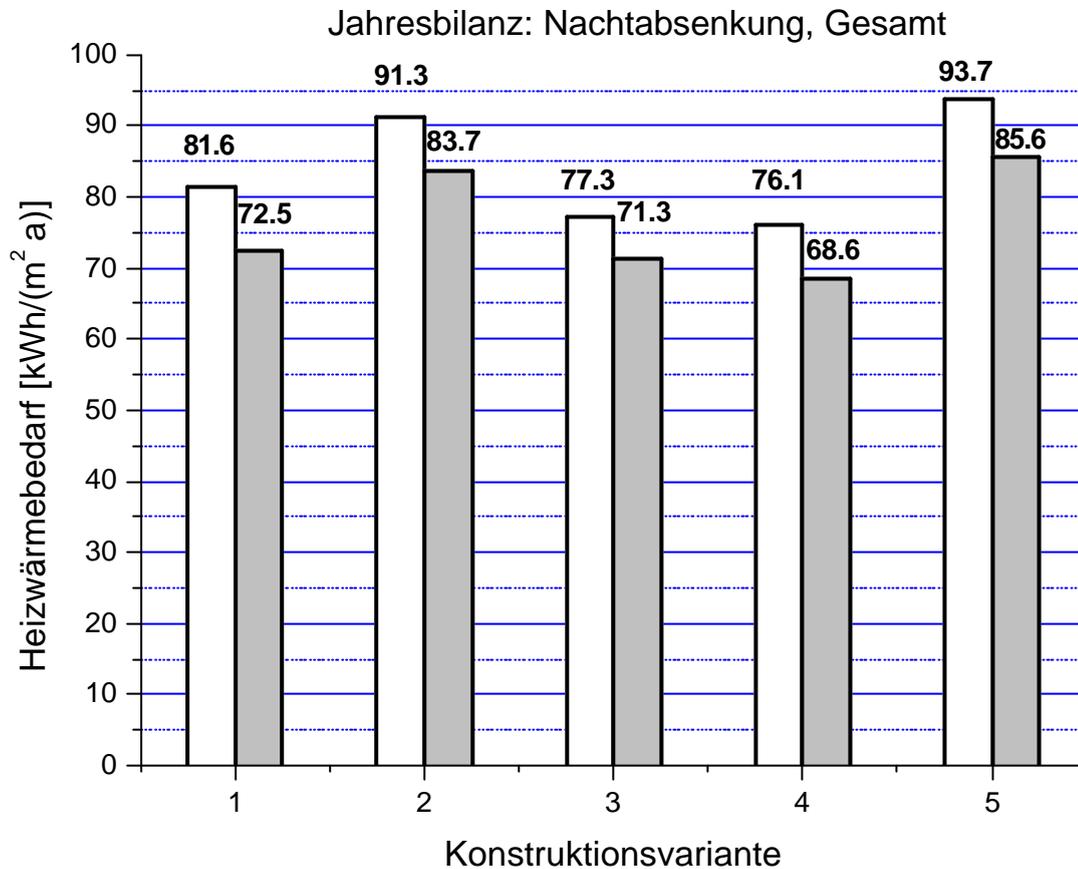


Abbildung 50: Gegenüberstellung des Jahresheizwärmebedarfs für das Szenario „Nachtabsenkung“ für die 5 verschiedenen Konstruktionsvarianten. Die weißen Balken dienen als Vergleichswert ohne Temperaturabsenkung, während die grauen Balken den bei Temperaturabsenkung auf 15°C bedeuten.

Wertet man den Heizenergiebedarf der einzelnen Nächte, an denen die Raumtemperatur abgesenkt werden soll, analog zum Kapitel 3.2.4 aus, so erhält zum Beispiel für die Konstruktionsvarianten KV1 (Holzständerleichtbau) und KV5 (Stahlbetonmassivbau) das in Abbildung 51 dargestellte Verhalten als Funktion der mittleren Außentemperatur während der Nächte. Bestimmt man nun die Parameter $k_{21^{\circ}\text{C}}$ und $k_{15^{\circ}\text{C}}$ aus Gleichung (3) und (4), und errechnet für den Klimadatensatz Graz 1998 die mittlere Temperatur während der Nächte zu $\bar{\theta} = 3,08^{\circ}\text{C}$, wobei die Summe in Gleichung (6) über $N = 278$ Nächte läuft, so erhält man aus Gleichung (5) die in Tabelle 28 angeführten Werte.

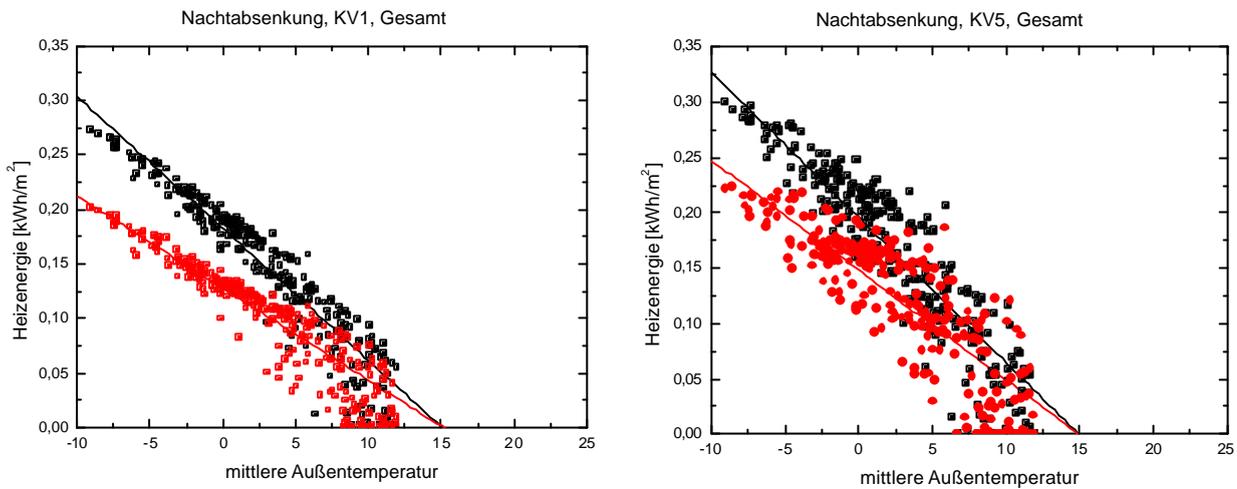


Abbildung 51: Heizwärmebedarf während einer Absenkephase (zwischen 23 und 6 Uhr) als Funktion der mittleren Außentemperatur während dieser Zeit für die KV1 (links) und KV5 (rechts). Die roten Symbole stellen den Heizwärmebedarf bei Absenkung auf 15°C dar während die schwarzen Symbole den entsprechenden Wert ohne Absenkung darstellen.

Tabelle 28: Die Parameter $k_{21^\circ\text{C}}$ und $k_{15^\circ\text{C}}$ aus Formel (3) und (4) für die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten für das Testszenario „Nachtabsenkung“. Zusätzlich ist die Heizenergieeinsparung ΔE für das Graz 1998 Klima berechnet nach Formel (5) bzw. aus direkter Integration (vgl. Abbildung 50), und die Abweichung dieser beiden Berechnungsmethoden aufgelistet.

	KV1	KV2	KV3	KV4	KV5
$k_{21^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,0121163	0,0129385	0,0112294	0,0112384	0,0131209
$k_{15^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,0084393	0,0099389	0,0088179	0,0082248	0,0099268
$k_{21^\circ\text{C}} - k_{15^\circ\text{C}}$ [kWh/m ² K]	0,0036770	0,0029996	0,0024115	0,0030136	0,0031941
$\Delta E - \text{Formel (5)}$ [kWh/m ² a]	12,2	9,9	8,0	10,0	10,6
$\Delta E - \text{direkt}$ [kWh/m ² a]	9,1	7,6	6,0	7,5	8,1
Abweichung[%]	25,4	23,2	25,0	25,0	23,6

8 BEHAGLICHKEITSSTUDIEN

Zur Beurteilung der thermischen Behaglichkeit wurde der ppd-Index (Predicted Percentage of Dissatisfied) herangezogen /4. Der ppd-Wert wird in Prozent angegeben und zeigt den voraussichtlichen Prozentsatz der Personen, die sich bei den gegebenen Bedingungen thermisch unbehaglich fühlen würden. Je kleiner der „ppd_Wert“ um so höher ist die vorhergesagte thermische Behaglichkeit. In experimentellen Studien / 7 hat sich gezeigt, dass der ppd-Index nie unter 5% fällt, d.h. 5% ist der beste erreichbare Wert. Drei wesentliche Größen für die „thermische Behaglichkeit von Menschen“ sind die Raumlufttemperatur (konvektiver Austausch des Menschen mit seiner Umgebung), die Innenoberflächentemperaturen der Umschließungsflächen (Strahlungsaustausch des Menschen mit seiner Umgebung) und die Luftfeuchtigkeit.

Weiters wesentlich ist der Aktivitätsgrad der Personen, deren Bekleidung und die Luftgeschwindigkeit. Die drei letztgenannten Werte sind für alle Varianten gleich angenommen. Der „Clothing factor“ [clo] ist ein Maß für die wärmedämmende Wirkung von Bekleidung, die „Metabolic rate“ [met] ist ein Maß für den Aktivitätsgrad eines Menschen. Der clothing factor wurde auf clo = 1 gesetzt, die metabolic rate auf met = 1,2, und die relative Luftgeschwindigkeit auf 0,2 m/s.

Abbildung 52 und Abbildung 53 zeigen jeweils eine Aufheizphase nach einer dreiwöchigen Absenkung der Raumtemperatur auf 15°C bzw. auf 5°C für die Konstruktionsvarianten KV1 und KV5. Es ist deutlich zu erkennen, dass der Ständerleichtbau (KV1) gegenüber dem Stahlbetonmassivbau (KV5) im Vorteil ist, was die thermische Behaglichkeit betrifft. Das liegt daran, dass die Speichermassen von KV5 auch nach Erreichen der Raumluft Solltemperatur von 21°C sehr lange Zeit benötigen, um wieder auf ihr ursprüngliches Temperaturniveau gebracht zu werden. Daher sind die Oberflächentemperaturen der Raumschließungsflächen für die KV5 sehr viel träger als die der KV1, was sich negativ auf den ppd Index auswirkt.

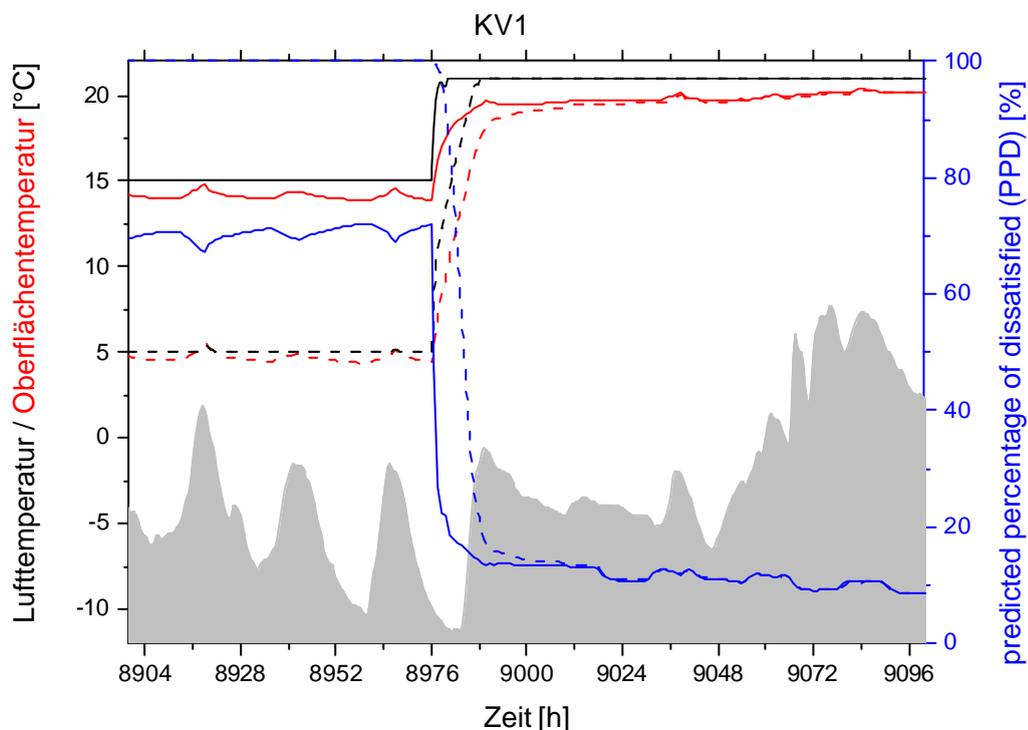


Abbildung 52: Aufheizphase nach einer Raumtemperaturabsenkung auf 15°C (durchgezogene Linien) bzw. auf 5°C (strichlierte Linien) für die KV1. Dargestellt sind die Raumlufthtemperatur (schwarz), die mittlere Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen (rot), und der ppd Index (blau) für die Vergleichszone.

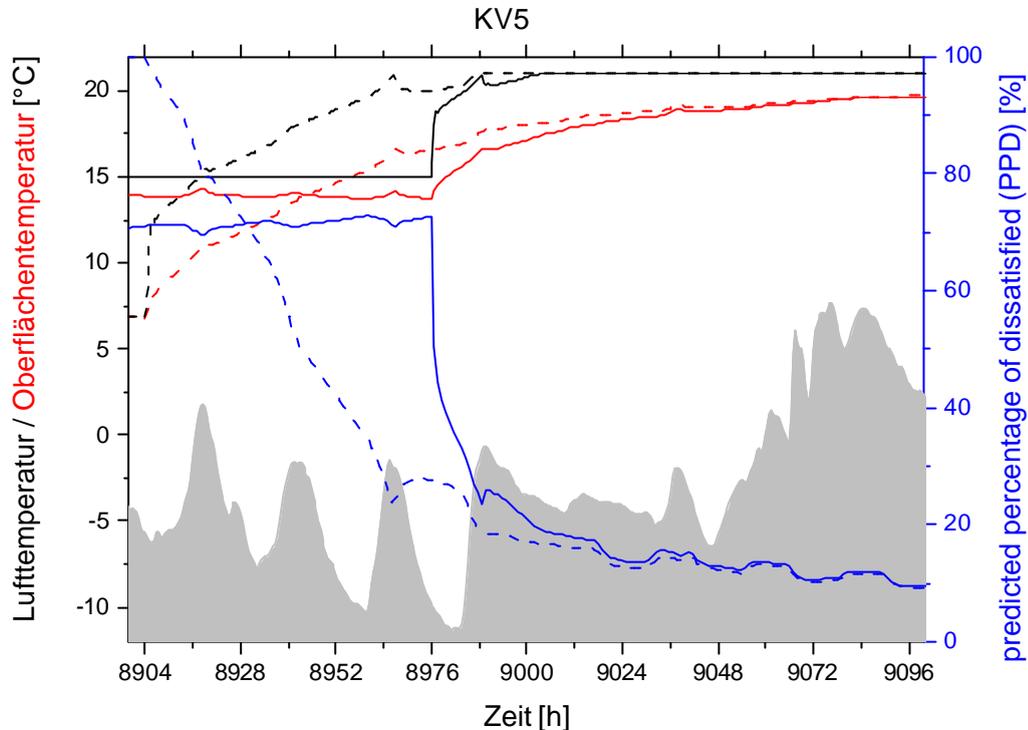


Abbildung 53: Wie Abbildung 52 für die KV5.

Die folgenden vier Abbildungen zeigen statistische Auswertungen für die Testszenarien „Wochenendhaus“, „Arbeitsdomizil“, „Tagesabsenkung“ und „Nachtsabsenkung“ und vergleichen die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten untereinander. Für diese Analyse wurden nur Zeiten herangezogen, in denen tatsächlich Personen im Gebäude anwesend sind (vgl. Abbildung 23 bis Abbildung 26). Die Raumlufthtemperatur, die mittlere Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen, die operative Temperatur, und schließlich der ppd Index wurden für diese Betrachtungen herangezogen. Abbildung 56 bis Abbildung 59 zeigen jeweils die Anzahl der Stunden während des Auswertungszeitraums vom 1.1.1998 bis zum 30.4.1998 (1. Hälfte der Heizperiode) und während Personenanwesenheit, in denen eine bestimmte Temperatur oder ein bestimmter ppd Wert vorlag. Die Diskretisierung auf der Temperatur- bzw. ppd Achse beträgt 0,2°C bzw. 1%. Zunächst erkennt man, dass für alle Konstruktionsvarianten und auch für alle Testszenarien die Raumlufthtemperatur beim dem Sollwert von 21°C liegt. Eine Ausnahme bildet das Testszenario „Wochenendhaus“, bei dem vor allem die massiven Konstruktionsvarianten (KV5, KV2 und KV3) für einige Stunden auch Raumlufthtemperaturen darunter, d.h. zwischen 20°C und 21°C aufweisen. Betrachtet man die mittlere Oberflächentemperatur so wird der Unterschied zwischen den Leicht- und Massivbauvarianten noch deutlicher. Wie bereits aus dem Vergleich von Abbildung 52 und Abbildung 53 festzustellen war, brauchen die Speichermassen der Massivbauten längere Zeit um aufgeheizt zu werden, was sich in geringeren Oberflächentemperaturen auswirkt, auch wenn sich die Raumlufthtemperatur bereits auf 21°C eingestellt hat. Dies wiederum macht sich in der operativen Raumtemperatur und natürlich auch in dem ppd Index bemerkbar. Was die Behaglichkeit betrifft, so weist die Auswertung der Simulationsdaten den Holzständerleichtbau (KV1)

gefolgt von der Holzmassivkonstruktion (KV4) und dem Ziegelmassivbau mit zusätzlicher Dämmung (KV3) als Sieger aus. Am anderen Ende dieser Bewertung findet sich der Ziegelmassivbau (KV2) und schließlich die Stahlbetonmassivbauweise (KV5). Dieses Resultat gilt für alle 4 Testszenarien, die Unterschiede zwischen den einzelnen Konstruktionsvarianten sind jedoch für das Testszenario „Wochenendhaus“ am stärksten ausgeprägt. Hier sind auch die Phasen der Temperaturabsenkung am längsten und folglich die Auskühlung bzw. das Aufheizen der Speichermassen am entscheidendsten.

3-wöchiger Urlaub, Absenkung auf 15°C

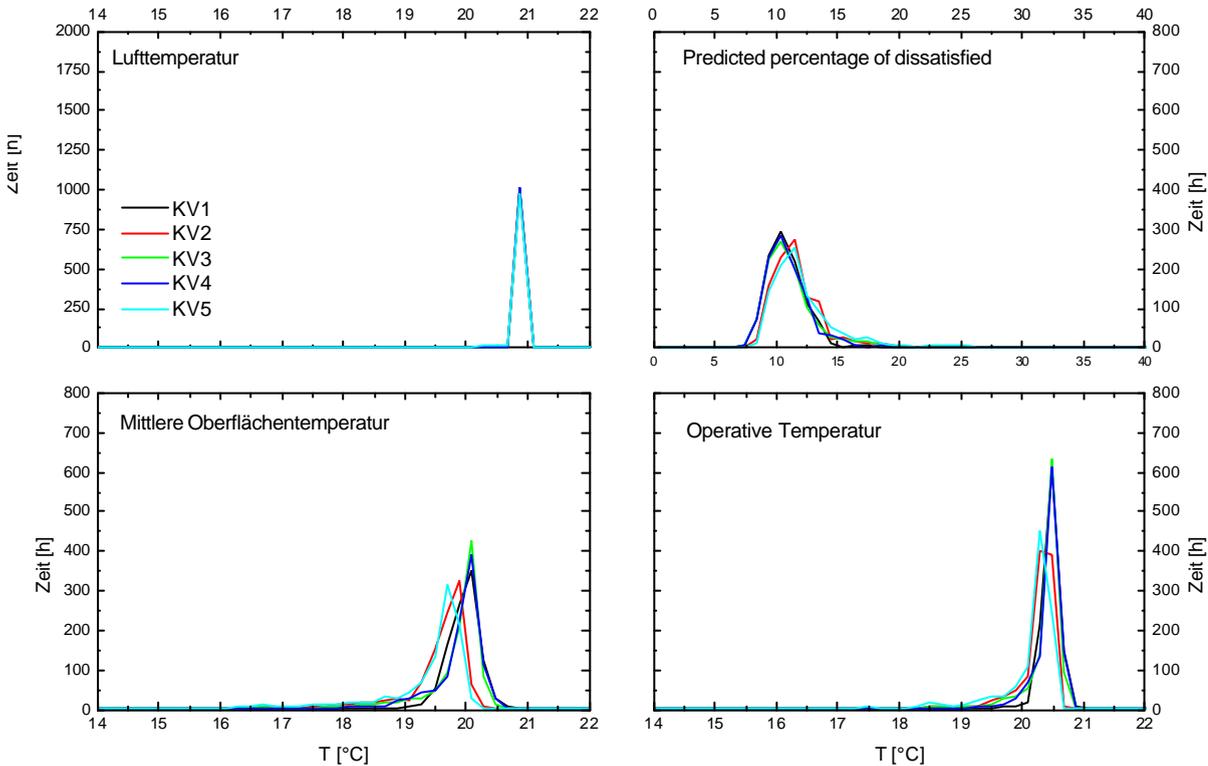


Abbildung 54: Statistische Auswertung der Raumlufttemperatur (links oben), der mittleren Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen (links unten), des ppd Index (rechts oben), und der operativen Raumtemperatur (rechts unten) für das Testszenario „3-wöchiger Urlaub“. Die Auswertung vergleicht die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten und berücksichtigt nur Zeiten der Personenanwesenheit (vgl. Abbildung 21).

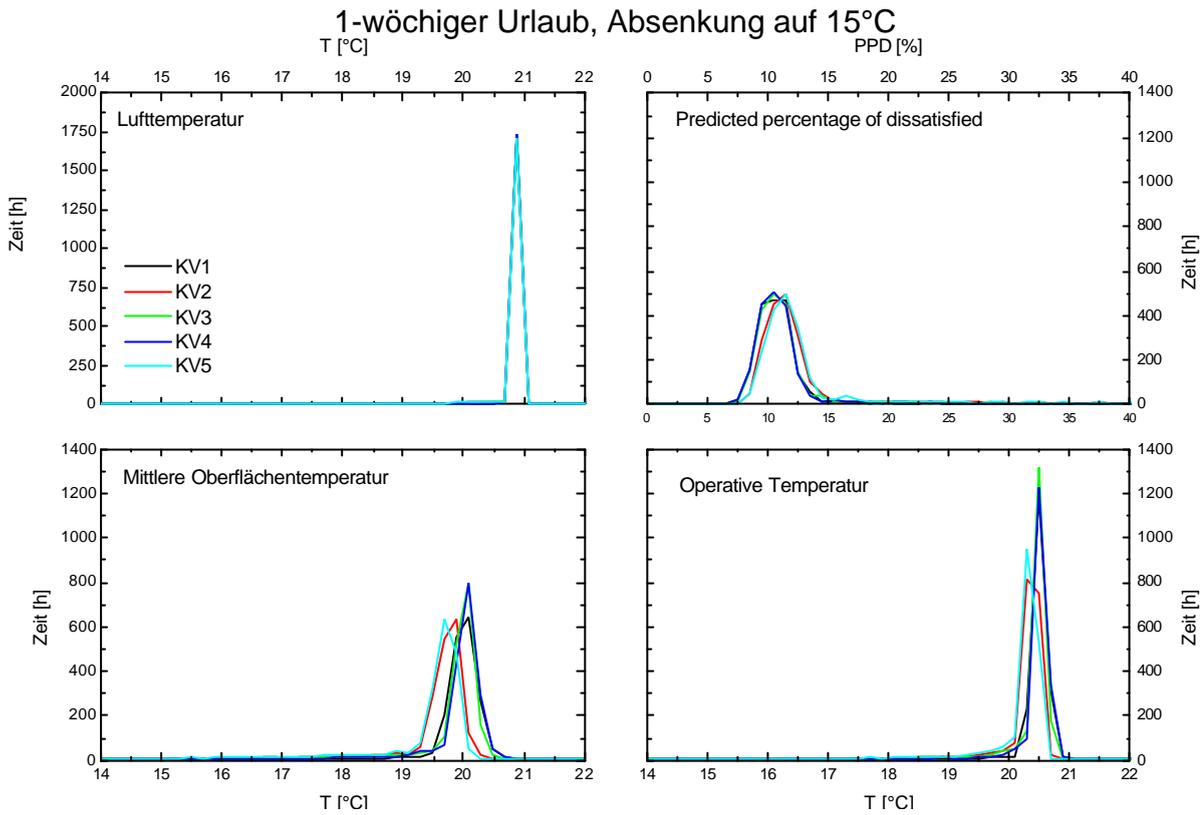


Abbildung 55: Wie Abbildung 54 nur für das Testszenario „1-wöchiger Urlaub“.

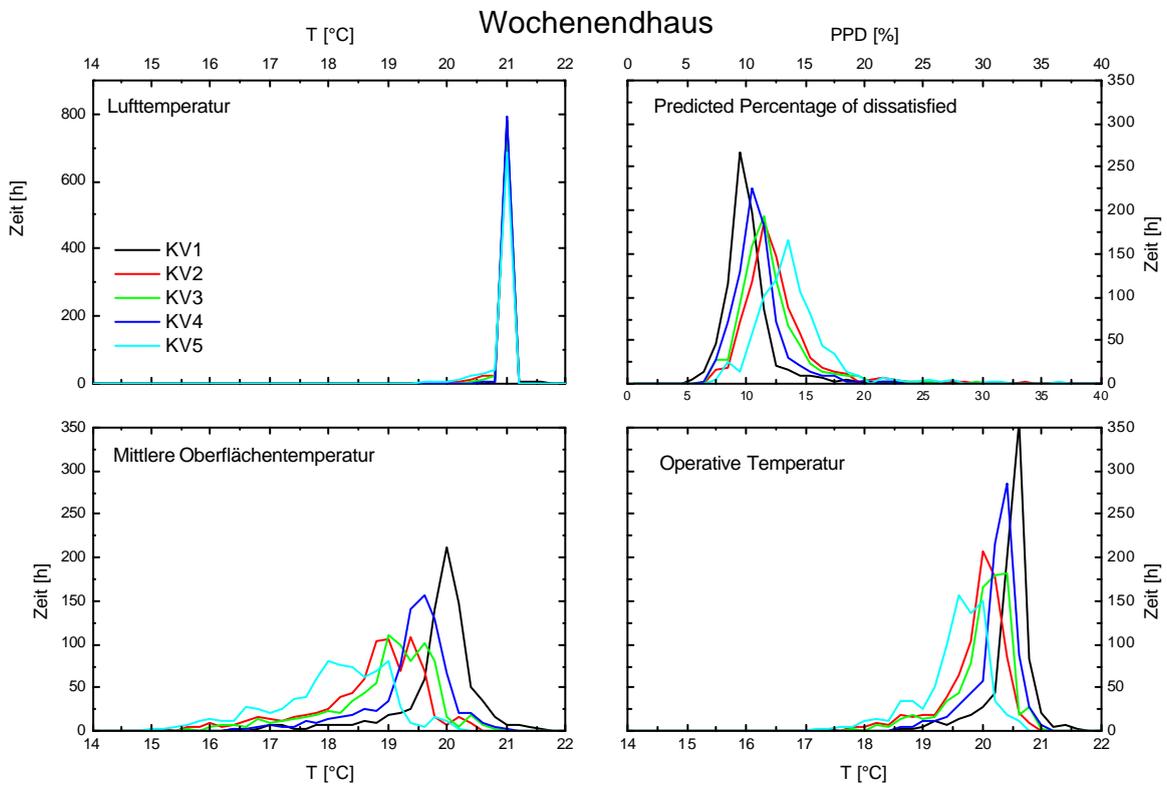


Abbildung 56: Statistische Auswertung der Raumlufttemperatur (links oben), der mittleren Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen (links unten), des ppd Index (rechts oben), und der operativen Raumtemperatur (rechts unten) für das Testszenario „Wochenendhaus“. Die Auswertung vergleicht die 5 betrachteten Konstruktionsvarianten und berücksichtigt nur Zeiten der Personenanwesenheit (vgl. Abbildung 23) und erstreckt sich über den Zeitraum vom 1.1.1998 bis zum 30.4. 1998.

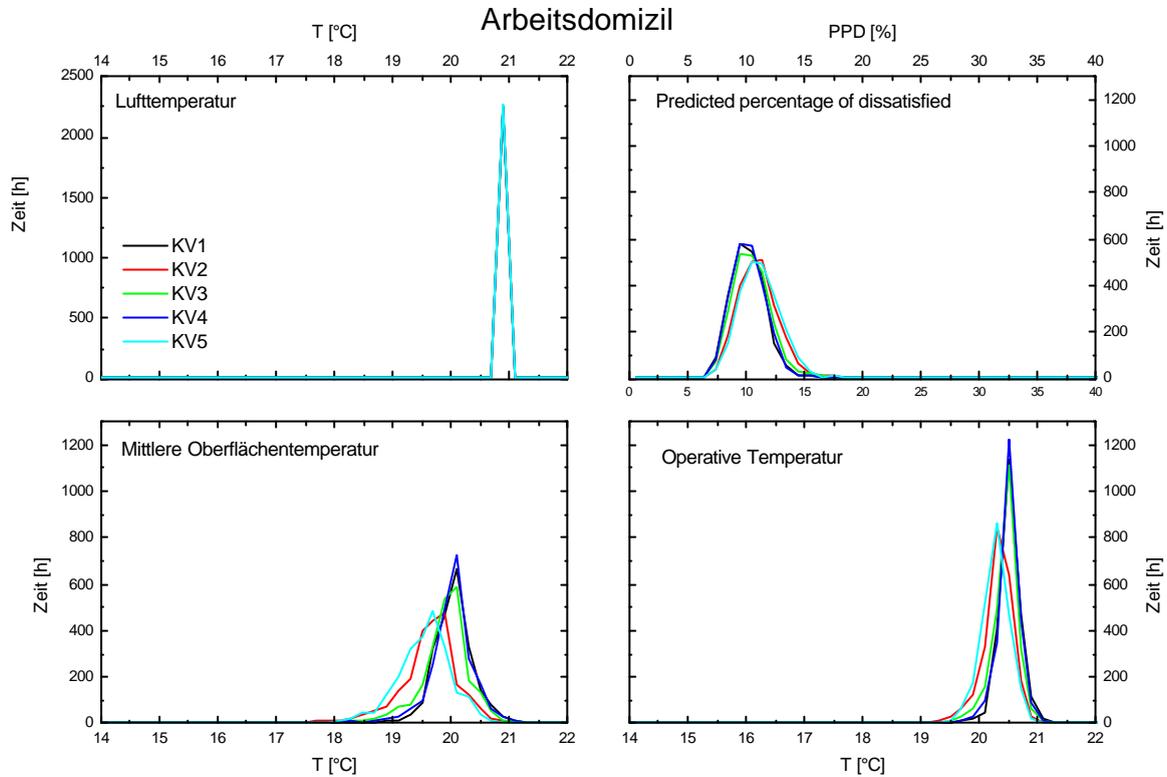


Abbildung 57: Wie Abbildung 56 nur für Testszenario „Arbeitsdomizil“.

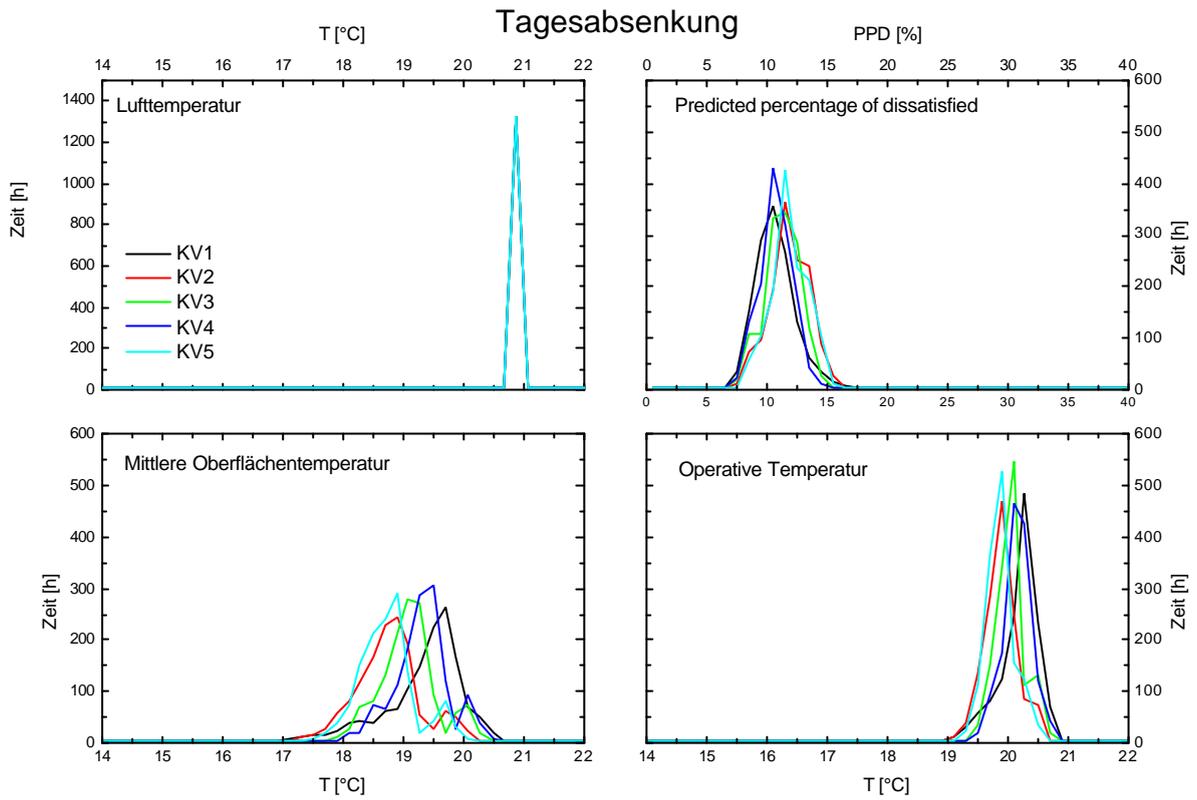


Abbildung 58: Wie Abbildung 56 nur für Testszenario „Tagesabsenkung“.

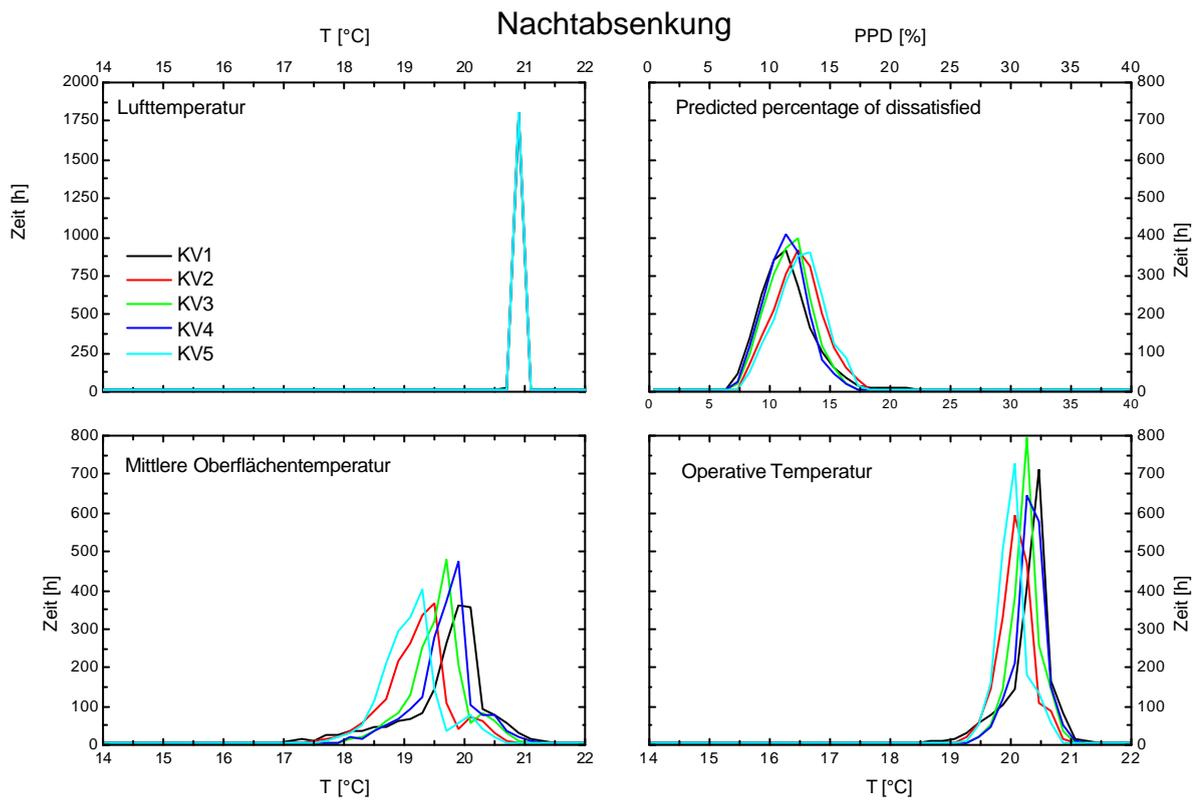


Abbildung 59: Wie Abbildung 56 nur für das Testszenario „Nachtabenkung“.

9 RELATIVE LUFTFEUCHTIGKEIT

In diesem Kapitel soll die Kondensationsgefahr an den Innenoberflächen der Wände während einer Absenkung der Raumsolltemperatur untersucht werden. Naturgemäß steigt das Kondensationsrisiko je tiefer die Raumtemperatur ist und je länger der Zeitraum der Temperaturabsenkung ist. Aus diesem Grund wurde das Testszenario „Dreiwöchiger Urlaub“ für diese Untersuchungen herangezogen. Konkret wurde die zweite Absenkphase vom 26.1.1998 bis zum 16.2.1998 wie sie im Kapitel 6.1 definiert und in Abbildung 23 dargestellt ist betrachtet, da für diesen Zeitraum maximalen Werte für die relative Luftfeuchtigkeit berechnet wurden.

Abbildung 60 und Abbildung 61 zeigen den Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit als auch der Raumlufittemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur für die Vergleichszone im Falle der Konstruktionsvarianten KV1 und KV5. Es wurden wieder jeweils 2 Fälle untersucht, nämlich Absenkung der Raumlufittemperatur auf 15°C bzw. auf 5°C. Wie man Abbildung 60 für die KV1 entnehmen kann, steigt die relative Luftfeuchtigkeit zwar auf über 90% an, wenn die Raumlufittemperatur auf 5°C abgesenkt wird. Die Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen liegt aber in diesem Fall nur geringfügig unter der Raumlufittemperatur, somit ist ein Auskondensieren an den Innenoberflächen selbst für diesen Extremfall aber dennoch unwahrscheinlich. Unkritischer ist die Situation für die KV5, da aufgrund der hohen Speichermassen die Raumlufittemperatur nicht so weit absinkt und nur ein Maximalwert von knapp 80% relative Luftfeuchtigkeit erreicht wird. Keine Probleme entstehen für beide Konstruktionsvarianten, wenn die Raumlufittemperatur nur auf 15°C abgesenkt wird. In diesem Fall liegt die relative Luftfeuchtigkeit durchwegs unter 50%.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei einer Absenkung der Raumtemperatur auf 5°C unter Umständen nicht mehr gewährleistet werden kann, dass es nicht zur Kondensation an den Innenwänden kommt. Für die untersuchten Konstruktionsvarianten und Testszenarien mit dem Klimadatensatz von Graz 1998 wurden Maximalwerte von rund 90 % für die Leichtbauweise erreicht. Problemlos hingegen erscheint ein Absenken auf 15°C, und aus einer Interpolation der Simulationswerte heraus lässt sich auch noch ein Wert von 10°C durchaus empfehlen.

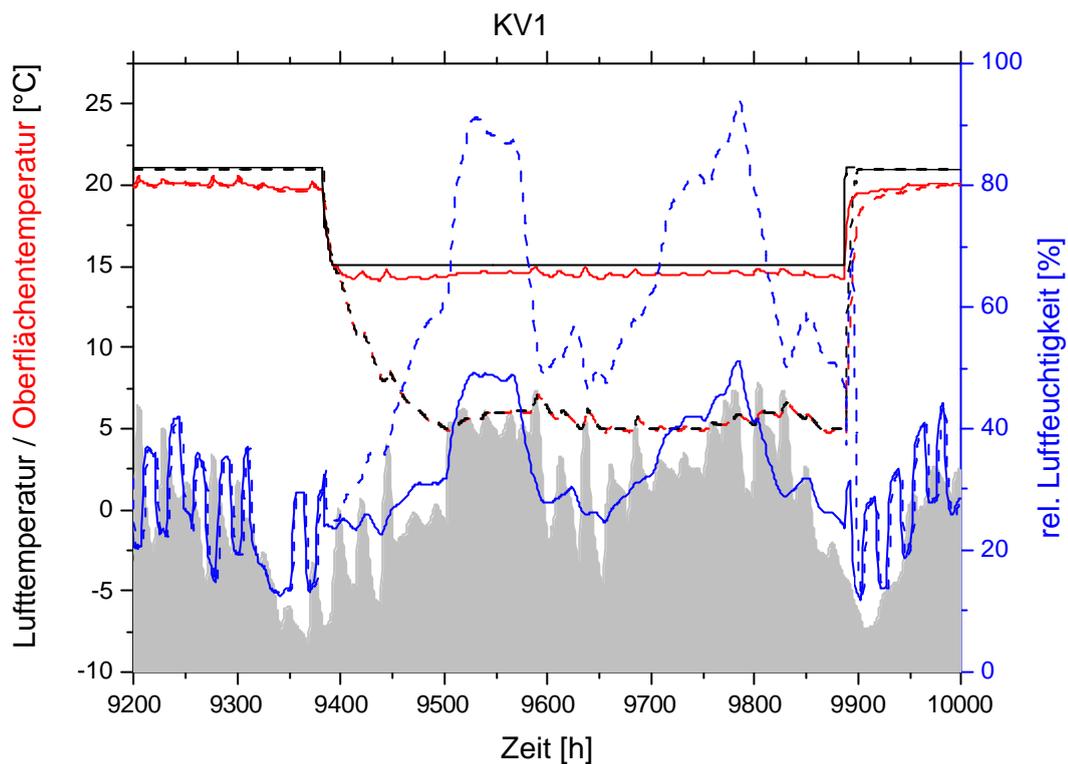


Abbildung 60: Die relative Luftfeuchtigkeit während einer dreiwöchigen Raumtemperaturabsenkung auf 15°C (durchgezogene Linien) bzw. auf 5°C (strichlierte Linien) für die KV1. Dargestellt sind die Raumlufttemperatur (schwarz), die mittlere Oberflächentemperatur der Umschließungsflächen (rot), und die relative Luftfeuchtigkeit (blau) für die Vergleichszone.

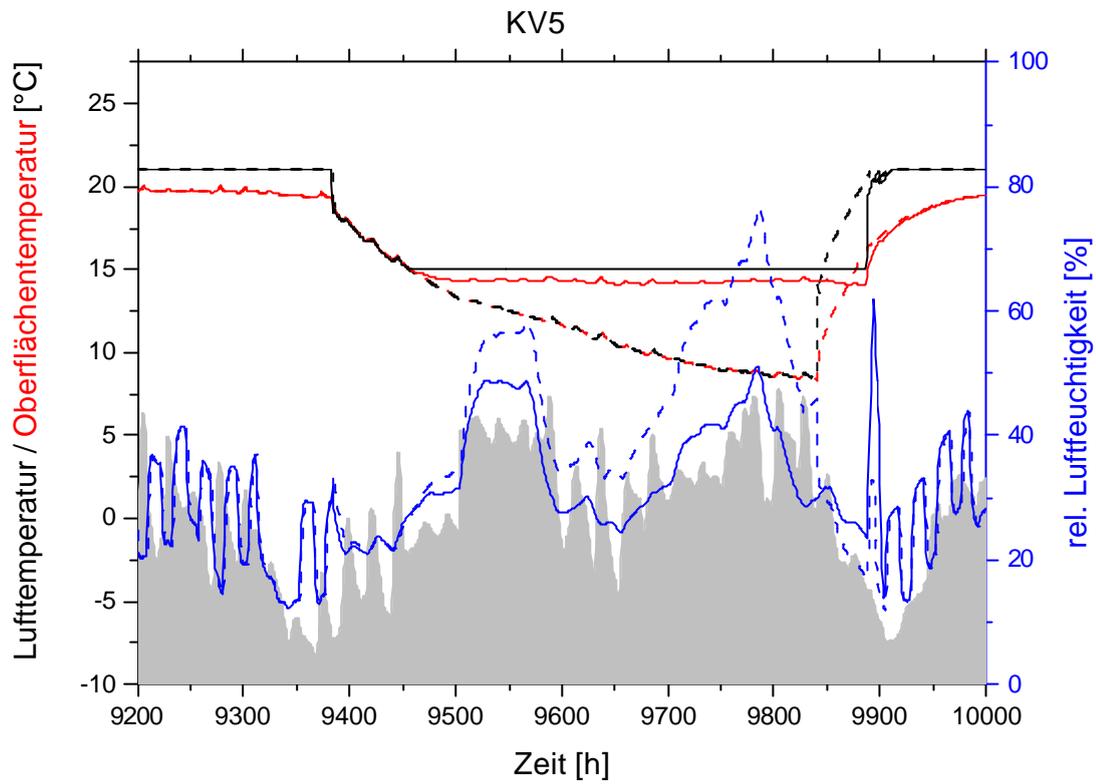


Abbildung 61: Wie Abbildung 60 nur für die KV5.

10 THERMISCHE GEBÄUDE UND ANLAGENSIMULATION

Für die Simulation des Referenzgebäudes und wird das Simulationspaket TRNSYS 15 / 6 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

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. Jede 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 Respons-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 (benutzerfreundliche Oberfläche „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. Im Userfile .usr werden die für den in der Simulation aufgerufenen TYPE 56 nötigen INPUTS und die verfügbaren OUTPUTS aufgelistet. Die Eingabedatei für die TRNSYS-Simulation des Gebäudes ist das sogenannte Deck-File. Hier werden die Übergabedateien für das Gebäude und die Wetterdaten aufgerufen, eingelesen und mit den in der Simulation benötigten TYPES verknüpft. So werden zum Beispiel die Strahlungsdaten aus dem Wetterdatensatz zuerst in einem Radiation Processor (TYPE 16) nach einem vorgewählten Himmelsmodell auf die Neigung und Orientierung der im .bid vereinbarten Gebäudeaußenflächen umgerechnet, bevor diese an den TYPE 56 übergeben werden können. Die Liste der INPUTS aus dem Userfile wird hier zur Vereinbarung des TYPE 56 im Deck benötigt. 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 einem Ausgabe-TYPE erzeugt.

Grenzen der dynamischen Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens mit TRNSYS:

TRNSYS verwendet zur Nachbildung des thermischen Gebäudeverhaltens ein Bilanzmodell mit einem Raumlufknoten pro Zone. Die Raumgeometrie ist nur durch die Größe der Flächen für den Wärmedurchgang und die Strahlungsverteilung zwischen den Flächen berücksichtigt. Die Aussagen über Raum- und Oberflächentemperaturen sind damit auf räumliche bzw. örtliche Mittelwerte beschränkt.

Bei Betrachtung von Komfort und Raumklima in größeren Räumen spielen Luftströmungen eine bedeutende Rolle, z.B. bei Zugscheinungen oder als Frischluftzug bei Luftheizungen. Die Behandlung solcher Phänomene erfordert eine dreidimensionale Auflösung der Strömungsvorgänge, die nur von CFD Programmen (Computed Fluid Dynamics) geleistet werden. Selbst diese speziellen Programme befinden sich zur Zeit für statische dreidimensionale Methoden noch im Validierungsstadium. Das Einknotenmodell von TRNSYS kann nur den Raumlufwechsel pro Zone berücksichtigen.

Das Nutzerverhalten in Gebäuden kann einen Mehrverbrauch an Heizenergie von bis zu 100 % bedingen. Einer Gebäudelastsimulation ist immer ein festes Nutzerschema zugrunde-gelegt. Insbesondere die Beschreibung des Lüftungsverhaltens ist kritisch zu betrachten, da nur eine kontrollierte Lüftung beschrieben und berechnet werden kann. Freie Lüftung wird auch über eine feste Luftwechselrate in das Modell eingeführt. Dasselbe gilt für die Bedienung elektrischer Verbraucher und das Auftreten interner Wärmequellen. Aussagen können also nur bezüglich eines Standardnutzers gemacht werden. Eine Überprüfung bei angenommenem falschen Nutzerverhalten kann zum Vergleich herangezogen werden.

Untersuchungen von Systemen mit sehr kleinen Zeitschritten sind unter TRNSYS nur eingeschränkt durchführbar. Das Gebäudemodell und die Numerik sind auf die schnelle Berechnung ganzer Jahresdurchläufe, in der Regel im Stundenzeitschritt, angepasst.

Der Zeitschritt kann nur als konstant vorgegeben werden und führt bei Größenordnungen kleiner weniger Sekunden zu numerischen Instabilitäten.

Die klimatischen Randbedingungen werden in der Regel aus Referenzwetterdaten gebildet, wie sie vom Deutschen Wetterdienst als "Testreferenzjahre" für bestimmte Regionen Deutschlands angeboten werden. Aber auch Klimadatengeneratoren (z.B. Meteonorm) erzeugen künstlich erzeugte Jahresprofile der Klimadaten eines

Standortes. Solche Datensätze sind künstlich erzeugte Jahresprofile für ein typisches Jahr am Standort. Lange Hitze- und Kälteperioden bleiben meist, da sie nicht typisch für den Standort sind, unberücksichtigt.

Möglichkeiten der dynamischen Simulation des thermischen Gebäudeverhaltens mit TRNSYS

Neben den üblichen Simulationsaufgaben, wie:

- Dynamische Heiz- und Kühllastermittlung für die thermischen Zonen.
- Winterliches und sommerliches Temperaturverhalten in den thermischen Zonen.
- Parameterstudien zu Wandaufbauten, Dämmstärken, Fensteranteilen, -qualitäten und -orientierungen.
- Auslegung solarer Brauchwasserbereitungssysteme.

bietet die Simulation mit TRNSYS den Einsatz folgender - heute oftmals unerlässlicher - Komponenten zur Erstellung eines Gebäude- und Anlagenkonzeptes an:

- Dynamische Betrachtung und Auslegung von Fußboden-, Wand- und Deckenregistern und -hypokausten zur Beheizung und/oder (Nacht-) Kühlung.
- Berücksichtigung des interzonalen Luftwechsels bei Galerien, Atrien und Wintergärten (passive Klimatisierung).
- Zonale Nachbildung (Zu- und Abluft) und Integration kontrollierter Wohnraumlüftungen zu deren Feinabstimmung.
- Dimensionierung von kontrollierten Wohnraumlüftungen mit WRG zur Luftheizung mit nachgeschalteter Luft/Luft-Wärmepumpe und vorgeschaltetem Erdwärmetauscher für Minimalenergiehäuser.
- Nachbildung und wirtschaftliche Dimensionierung von Erdwärmetauschern (zur Luft- und Wasservorwärmung und/oder -kühlung) z.B. im Hinblick auf ganzjährige Vermeidung von Vereisung an Luft/Luft-Wärmetauschern in Wechselwirkung mit dem Erdreich und dem Gebäude.
- Auslegung teilsolarer Raumheizungen mit Niedertemperaturflächenheizung - Wirtschaftliche Anlagengesamtdimensionierung bei angestrebten solaren Deckungsgrad.
- Luft- und Fensterkollektoren als Ein- oder Zweikreisssysteme mit Steinspeichern und/oder Hypokausten.
- TWD - Anwendungen verschiedener Hersteller und Optimierung in Bezug auf die Fläche, Massivwand, die Verschattungsstrategie usw.
- Erstellen von Heizgeraden für luft- und wassergeführte Systeme als Funktion der Umgebungstemperatur, der Einstrahlung und der internen Gewinne.
- Feinabstimmung verschiedenster Regelungsmechanismen.
- Nachbildung jeder Art und Regelung von Verschattungseinrichtung zur Vermeidung von sommerlicher Überhitzung.

11 LITERATURANGABEN

- / 1 **Feist, W. (Hrsg.)**
Das Niedrigenergiehaus. Neuer Standard für energiebewusstes Bauen, C.F. Müller Verlag, Heidelberg, 1997
- / 2 **TRNSYS**
Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, Version 15.09, 2001.
- / 3 **ZAMG**
Zentralanstalt für Metrologie und Geodynamik, A-1190 Wien, Hohe Warte 38
- / 4 **ISO - NORM 7730**
Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specifications of the conditions for thermal comfort, 1994
- / 5 **Mach T., Kouba R.**
Thermische Simulationen zum Holz 100 Bausystem der Firma Ing. Erwin ThomaHolz GmbH, Endbericht Institut für Wärmetechnik / AEE INTEC (2002).
- / 6 **TRNSYS, Reference Manual**
Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison, 2001
- / 7 **Fanger, P.O.**
Thermal Comfort, Analysis and application in environmental engineering, McGraw-Hill Book Company, 1972