

Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Vienna University of Technology

DISSERTATION

Methodenvergleich zur Abschätzung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden infolge thermischer Sanierung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Ardeshir Mahdavi
E 259 / 3 Abteilung für Bauphysik und Bauökologie
Institut für Architekturwissenschaften

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Architektur und Raumplanung

von

Pierre Pascal Housez
Matrikelnr. 0827846
Zwerchäckerweg 75, 1220 Wien, Österreich

Wien, am 29.11.2011

Kurzfassung

Diese Dissertation befasst sich empirisch mit der Abweichung des erwarteten und tatsächlichen Heizwärmebedarfes von den zum Passivhausstandard sanierten Gebäuden. Diese Studie stützt sich auf die Stichprobe der sieben folgenden sanierten Gebäude: vier Wohnhausanlagen in Vorarlberg, das Obergeschoss eines Zweifamilienhauses in Niederösterreich und einem Pensionistenheim in der Steiermark. Datenlogger wurden in diesen Gebäuden während der Heizperiode 2009/2010 (vom 1. Oktober 2009 bis zum 30. April 2010) aufgestellt. Mittels des Heizenergieverbrauches wurde der tatsächliche Heizwärmebedarf abgeschätzt und mit der Energiekennzahl des Energieausweises verglichen. Dabei zeigten sich, mit einer Ausnahme, große Abweichungen. Um die Ursache dieser Diskrepanz abzuklären, wurden mehrere Berechnungsmethoden des Heizwärmebedarfes verwendet: das Jahresverfahren, das Monatsverfahren und die dynamische thermische Simulation. Die dabei vorgenommene Normalisierung der Abschätzungen hinsichtlich Wetter, Raumlufttemperaturen und die internen Gewinne konnten die Abweichungen nicht erklären. Erst die Berücksichtigung der vom Nutzerverhalten abhängigen Luftwechselzahlen in diesem Fall die Fensterlüftung konnten Hinweise auf die signifikante Abweichung der rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarfs-Werte von den tatsächlichen Werten liefern.

Abstract

The topic of this thesis is the empirical study of the gap between the estimated and actual heating loads of residential buildings after thermal retrofit measures (to achieve "Passivhaus" standard). This study is based on a sample of seven recently renovated buildings. The selected buildings are five multiple dwellings in Vorarlberg, the upper level of a duplex in Lower-Austria and a residential complex for the elderly in Styria. Data-loggers were set in these buildings during the heating season 2009/2010 (from October the 1st 2009 until April the 30th 2010).

For each building, the heating demand was estimated via thermal energy use and compared with the Energy Certificates values. Except for one building, a significant discrepancy between the former and latter was discovered. To figure out the discrepancy's origin, three different calculation principles were used. If main calculation parameters (air change rate, indoor air temperature, outside air temperature, internal heat gains) are set according to default (standard) values, none of these computational methods permits to explain this gap. A subsequent multi-factor study revealed that mainly the assumptions pertaining to user-dependent the air change rates (window operated ventilation) could explain the aforementioned discrepancy.

Résumé

Le sujet de cette thèse est l'étude empirique de l'écart constaté entre les besoins en chauffage attendus et les besoins en chauffage estimés d'un bâtiment renové au standard Passivhaus ou „maison passive solaire“. Cette étude est basée sur un échantillon de sept batiments rénovés au standard Passivhaus ou l'avoisinant. Les bâtiments sélectionnés sont cinq immeubles d'habitation en Vorarlberg, l'étage supérieur d'un duplex en Basse-Autriche et une maison de retraite en Styrie. Des enregistreurs de mesures ont été installés dans ces bâtiments pendant la période de chauffage officielle 2009/2010 (du 1^{er} octobre 2009 au 30 avril 2010).

Pour chaque bâtiment, les besoins réels en chauffage sont évalués et comparés aux valeurs figurant sur les certificats énergétiques. On constate un écart significatif entre ces deux types de valeurs, sauf pour un logement. Pour tenter de comprendre l'origine de cet écart, plusieurs méthodes de calcul des besoins de chauffage ont été utilisés (le procédé dit annuel, le procédé dit mensuel et la simulation thermique dynamique). Mais aucune de ces méthodes ne permet d'expliquer cet écart, si l'on utilise les valeurs officielles des principaux paramètres (le taux de renouvellement de l'air, la température intérieure, la température extérieure et les gains thermiques intérieurs).

Donc une étude multi-factorielle a été réalisée, c'est-à-dire en faisant varier l'un ou plusieurs à la fois des précédents paramètres. Les résultats obtenus ont permis de déterminer que le taux de renouvellement de l'air (en l'occurrence les ouvertures de fenêtres) est le paramètre prépondérant qui puisse expliquer en grande partie cet écart.

Danksagung

Für meine Doktorarbeit schulde ich sehr vielen Menschen einen herzlichen Dank. Besonders möchte ich mich bei meinem Doktorvater dem Professor DI Dr. techn. Ardeshir Madhavi bedanken, der mit sehr viel Geduld und wertvollen Ratschlägen zum Gelingen dieser Arbeit wesentlich beigetragen hat.

Allen meinen Kollegen bin ich für Ihre Hilfsbereitschaft sehr dankbar. Sie gaben mir mit Ihrem fundierten Fachwissen viele Anregungen für meine wissenschaftliche Arbeit. Besonders bedanke ich mich an dieser Stelle bei Herrn DI J. Lechleitner, der mir mit seinen Kenntnissen in Bezug auf den Daten-Logger eine große Hilfe war. Bei Frau DI Dr. techn. K. Orehounig, die mir bei allen Arbeiten betreffend der thermische Simulation mit der Software Tas, mit Rat zur Seite stand und somit einen erheblichen Anteil zum Gelingen dieser Arbeit beitrug, bedanke ich mich herzlichst. Herrn DI U. Pont, mit dem ich in Gesprächen Verbesserungsvorschläge für meine Arbeit gewonnen habe, spreche ich meinen Dank aus. Der unermüdlichen Anstrengung meiner Kollegin DI A. Diralla, in Bezug auf Kenntnisse über „thermal comfort“ am Institut für Bauphysik und Bauökologie sei nochmals recht herzlich gedankt.

Ich möchte mich bei DI Dr techn. A. Sonderegger, für Ihre Informationen über die umfassenden Sanierungen, die sie geplant hat, herzlich bedanken. Ferner bin ich den MitarbeiterInnen der Vorarlberger gemeinnützige Wohnungsbau- und Siedlungs-gesellschaft m.b.H., insbesondere Herrn W. Lampl. Frau E. Steiner und Herrn R. Schneider für Ihre Bemühung bezüglich der Vermittlung mit den BewohnerInnen und des Weitergebens der technischen Daten zu Dank verpflichtet. Beim Herrn M. Gruber Direktor des Bezirkspensionistenheim Weiz wie beim Herrn MAS T. Wimmer, Planer und Bewohner der Aufstockung, möchte

ich mich für Ihre Bemühung bei der Untersuchung bedanken. Ich möchte mich auch beim Herrn J. Raimund, Entwickler der Software METEONORM, für seine online Unterstützung bedanken.

Des Weiteren bedanke ich mich auch bei den BewohnerInnen herzlich für die Teilnahme an der Untersuchungen in Ihren Wohnungen. Ich möchte mich auch für das Korrekturlesen bei Herrn Ing. C. Bayer, Herrn DI A. Heckt, Frau DI E. Ladinig, Herrn Mag. H. Lagor, Frau Dr. techn. K. Orehounig und Frau DI C. Sartorius aufrichtigst bedanken .

A mes parents

„We may state as characteristic of modern science that this scheme of isolable units acting in one-way causality has proved to be insufficient. Hence the appearance, in all fields of science, of notions like wholeness, holistic, organismic, gestalt, etc., which all signify that, in the last resort, we must think in terms of systems of elements in mutual interaction.“ Ludwig von Bertalanffy

„The rigid, isolated object is of no use whatsoever. It must be inserted into the context of living social relations. „, Walter Benjamin

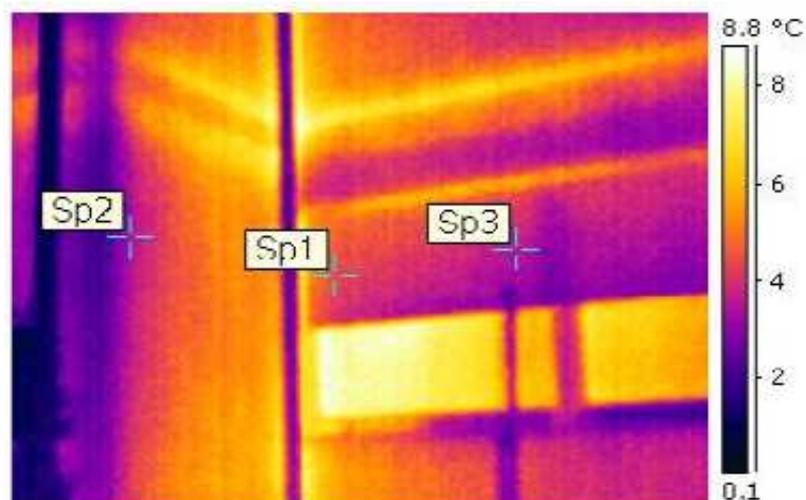


Abb. 1: Untersuchung der Wärmebrücken anhand einer Wärmebild-Kamera (Schleifweg, vor der Sanierung)

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	ii
Abstract.....	iii
Résumé.....	iv
Danksagung.....	v
Bezeichnungen & Abkürzungen.....	1
a) Lateinische Abkürzungsbuchstaben.....	1
b) Griechische Abkürzungsbuchstaben.....	2
1 Einführung.....	3
1.1 Übersicht.....	3
1.2 Motivation.....	3
1.2.1 Treibhausgase & Klimawandel.....	3
1.2.2 Peak Oil.....	5
1.2.3 Alternativen	7
1.3 Hintergrund.....	13
1.3.1 Allgemeine über Nutzerverhalten und HWB.....	13
1.3.2 Nutzerverhalten und Lüftung	14
1.3.3 Nutzerverhalten bei energiesparenden Gebäuden.....	15
1.3.4 Nutzerverhalten und „Rebound-Effekt“.....	16
1.3.5 Simulation von Nutzerverhalten.....	18
2. Methodologie der Untersuchung.....	18
2.1 Übersicht.....	18
2.2 Die Gebäude und ihre BewohnerInnen.....	19
2.2.1 Beschreibung der Auswahl der Gebäuden der Stichprobe	19
2.2.2 Objekte A und B.....	21
2.2.3 Objekt C.....	25
2.2.4 Objekt D	27
2.2.5 Objekt E.....	31
2.2.6 Objekt F.....	34
2.2.7 Objekt G.....	37

2.2.8 Die BewohnerInnen	40
2.3 Datensammlung.....	40
2.3.1 Daten-Logger.....	41
2.3.2 Wetterdaten.....	42
2.3.3 thermische dynamische Gebäudesimulation.....	44
2.3.4 Wärmeabrechnungen und Solarertrag (ggfs.).....	47
2.3.5 Energieausweise bzw. bauphysikalischer Nachweis.....	48
2.3.6 Umfragen.....	50
2.4 Datenbearbeitung.....	50
2.4.1 Messdaten.....	50
2.4.2 Wetterdaten	53
2.4.3 Kalibrierung der 3D-Modelle.....	55
2.5 Datenanalyse.....	58
2.5.1 HWB nach Energieausweis	58
2.5.2 Abgeschätzter HWB.....	59
2.5.3 Soll-Heizwärmebedarf nach Jahresbilanzverfahren.....	61
2.5.4 Soll-Heizwärmebedarf nach Monatsbilanzverfahren.....	61
2.5.5 Soll-Heizwärmebedarf mit Tas-Building-Simulator.....	63
3 Ergebnisse	64
3.1 Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Verfahren.....	64
3.2 Wetter und mittlere Tagesaußentemperatur T_{ma}	66
3.3 Innentemperatur T_i und monatliche mittlere Innen-temperatur T_{mi}	68
3.4 Mittlere Wärmestromdichte q_i	78
3.5 Luftwechselzahl n	80
3.6 Angepasste Modelle.....	82
3.6.1 Angepasste Modelle der 1. Art.....	82
3.6.2 Angepasste Modelle der 2. Art.....	83
3.7 Umfragenergebnisse.....	87
4 Diskussion.....	95
4.1 HWB-Ergebnisse.....	95

4.2 HWB nach Einflussfaktoren.....	96
4.3.2 Wetter.....	96
4.3.1 Interne Wärmegewinn.....	96
4.3.3 Mittlere Innenraumtemperaturen.....	97
4.3.4 Luftwechselzahl.....	98
4.3 Vergleich mit den vorherigen Studien.....	103
4.4 Umfragen.....	106
5 Schluss.....	107
5.1 Konklusion.....	107
5.2 Beitrag.....	108
5.3 Entwicklungs- und Forschungsbedarf.....	109
Literatur.....	110
Anhänge.....	116
1. Tabelle der Kolmogorov-Smirnov-Verteilung.....	116
2. Tabelle der t-Verteilung.....	117
3. Thermal Comfort – ASHRAE Handbook.....	118
4 Hobo-Logger.....	119
5. Hoboware.....	120
6 Tas Building Designer	122
3D Modeller	122
Building Simulator	123
Results Viewer	123
7 METEONORM.....	124
8 Kurven der Innen- und Aussentemperaturen nach Objekt.....	125

Bezeichnungen & Abkürzungen

a) Lateinische Abkürzungsbuchstaben

ASPO	Association for the Study of Peak Oil
BGF _B [m ²]	beheizte Brutto-Geschoßfläche
EFH	Einfamilienhaus
EKZ [kWh/m ² .a]	Energiekennzahl
ES	Energiesparlampe
GAU	größter anzunehmender Unfall
GB	Gluhbirne
HEB [kWh/a]	Heizenergiebedarf
HGT [K.d]	Heizgradtage
HWB [kWh/m ² .a]	flächenbezogener Heizwärmebedarf
HT [d]	Heiztage
IEA	internationale Energieagentur
IPCC	international panel on climate change
KWL	kontrollierte Wohnraumlüftung
L _c [m ³ /m ²]	charakteristische Länge
LWZ [h ⁻¹]	Luftwechselzahl
MFH	Mehrfamilienhaus
n [h ⁻¹]	Luftwechselzahl
n _{Anl} [h ⁻¹]	maschinelle Lüftungsrate
n _x [h ⁻¹]	Infiltrationsrate
NF [m ²]	Nutzfläche
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket
PHVP	Passivhaus-Vorprojektierung
Q _h [kWh/a]	Heizwärmebedarf
Q _{h,M} [kWh/M]	monatlicher Heizwärmebedarf
q _i [W/m ²]	Wärmestromdichte
Q _i [kWh/a]	interne Wärmegewinne

Bezeichnungen & Abkürzungen

$Q_{i,M}$	[kWh/M]	monatliche interne Wärmegewinne
Q_s	[kWh/a]	solarer Wärmegewinn
$Q_{s,M}$	[kWh/M]	monatlicher solarer Wärmegewinn
Q_t	[kWh/a]	Transmissionswärmeverluste
$Q_{t,M}$	[kWh/M]	monatliche Transmissionswärmeverluste
Q_v	[kWh/a]	Lüftungswärmeverluste
$Q_{v,M}$	[kWh/M]	monatliche Lüftungswärmeverluste
RWU		Raumwärmeunterstützung
SZ		Schlafzimmer
T_i	[°C]	Raumluft- oder Innentemperatur
T_{mi}	[°C]	monatliche mittlere Innentemperatur
T_{ma}	[°C]	Tagesaußentemperatur
U-Wert	[W/m ² .K]	Wärmedurchgangskoeffizient
WD		Wärmedämmung
WHA		Wohnhausanlage
WRG	[%]	Wärmerückgewinnung
WWB		Warmwasserbereitstellung
WWWB	[kWh/m ² .a]	Warmwasserwärmebedarf
WZ		Wohnzimmer
ZFH		Zweifamilienhaus

b) Griechische Abkürzungsbuchstaben

η	[-]	Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne
η_{Ges}	[-]	Gesamtwirkungsgrad von Heizungssystem
η_M	[-]	monatlicher Ausnutzungsgrad der Wärmegewinne
η_v	[%]	Nutzungsfaktors des Wärmeüberträgers (d.h. Wärmerückgewinnung)
μ	[°C]	Mittelwert der Innentemperaturen eines Raumes
σ	[°C]	Standardabweichung der Innentemperaturen eines Raumes

1 Einführung

1.1 Übersicht

Das Thema dieser Dissertation ist eine empirische Studie über den Unterschied zwischen berechnetem Heizwärmebedarf und abgeschätztem Heizwärmebedarf von sanierten Gebäuden im Passivhausstandard. Diese Studie basiert auf einer Stichprobe von sieben sanierten Gebäuden. Die ausgewählten Gebäude beinhalten eine Wohnung im 2. Stockwerk eines Zweifamilienhauses in Niederösterreich, vier Wohnhausanlagen in Vorarlberg und ein Pensionistenheim in der Steiermark. Der Beobachtungs- und Messzeitraum in diesen Gebäuden war während der Heizperiode 2009/2010 (vom 1. Oktober 2009 bis zum 30. April 2010).

1.2 Motivation

Die Problematik der „Energie“ ist weltweit eine entscheidende Angelegenheit geworden. Es gibt einerseits, einige ökologischen Ausführungen über die globale Erwärmung und der Treibhausgas-Emissionen, andererseits, manche wirtschaftlichen Besorgnisse wegen des Peak Oil & Gas.

1.2.1 Treibhausgase & Klimawandel

Die Nutzung der fossilen Energieträger (Transport, Industrie, Gebäude) verursacht den größten Anteil der anthropogenen Treibhausgas-Emissionen (siehe Abb. 2), die einen globalen Klimawandel bewirken, da die fossilen Energieträger in die Atmosphäre riesige Mengen von Kohlenstoff frei setzen.

1 Einführung

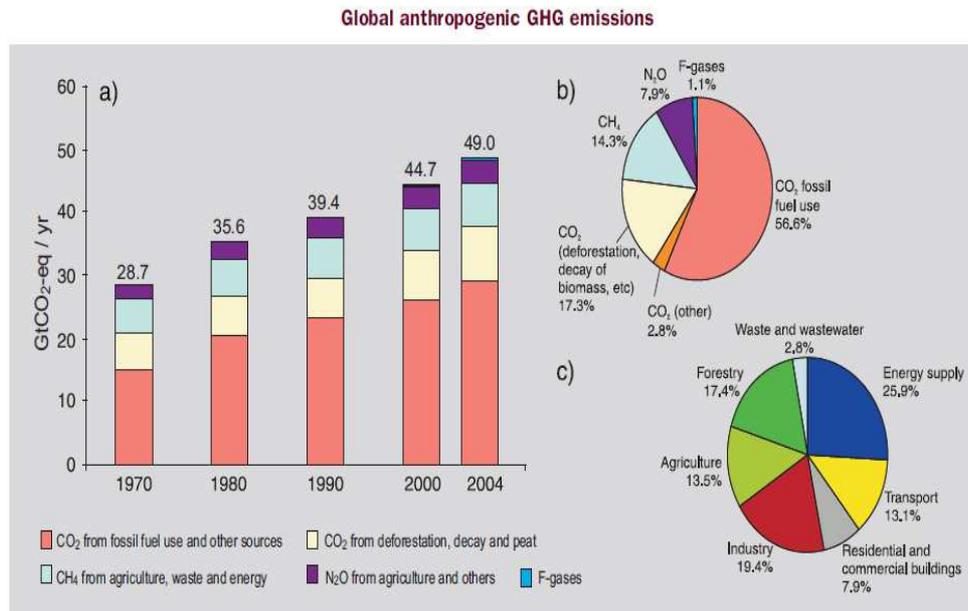


Abb. 2: Anthropogene Treibhausgas-Emissionen

Der Kohlenstoff ist nicht das einzige Treibhausgas, insbesondere hat sich die Zusammensetzung der Luft in Bezug auf den CO₂-Gehalt (siehe Abb. 3) geändert. Vor der Industrialisierung betrug der CO₂-Gehalt der Luft etwa 290 ppmV Kohlenstoff (part per million Volumenanteil). Seither ist dieser Anteil auf 390 ppmV stark gestiegen. Laut Berechnungen des International Panel on Climate Change (Abk. IPCC), soll der CO₂-Gehalt der Luft noch weiter stark zunehmen, falls keine passenden Maßnahmen getroffen werden. Je größer der CO₂-Gehalt der Luft, Desto geringer ist der Anteil der reflektierten Sonneneinstrahlung. Diese Phänomen wird auch als anthropogener Treibhaus-Effekt bezeichnet.

1 Einführung

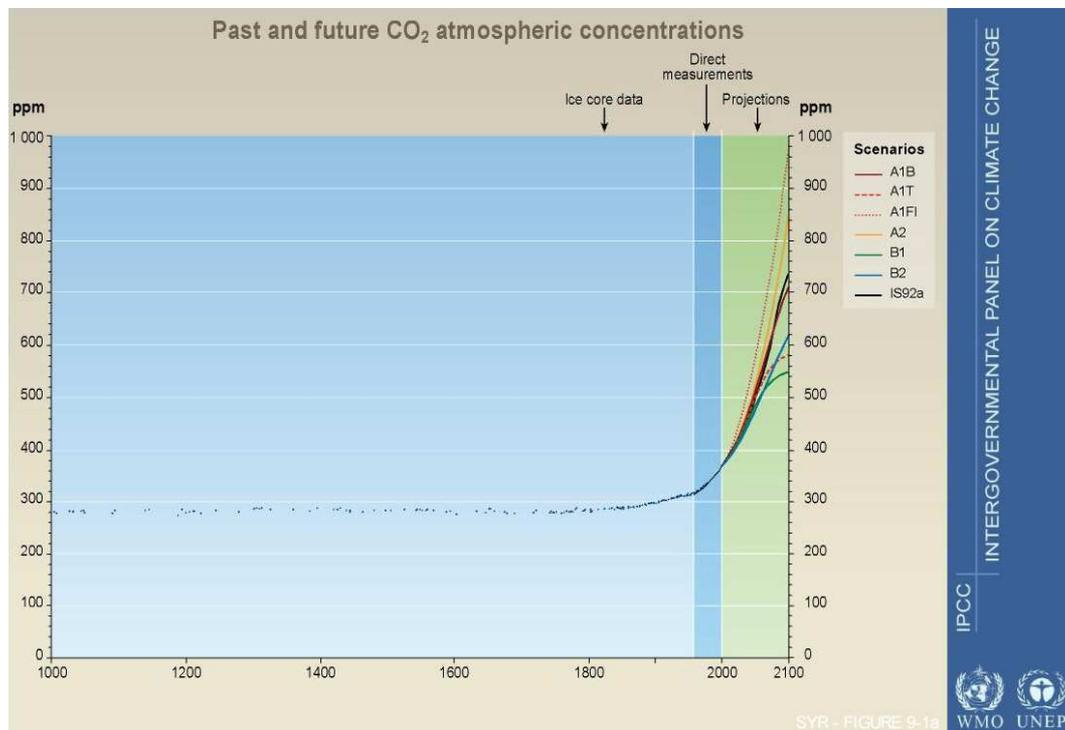


Abb. 3: CO₂-Gehalt der Luft in part per million (ppm)

1.2.2 Peak Oil

Im 1956 hat der US-Ölexperte M. Hubbert vorhergesagt, dass die Ölförderung der Vereinigten Staaten ein Fördermaximum um 1970 erreichen sollte. Seither wurde dieser Peak Oil der USA viel dokumentiert. Campbell und Laherrère haben anhand Hubbert'scher Methodik das weltweite Ölfördermaximum angekündigt. Dieses Maximum kann entweder als ein Höhepunkt (siehe Abb. 4) oder als ein „petroleum Plateau“, d.h. eine endlose Abschwung, erscheinen (Campbell C.J. und Laherrère J. 1998).

1 Einführung

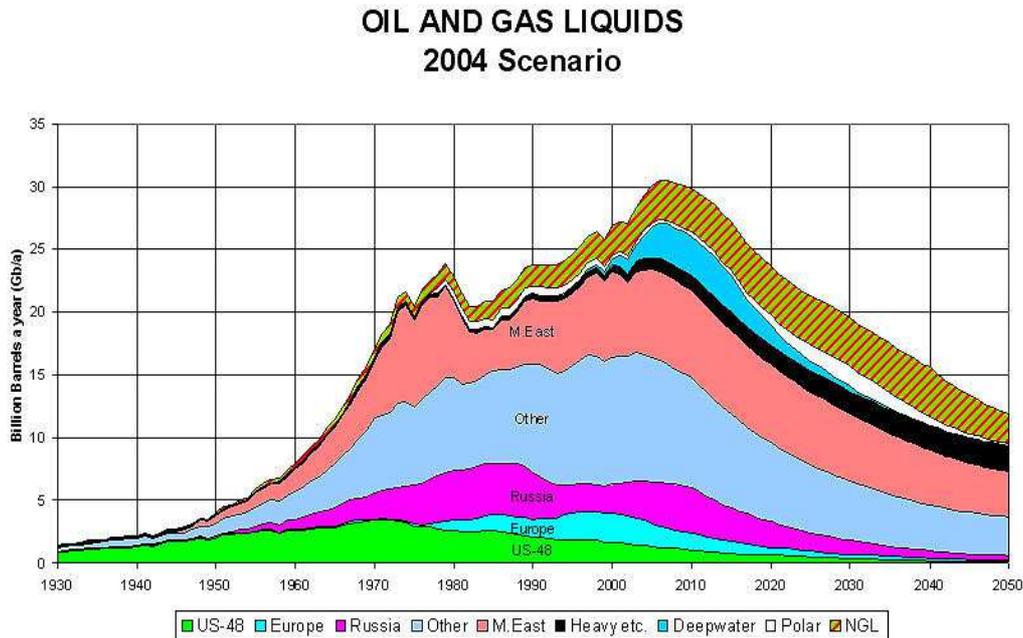


Abb. 4: Grafische Darstellung des Peaks Oil

Am Anfang wurde diese Prognose nur von dem von Colin Campbell gegründeten Verein „Association for the Study of Peak Oil & Gas“ (Abk. ASPO) unterstützt. Laut der ASPO haben die Ölförderungen bei allen großen Ölexport-Länder außer Saudi-Arabien schon abzunehmen angefangen. Seither veröffentlichen zahlreiche Experte und Organisationen Jahr für Jahr Berichte, die das Überschreiten des weltweiten Ölfördermaximums bestätigen und wirtschaftlichen Risiken wegen der absinkenden Erdölförderung ankündigen.

Laut der Internationalen Energieagentur (Abk. IEA) würde das globale Ölfördermaximum in 2006 erreicht (siehe Abb. 5). D.h. die Hälfte des von der Erde beinhaltenen Erdöls ist schon verbraucht (World Energy Outlook 2010).

Wie die IEA, das Pentagon in Washington D.C. und noch weitere Experten, warnt die deutsche Bundeswehr, dass jedoch voraussehbar ist, dass das „ist jedoch Erdöl in absehbarer Zukunft nicht mehr den zu erwartenden Bedarf decken kann“. Da Erdöl der wichtige Energieträger ist, „stellt eine Verteuerung des Erdöls ein

1 Einführung

systemisches Risiko dar. Die Gefahr des Peak Oil liegt nicht darin, dass es kein Öl

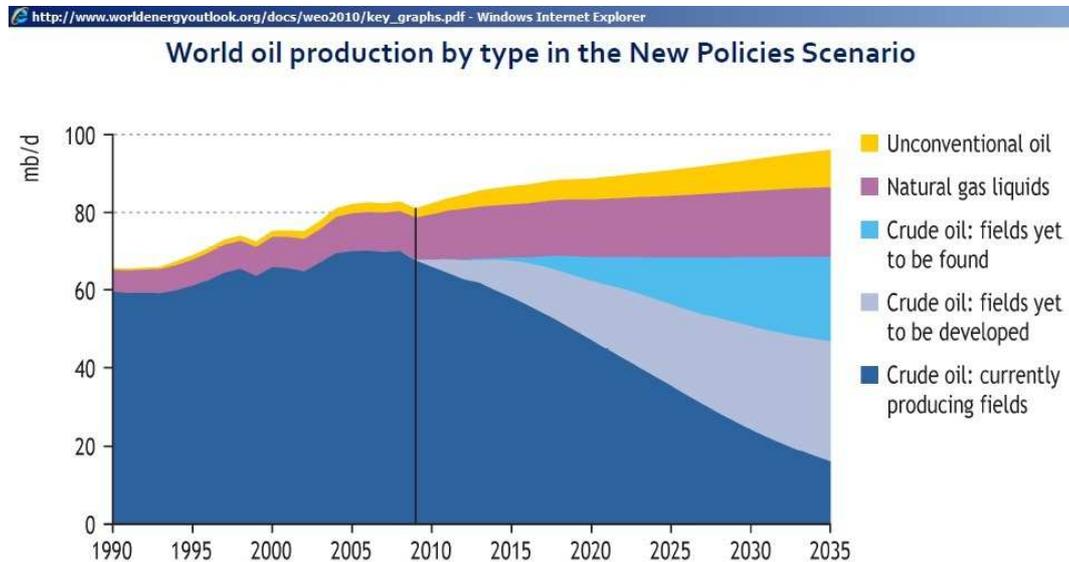


Abb. 5: Ölfördermaximum im 2006

mehr gibt, sondern dass es kein billiges Öl mehr gibt.“ (Zentrum für Transformation der Bundeswehr 2010). „Obwohl die Welt vom Öl abhängt, können die vorhandenen Produktionskapazitäten und die Entwicklung der vorhandenen Vorräte nicht aufrechterhalten, um der Nachfrage zu entsprechen“, laut des Pentagons (The Joint Operative Environment 2008). Und „eine starke Energiekrise ist unvermeidlich (...). Bestenfalls wird sie zu Perioden von brutaler Wirtschaftlichen Anpassung führen. (...) Man soll nicht vergessen, dass die „Great Depression“ einige totalitären Regierungsformen, welche wirtschaftlichen Wohlstand ihrer Völker durch brutale Eroberungen gesucht haben, hervorgebracht hat“ (The Joint Operative Environment 2010).

1.2.3 Alternativen

Im Vergleich zum Erdöl ist das Erdgas nicht leicht zu transportieren. Die Verflüssigung des Gases ist ein energie- und kostenaufwendiges Verfahren. Deswegen kann das Gas nicht ganz das Erdöl ersetzen. Dazu soll auch das globale Erdgasfördermaximum von 15 bis 20 Jahre – mit einem *stetigen* jährlichen

1 Einführung

Verbrauch - nach dem Peak Oil erreicht werden.

Die Kohlevorräte sollen noch 2 Jahrhunderte – mit einem *stetigen* jährlichen Verbrauch - ausreichen. Wegen des Klimawandels ist die Kohlenutzung aber nicht klimafreundlich.

Heutzutage stellt die Atomenergie wegen ihrer hauptsächlichlichen Nachteile (sehr gefährliche Nachfolgen eines Unfalls – GAU -, sehr hoher Investitionskosten und keiner Lösung für die Beseitigung der Atommüll) als keine glaubhafte Alternative dar. Ihr Anteil des weltweiten Energiemix bleibt mit 6% sehr marginale. Dazu sind die Uranvorräte sehr begrenzt und ihr Fördermaximum soll bald erreicht werden.

Die regenerativen Energien wie beispielsweise die Solarthermie, die Biomasse, die oberflächliche Geothermie können eine bedeutsame Rolle im Gebäudebereich spielen, um die fossilen Energieträger (insbesondere Heizöl und Erdgas) teilweise zu ersetzen, aber nur in Kombination mit der Energieeffizienz und -einsparungen.

Zum Beispiel, sieht die Struktur des Energieverbrauchs der EU vor, wie es auf dem Flächendiagramm erscheint (siehe Abb. 6), dass mehr als 300 Millionen Tonnen Erdöl-Äquivalent, d.h. 333,33 Gm³ (Giga m³) Erdgas oder 3,5 PWh (Peta Wh) im 2005, welche etwa 26,6 % des Endenergieverbrauchs darstellen, im Gebäudebereich der EU verbraucht werden (IEA World Energy Outlook 2006).

1 Einführung

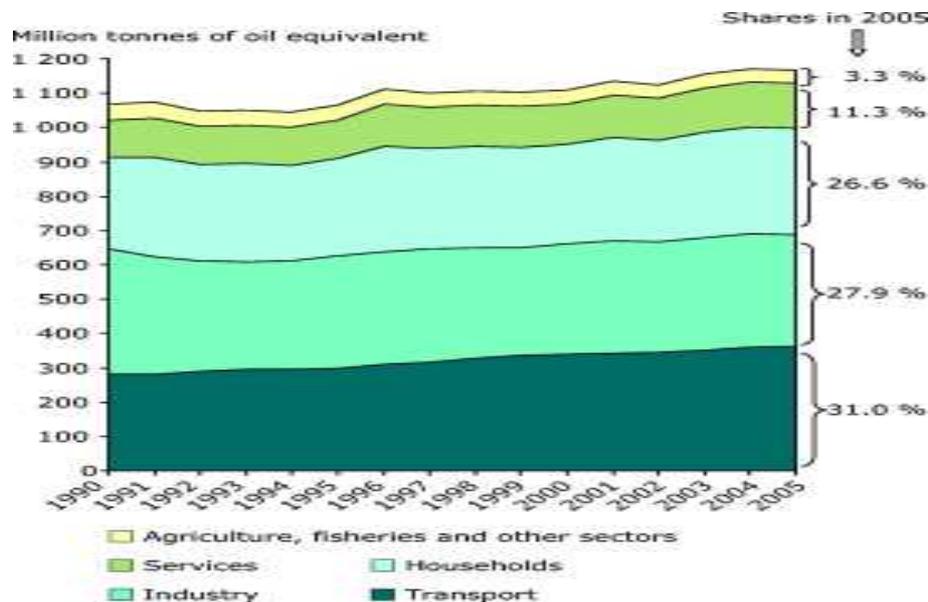


Abb. 6: Endenergieverbrauch pro Sektor, EU-27

Weltweit gibt es ähnliche Ergebnisse. Weltweit „die beiden Sektoren [Privathaushalt und Dienstleistungen] verrechnen für 40% der Einsparpotential bei dem Endenergieverbrauch in 2030 und für 68% der Stromeinsparungen (IEA World Energy Outlook 2006).

Der Sektor der Privathaushalte erzielt 72% des Verbrauchs und 70% der Einsparungen in 2030 (IEA World Energy Outlook 2006). Das bedeutet, dass ungefähr 28 % der Einsparungen im Endenergieverbrauch beim Privathaushalt-Sektor im Jahre 2030 liegt. „Ein riesiges Einsparpotential existiert im Privathaushalt-Sektor“ (Schneiders J. und Andreas H. 2006). Zum Beispiel, „wird die Anwendung in jedem Mitglied-Staat der EU der Richtlinie über die Gesamt-Energieeffizienz von Gebäuden (2002/91/EG), seit 2006, einen Gewinn, der um zirka 40 Millionen Tonnen Erdöl-äquivalent (Mtöäq), d.h. 44,44 Gm³ Erdgas oder 465,2 TWh von heute bis 2030 abgeschätzt wird, erlauben“ (European Commission 2005).

1 Einführung

Deswegen ist die Sanierung des Bestandes zu energiesparenden Standards ganz sinnvoll. Heute ist der Passivhausstandard ein ehrgeiziges und erreichbares Ziel für eine umfassende thermische Sanierung. Es gibt schon in Österreich wie in Deutschland eine bedeutsame Anzahl von zum Passivhausstandard bzw. fast Passivhausstandard sanier-ten Gebäuden aller Arten (Privathaushalt, Wohnhausanlage, Schule, usw.).

Die Sanierung ist im Vergleich (siehe Tab. 1) zu dem Neubau 2,6 mal energiesparender und 4 mal umweltfreundlicher (Domenig-Meisinger I. et al. 2007).

Tab. 1: Vergleich Neubau u. Sanierung

Im Vergleich zu konventionell	Energieeinsparung	CO ₂ -Einsparung
Neubau in Passivhausstandard	60 kWh/m ² .a	10 kg/m ² .a
Sanierung zum Passivhausstandard	160 kWh/m ² .a	40 kg/m ² .a
	Faktor 2,6	Faktor 4

Es gibt noch weitere energiesparenden Baustandards wie Nullenergiehäuser und Plusenergiehäuser, aber sie befinden sich zur Zeit im Entwicklungsstadium und sind Gegenstand der Forschung.

1 Einführung

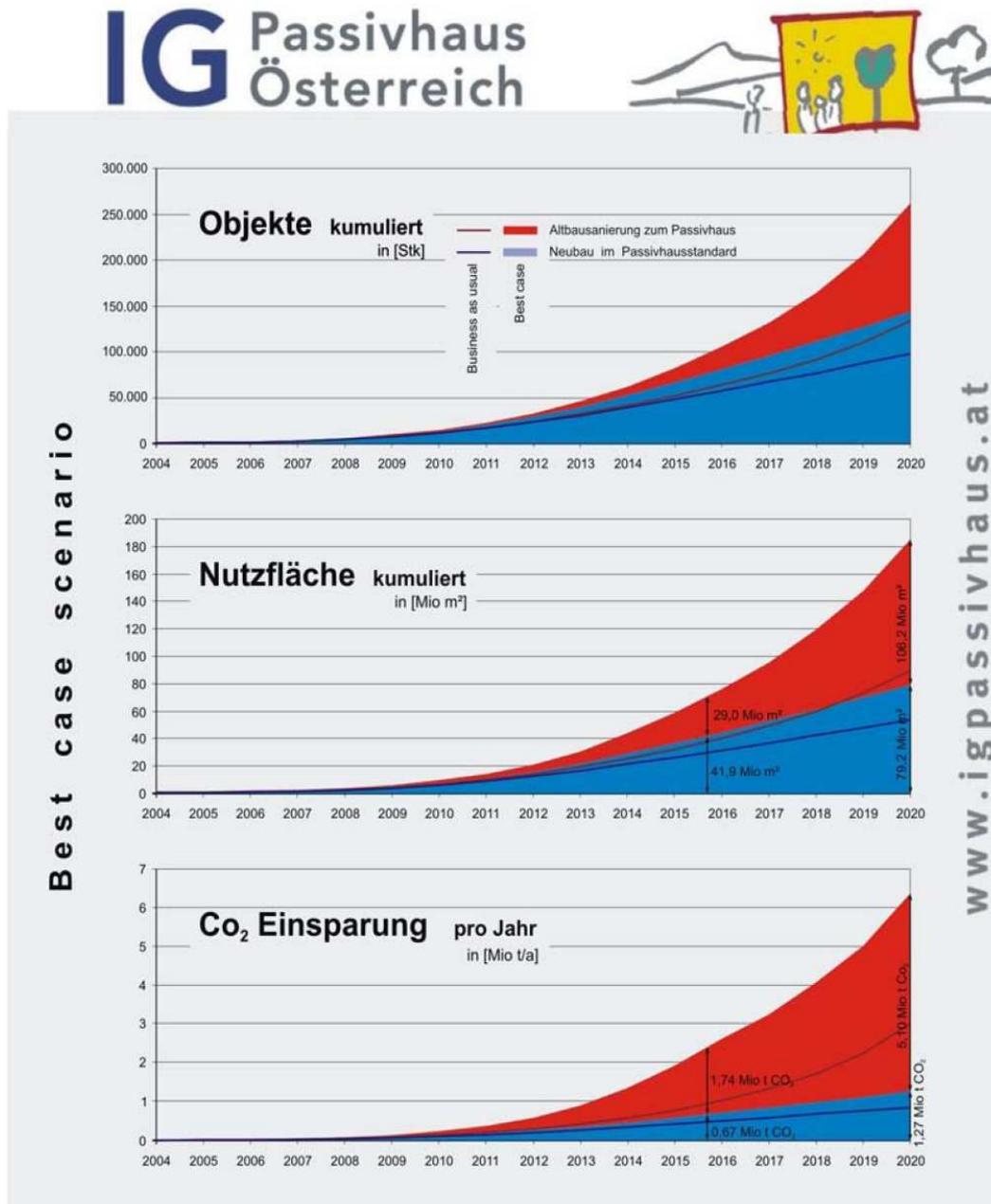


Abb. 7: Best case scenario : Entwicklung der Passivhäuser in Österreich

Laut der Prognose der Interessengemeinschaft Passivhaus (Abk. IG Passivhaus) soll die kumulierte Nutzfläche im Passivhausstandard in der nächsten Jahren stark steigen (siehe Abb. 7). Wenn die Anzahl der Neubauten im Passivhausstandard

1 Einführung

sehr stark im Vergleich mit den sanierten Objekte steigen wird, liegt das größte CO₂- und Energieeinsparpotential aber bei den sanierten Objekte. Ein Passivhaus ist prinzipiell mit 3 Kennzahlen definiert : einem sehr geringen flächenbezogenen Heizwärmebedarf (*Abk.* HWB), kleiner als 10 kWh/ m² BGF.a oder 15 kWh/ m² NF.a, einem sehr kleinen Primärenergieverbrauch, kleiner als 120 kWh/m².a und einer maximalen Luftwechselzahl (*Abk.* LWZ) von 0,6 h⁻¹ Differenzdruck-Verfahren bei 50 Pa. Diese Messungen des Luftwechsels erfolgt über einen Blower-Door-Test. Da ähnliche Gebäuden einen so kleinen HWB haben und unter bestimmten Bedingungen verwendet werden sollen, sind sie sehr empfindlich auf das Verhalten der Nutzer sein. Den Einfluss dieses Verhaltens zu untersuchen ist das Ziel dieser Dissertation und damit einhergehend einige erreichte Ergebnisse zu präsentieren.

Um einen solchen HWB bei einer Sanierung zu erreichen, sind einige Maßnahmen bekannt. Bei einem existierenden Gebäude, kann die Ausrichtung des Gebäudes natürlich nicht geändert werden. Ansonsten können alle anderen bekannten Maßnahmen, die bei einem Neubauten geplant werden, auch verwendet werden.

Die Kompaktheit des Gebäudes kann verbessert werden, um die Wärmeaustauschfläche zu verringern (Feist W. et al. 2001). Beispielsweise können Balkone in Wintergarten umgebaut werden. Das Objekt F weist die besten bauphysikalischen Merkmale (U_m der opaken Bauteile, U_m der transparenten Bauteile und charakteristische Länge) auf. Dazu war der Winter in Enns und Umgebung milder als in Vorarlberg. Somit ist es zu erwarten, dass der abgeschätzte HWB des Objekts F der niedrigste HWB der Stichprobe sein und es eine Diskrepanz geben soll.n, die das zusätzliche als Pufferräume wirken. Die Wärmedämmung (*Abk.* WD) der Außenwände, der Kellerdecke und der Obergeschossdecke kann verbessert werden, das heißt der Wärmedurchgangskoeffizient (*Abk.* U-Wert) der Außenwände soll 0,1 W/m².K, der der Kellerdecke 0,15 W/m².K, und der der Obergeschossdecke und der der Dachschräge soll 0,09 W/m².K betragen. Passivhaus-Komponenten insbesondere

1 Einführung

Passivhaus-Fenster und -Türe mit einem U-Wert von $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ werden eingesetzt. Die Wärmebrücken werden identifiziert und verringert. Eine kontrollierte Wohnraumlüftung (Abk. KWL) wird installiert, um die Wärme der Innenluft wieder zu verwerten.

1.3 Hintergrund

Wie das Nutzerverhalten die thermische Performance eines Gebäudes beeinflusst, wurde bereits in zahlreichen Publikationen und wissenschaftlichen Arbeiten veröffentlicht. Diese Werke konzentrieren sich auf das Nutzerverhalten, und den Zusammenhang zwischen diesem Verhalten und dem Heizenergieverbrauch.

1.3.1 Allgemeine über Nutzerverhalten und HWB

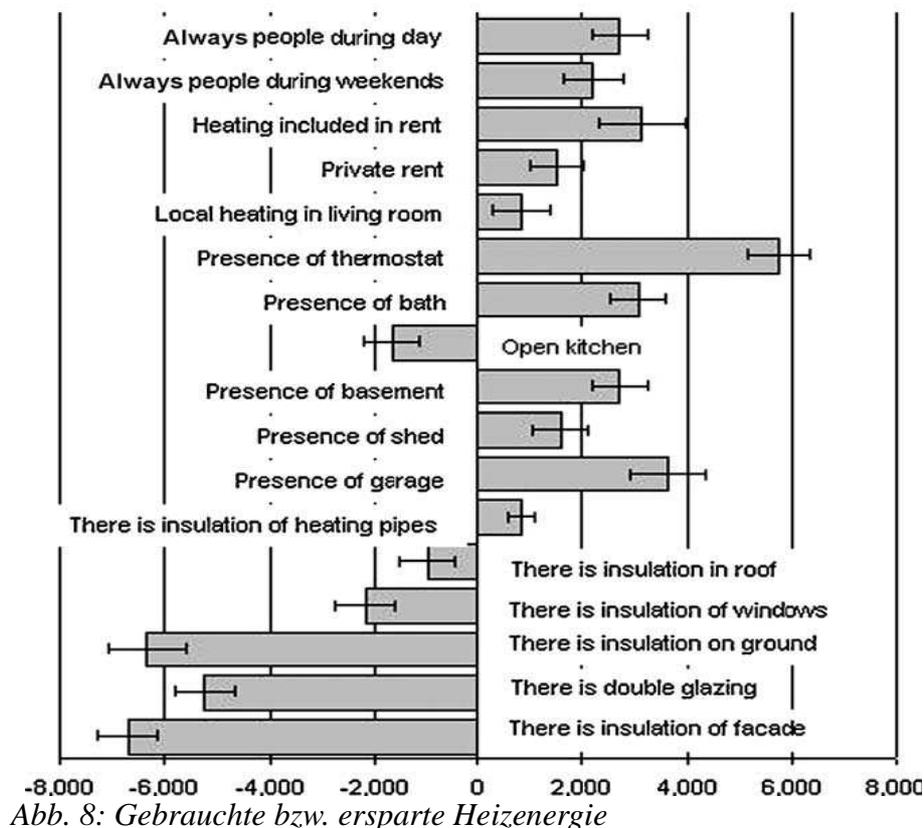


Abb. 8: Gebrauchte bzw. ersparte Heizenergie

1 Einführung

Das „Nutzerverhalten beeinflusst den Energieverbrauch in dem gleichen Ausmaß wie mechanischen Parameter (siehe Abb. 8). Dieses Verhalten führt zu doppelt so großen Schwankungen beim Energieverbrauch wie bei gleichwertigen MFH mit ähnlicher Ausstattung.“ (Guerra Santin O., Itard L., et al. 2009). Beispielsweise zeigt eine empirische Studie über 600 Wohnungen in Schweden, dass „die Innenlufttemperatur bei Wohnungen in Wohnhausanlage (Abk. WHA) mit einer gemeinsamen Gas- und Stromabrechnung um 2°C höher liegen, ist, damit beziehen sich diese Unterschiede wahrscheinlicher mehr auf das Nutzerverhalten als auf die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäuden.“ (Guerra Santin O. et al. 2009). Guerra Santin et al. berichten, dass es „keinen linearen Zusammenhang zwischen Energieverbrauch für die Heizung und den thermischen Merkmale eines Gebäudes gibt, sondern einen linearen Bezug zwischen Energieverbrauch für die Heizung und der Innentemperatur T_{mi} gibt.“ (Guerra Santin O. et al. 2009). Jedoch fehlen hier die Ausführungen über einen Vergleich der Einflussfaktoren, um die Wichtigkeit dieses Faktors T_{mi} abschätzen zu können. Der italienische Baustandard, der sich dem Passivhausstandard ähnelt, heißt „CasaClima Gold“ und soll einen HWB von 10 kWh/m².a nicht überschreiten. Das erste Mehrfamilienhaus „CasaClima Gold“ Italiens wurde in Bronzolo (Südtirol) gebaut und sollte einen HWB von 9 kWh/m².a erreichen. Jedoch lag der HWB für dieses Haus in der Heizperiode 2006/2007 bzw. 2007/2008 bei 42 kWh/m².a bzw. 57 kWh/m².a ermittelt. Diese Vervierfachung des (berechneten) HWB lässt sich auf das Lüftungsverhalten (Stoßlüftung und gekippte Fenster) während der ersten Heizperiode zurückführen. Lüftung, aber auch kalte Winter und technische Probleme mit dem Wärmetauscher der KWL hat die Versechsfachung des HWB während der zweiten untersuchten Heizperiode verursacht (Schmitt Y. et al. 2008a).

1.3.2 Nutzerverhalten und Lüftung

Ein der untersuchten Faktoren war das Nutzerverhalten in Bezug auf die LWZ,

1 Einführung

d.h. Stoßlüftung bzw. gekippte Fenster. Die Innentemperatur ist oft verschieden bei unterschiedlichen Typen von Gebäuden und Heizungssysteme bzgl. der Nutzerwünsche und -verhalten, welche auch von thermische Qualität des Gebäudes und vom Klima abhängen. Die Lüftung und die Luftinfiltration n_x sind wichtige Faktoren in Bezug auf die Energienutzung, weil sie bei thermisch effizienten Gebäuden den überwältigenden Anteil der Wärmeverluste darstellen (Guerra Santin O. et al. 2009).

Die Stoßlüftung bzw. die gekippten Fenster „stehen für einen großen Anteil der Luftwechselzahl bei bewohnten MFH“ (Guerra Santin O. et al. 2009). Iwashita und Akasaka nahmen Messungen von Lüftungsverhalten in Japan über. Sie haben herausgefunden, dass es große Unterschiede zwischen der mittleren LWZ bei Belegung von WHA und der mittleren LWZ bei unbelegten WHA (Türe und Fenster zu) gibt, und dass sich ein großer Anteil der gesamten LWZ (87%) auf das Nutzerverhalten bezieht“ (Iwashita G. und Akasaka H. 1997).

1.3.3 Nutzerverhalten bei energiesparenden Gebäuden

Eine Forschungsfrage ist, dass die thermische Leistung stark vom Nutzerverhalten bei energiesparenden Gebäuden beeinflusst wird. Eine Multifaktoren-Studie über energiesparende Häuser hatte gezeigt, dass das Nutzerverhalten zusammen mit dem Luftwechsel und der Raumtemperaturen eine Rolle bei dem HWB spielt. Diese Studie bezieht sich auf eine Stichprobe von 41 in Niedrigenergiehaus-Standard gebauten Doppel- und Reihenhäusern und von einem Reihen-Passivhaus (Richter W. et. al. 2003).

Es ergibt sich, dass eine Erhöhung der Raumtemperatur nur eine kleine Erhöhung des HWB und eine Erhöhung der Infiltrationsrate n_x (d.h. Fensterlüftung) zu einer entscheidenden Erhöhung des HWB führt. Bei einer Erhöhung von n_x von $+ 0,1 \text{ h}^{-1}$, erhöht sich der HWB absolut betrachtet von ca. $+ 7,6 \text{ kWh/m}^2\text{.a}$ und relativ betrachtet von ca. $+ 16 \% \dots 44 \%$.

1 Einführung

Die Sanierung eines Objekts (Mehrfamilienhaus) zum Passivhausstandard zeigt, dass die Raumtemperatur keine Anforderung der ÖNORM (d.h. 20 °C) erfüllt. „Einerseits wird der klimatische Einfluss herausgearbeitet, andererseits wurde bei zahlreichen Besuchen in den Wohnungen (vor allem bei Exkursionen) festgestellt dass die Raumtemperaturen im Mittel bei 23 °C bewegen, sodass auch dieser Einfluss dargestellt wird.“ (Domenig-Meisinger I. et al. 2007).

„Ein intensive energetischer Lebensstil hat bei einem sehr energiesparenden Gebäude einen größeren Einfluss als ein extensive energetischer Lebensstil bei einem weniger energiesparenden Gebäuden.“ (de Groot E. et al. 2008). Deswegen ist die Informierung der BewohnerInnen ein wichtiger Arbeitsschritt. (Reinberg G. et al. 2006).

Die Studie zeigt die Wichtigkeit der „Bereitschaft der Bewohner, die Fenster beizubehalten, als einen entscheidenden Faktor um Energie bei Passivhäuser zu sparen“, weil „regelmäßige Lüftung durch Fensteröffnung zwei Nachteile hat: bei der Fensterlüftung, steigt die Luftwechselzahl und die Luftfeuchtigkeit nimmt ab. Jedoch nimmt die Effizienz der Wärmerückgewinnung auch ab, welche zu einem bedeutsam höheren Anstieg an Energieverbrauch führt. Demzufolge ist die Bereitschaft der BewohnerInnen, die Fenster zuzuhalten, ein wichtiger Faktor“ (Schneiders J. et al. 2006) .

1.3.4 Nutzerverhalten und „Rebound-Effekt“

Noch ein wichtige Aspekt des Nutzerverhaltens ist der „Rebound-Effekt“ (Abprall-Effekt). Unter „Rebound-Effekt“ versteht man, dass das Einsparpotenzial von Effizienzsteigerungen nicht oder kaum veranschaulicht und insbesondere im Gebäudebereich die verbesserten Wärmeleistungen durch zunehmenden HWB ausgeglichen werden. Beispielsweise zeigt die rote Linie die theoretische Energieeinsparung, und die blaue Linie die tatsächliche Energieeinsparung (siehe Abb. 9). Der Unterschied ist der Rebound-Effekt.

1 Einführung

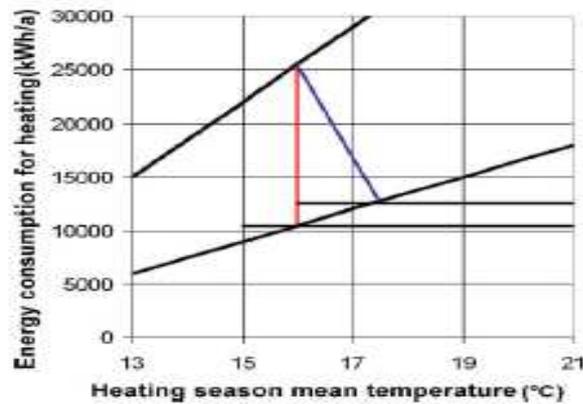


Fig. 1. Schematic representation of the rebound effect.

Abb. 9: Grafische Darstellung des Rebound-Effekts

Van Raaij und Verhallen haben 5 verschiedenen Verhaltensmuster definiert :
Sparende, Mittelnutzer, Verschwender, kühle Bewohner und warme Bewohner.

- die Sparenden kombinieren geringe Lüftung mit geringen mittleren Raumtemperaturen
- die Verschwender mögen hohe Lüftungsrate mit hohen mittleren Raumtemperaturen
- die Mittelnutzer stehen mehr oder weniger zwischen diesen beiden Verhalten
- die kühlen Bewohner lüften intensiv mit gemäßigter Heizung
- und die warme Bewohner lüften in mäßiger Weise mit intensiver Heizung

(Van Raaj F. und Verhallen T. 1985).

Die Zunahme des Energieverbrauchs zwischen Sparenden und Verschwendern liegt bei 38%. Die Sparenden haben ein höheres Level beim Interesse an Energie. Bei warmen Bewohner war der Komfort der Hauptgrund, um mehr zu heizen (Hens H. et al. 2010).

Ein merkbare Ergebnis war, dass der Energieverbrauch der kühlen Bewohner unabhängig von der Qualität der WD war. Und die anderen 4 Gruppen profitieren

1 Einführung

von einer guten WD. „Das Design modernen Gebäuden wird das Nutzerverhalten berücksichtigen müssen“ (Hoes P. et al. 2008).

1.3.5 Simulation von Nutzerverhalten

Bei den dynamischen Gebäudesimulationen steht ein Problem vor : die Aktivitäten der NutzerInnen. Die Schwierigkeit liegt bei der Modellierung von zufälligen Aktivitäten (Zimmermann G. 2007).

Die regelmäßigen Aktivitäten (wie sitzen beim Fernsehen, liegen in der Nacht, stehen beim Kochen, usw.) können vorprogrammiert werden, d.h. die Startuhr, die Dauer und die anderen bezogenen Parameter können in die Software eingetragen werden.

Jedoch können die zufälligen Aktivitäten (Innentemperaturänderungen mittels des Thermostats, Stoßlüftungen bzw. gekippte Fenster, usw.) schwierig bzw. nicht vorprogrammiert werden, obwohl sie eine große Rolle bei der thermischen Performance der Gebäuden spielen.

2. Methodologie der Untersuchung

2.1 Übersicht

Der erste wichtige Schritt war die Auswahl der Gebäuden, um eine Stichprobe zu erstellen. Zweckdienlich war die Datenbank der IG Passivhaus verwendet. Diese Fachverein verbreitet Grundkenntnisse über den Passivhausstandard und Informationen über die Passivhäuser (Neubauten und sanierte Gebäuden), die in Österreich liegen. Die sieben Gebäude der Stichprobe wurden in der Datenbank der IG Passivhaus ausgewählt.

Bezüglich der thermischen Leistung jedes Objektes, Der HWB nach der

2. Methodologie der Untersuchung

Sanierung ist anhand zwei Zahlen gegeben:

- der HWB kann mit einer Energieausweis-Ersteller-Software berechnet werden.

In dem Fall bezieht sich der HWB aus der Brutto-Geschossfläche,

- der HWB kann mit dem Passivhaus-Projektierungspaket (*Abk.* PHPP) berechnet werden. Die Berechnung ist auf „Nettoenergiebezugsfläche“ gegründet. Dieses Ergebnis wäre das Genauest, weil mehrere Details wie die Anwesenheit von Beschattung wie Bäume, die Leistung der Elektrogeräte, die Verfügung vom Grundwasser, usw. können als Parameter der Simulation eingestellt.

Die Stichprobe solle verschiedene Arten von Gebäude darstellen : Wohnhausanlage, Privathaushalt und Pensionistenheim (Pflegeheim). Diese Gebäude liegen in verschiedenen Regionen aus Österreich, um verschiedenen Klimazonen zu berücksichtigen. Der letzte Parameter der Auswahl war die Akzeptanz der BewohnerIn-nen, an der Studie teilzunehmen, insbesondere die Zustimmung bzgl. der Aufstellung der Hobo-Logger bei ihrer Wohnungen und bzgl. der Durchführung einer Umfrage über ihre Verhalten in ihrer Wohnungen.

2.2 Die Gebäude und ihre BewohnerInnen

2.2.1 Beschreibung der Auswahl der Gebäuden der Stichprobe

Sieben Gebäude waren anhand der folgenden Kriterien ausgewählt : die Gebäude sollten thermische saniert werden, um die Anforderungen des Passivhaus-Standards zu erfüllen oder annähernd zu erfüllen (siehe Abb. 10).

2. Methodologie der Untersuchung

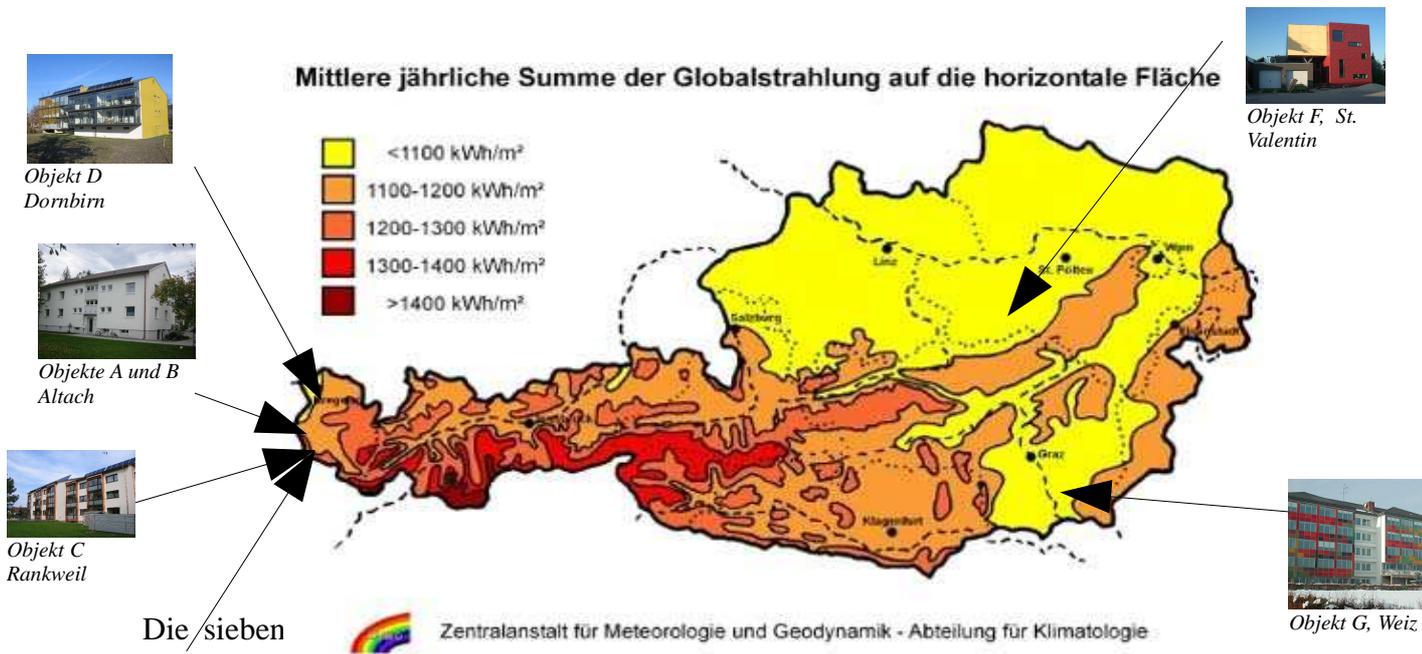


Abb. 10: Untersuchte Gebäude auf der Landeskarte Österreichs mit jährlicher Globalstrahlung

Diese Stichprobe entsteht aus sehr unterschiedlichen Gebäude. Beispielsweise mit 437,30 m³ und 134,40 m² beträgt das Objekt F das kleinste Volumen und die kleinste Fläche der Stichprobe, wenn das Objekt G mit 14.170,60 m³ und 4.988,00 m² das größte Volumen und die größte Fläche aufweist. Die Stichprobe entsteht aus vier Wohnhausanlagen (die Objekte A bis E), einem Privathaushalt mit der Aufstockung (das Objekt F) und einem Pensionistenheim (das Objekt G). Die Zeitspanne zwischen den ersten Sanierungen und der letzten Sanierungsarbeit ist mit 4 Jahren relativ klein : die ältesten Sanierungen haben im Jahre 2005 begonnen und die letzte Sanierung fand im Jahr 2009 statt (siehe Tab. 2).

Tab. 2: Hauptkennndaten der Objekte der Stichprobe; Teil 1

Bezeichnung der Objekte und Standort	Kennbuchstabe	Netto-Volumen [m ³]	Netto-Fläche [m ²]	Funktion	Sanierungsdatum
Zippersfeld 2, Altach	A	1.025,6	656,9	WHA	2007
Zippersfeld 4, Altach	B	1.110,8	417,0	WHA	2007
Schleipweg, Rankweil	C	4.005,0	1.450,4	WHA	2007
Fussenau-Wieden, Dornbirn	D	2.569,0	913,4	WHA	2008
Nagrاند-IIIstrasse, Nenzing	E	2.084,3	742,4	WHA	2009
Nelkenstrasse, St Valentin	F	437,3	134,4	Aufstockung	2005
Fuchsgrabengasse, Weiz	G	14.170,6	4.988,0	Pensionistenheim	2005

2. Methodologie der Untersuchung

Die Gebäude weisen in Bezug auf die thermischen Merkmale unterschiedliche Werte auf. Die mittleren U-Werte der opaken Bauteile bewegen sich bei 6 Objekte zwischen 0,110 W/m².K und 0,178 W/m².K. Nur der Wert des Objekts G entfernt sich mit 0,303 W/m².K von dieser Spanne. Die mittleren U-Werte der transparenten Bauteile bewegen sich zwischen 0,790 W/m².K und 1,230 W/m².K (siehe Tab. 3).

Tab. 3: Hauptkennndaten der Gebäuden der Stichprobe; Teil 2

Objekte	Um Opake Bauteile	Um transparente Bauteile	Fensteranteil	Lc	LEK-Wert
Einheit	[W/m ² .K]	[W/m ² .K]	[%]	[m]	[-]
A	0,173	0,842	10,03%	1,67	19,64
B	0,178	0,835	9,64%	1,69	19,6
C	0,117	0,876	11,67%	2,22	14,6
D	0,158	1,113	8,69%	2,17	17,32
E	0,142	0,792	10,82%	2,08	15,6
F	0,110	0,790	10,92%	1,43	16,12
G	0,303	1,230	17,75%	3,79	24,21

Bezüglich der Fensteranteile und der charakteristischen Längen entfernt sich das Objekt G auch mit 17,75 % für den Fensteranteil und 3,79 m für die Kompaktheit von den anderen Objekte. Der LEK-Wert bezieht sich auf die Transmissionswärmeverlusten und er weist beim Objekt G mit 24,21 den größten Wert und beim Objekt C mit 14,6 den besten Wert (siehe Tab. 3). Das Objekt G die größten mittleren U-Werte und die größte charakteristische Länge.

Das Objekt F weist die besten bauphysikalischen Merkmale (U_m der opaken Bauteile, U_m der transparenten Bauteile und charakteristische Länge) auf. Somit ist es zu erwarten, dass der abgeschätzte HWB des Objekts F der niedrigste HWB der Stichprobe aufweisen kann.

2.2.2 Objekte A und B

Die Vorarlberger gemeinnützige Wohnungsbau- und Siedlungsgesellschaft m.b.H. (Abk. Vogewosi) welche ihren Hauptsitz in Dornbirn hat, verwaltet in Vorarlberg

2. Methodologie der Untersuchung

mehrere WHA. Die Vogewosi hat eine umfassende thermische Sanierung ihrer WHA vor. Seit 2007 hat sie jedes Jahr einen Teil ihrer Gebäuden zum Passivhausstandard oder annähernd dem Passivhausstandard sanieren lassen. Das Ziel war hauptsächlich, Energiekosten zu verringern. Da das Land Vorarlberg die umfassenden thermischen Sanierungen mit Wohnbau-Förderungen unterstützt, hat die Vogewosi für die berücksichtigten Sanierungen Förderungen erhalten.

Die Vogewosi hat ein Programm von thermischer Sanierung mit den beiden Objekte A und B begonnen (siehe Abb. 11 und 12). Jedes Objekt besteht aus einem Gebäude mit acht Wohnungen, welche in Altach in 1968 erbaut wurden. Die Nutzfläche erreicht 580 m². Die beiden Gebäude sind dreigeschossig (vom Keller bis zum Obergeschoss). Beide haben die gleich Schichte-Struktur : einen Innenputz, eine 29 cm-dick Stahlbetonwand, eine 25 cm-starke WD und einen



Abb. 11: Auslegung der beiden untersuchten Objekte A (Blaue Stern) und B (Blaues Kreuz); GoogleMaps©

Außenputz. Der Hauptunterschied zwischen der beiden Gebäuden liegt in der Ausrichtung der Wintergärten.

2. Methodologie der Untersuchung



*Abb. 12: Objekt A, vor der Sanierung (l.),
nachher (r.)*

Im Objekt A befinden sich die Wintergärten sich auf der Südseite und der Ostseite (siehe Abb. 13). Im Objekt B sind die Wintergärten nur auf der Südseite (siehe Abb. 14).

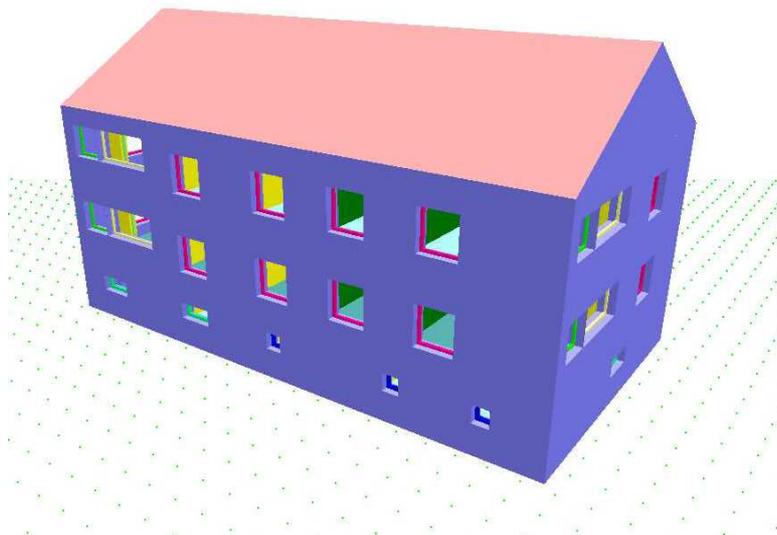


Abb. 13: Objekt A; Virtuelles Objekt

Die beiden Gebäude verfügen über einen modulierenden Gasbrennwertkessel (mit

2. Methodologie der Untersuchung

einer Nennleistung von 5 – 18 kW), eine KWL mit einer Wärmerückgewinnung (Abk. WRG) von 90 % und Flachdachkollektoren. Die gesamte Netto-Kollektorfläche beträgt 50 m². Die Kollektoren werden für die Warmwasserbereitstellung (Abk. WWB) und die Raumwärmeunterstützung (Abk. RWU) verwendet.

Tab. 4: Kenndaten des Objekts A

Standort	Objekt A	Beheizte Geschosse	2
		Anzahl der Wohnungen	4
		Baujahr	1968
		Sanierungsjahr	2007
Brutto-Volumen (beheizt)	1.367 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	475 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche	821 m ²	Kompaktheit A/V-Verhältnis	0,6 m ⁻¹
Gesamter Energiebedarf	34.682 kWh	Luftwechselzahl	0,14 h ⁻¹
Heizwärmebedarf	4.165 kWh	HGT	3528 Kd
Flächenbezogener Heizwärmebedarf	8,8 kWh/m ² .a	HT	219 d
Wärmeschutzklasse	A ++		

Die wichtigsten Maßnahmen waren : die WD der Außenwände zu vergrößern, thermische Brücken herauszufinden und sie durch WD zu verringern sowie die bestehenden Fenster durch Passivhausfenster mit Dreifachverglasung zu ersetzen. Die Kompaktheit des Gebäudes wurde durch die Umwandlung der Balkone in Wintergärten verbessert.

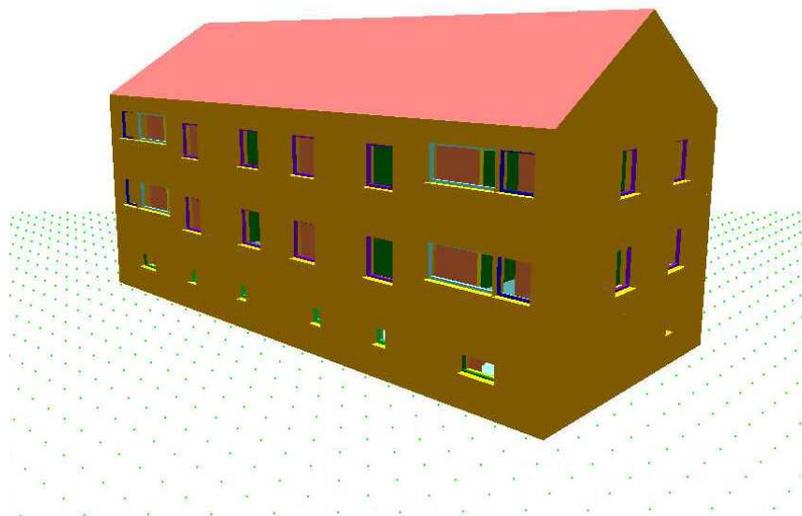


Abb. 14: Objekt B, virtuelles Objekt

2. Methodologie der Untersuchung

Tab. 5: Kenndaten des Objekts B

Objekt B		Beheizte Geschosse	2
		Anzahl der Wohnungen	4
		Baujahr	1968
		Sanierungsjahr	2007
Brutto-Volumen (beheizt)	1.481 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	512,2 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche	880,46 m ²	Kompaktheit A/V-Verhältnis	0,59 m ⁻¹
Gesamter Energiebedarf	36.195 kWh	Luftwechselzahl	0,14 h ⁻¹
Heizwärmebedarf	4.725 kWh	HGT	3528 Kd
Flächenbezogener Heizwärmebedarf	9,22 kWh/m ² .a	HT	219 d
Wärmeschutzklasse	A ++		

Die Architektin, Fr. DI Dr. A. Vogel-Sonderegger hat die umfassende thermische Sanierung, welche 2007 durchgeführt wurde, geplant. Vor der Sanierung lag der HWB bei 190,00 kWh/m².a. Nachher soll er laut der beiden Energieausweise bei 8,77 kWh/m².a beim Objekt A (siehe Tab. 4) und 9,22 kWh/m².a beim Objekt B (siehe Tab. 5) liegen. Diese beiden Gebäude sind die zwei Objekte der Stichprobe, die die Energiekennzahl (*Abk.* EKZ) eines Passivhauses erfüllen. Das Ziel der Sanierung war den „Faktor 10“ zu erreichen, d.h. den vorhandenen Energieaufwand um einen Faktor 10 zu verringern. Tatsächlich soll die Sanierung jenseits dieses Ziels von 190 bis 17 kWh/m².a liegen.

Das Wohnzimmer und die Küche einer Wohnung pro Gebäude wurden in dem Fall untersucht. Die beiden Wohnungen liegen beim ersten Obergeschoss eines jeden Gebäudes.

2.2.3 Objekt C

Danach hat die Vogewosi in 2007 die umfassende thermische Sanierung des Objekts C (siehe Abb. 15 und 16) in Rankweil vorgenommen. Die WHA entsteht aus einem Gebäude mit 18 Wohnungen. Sie wurde 1978 erbaut. Die Nutzfläche erreicht 1.414 m². Das Gebäude ist in 4 Geschosse (von Kellergeschoß bis zum 2. Obergeschoss) aufgeteilt.

2. Methodologie der Untersuchung



Abb. 15: das zum Passivhausstandard sanierte Objekt C (Blaue Stern); GoogleMaps©

Das Gebäude verfügt über einen modulierenden Gas-Brennwertkessel (mit einer Nennleistung von 12 – 65 kW), eine KWL mit einer WRG von 85 % und Flachdach-kollektoren. Die gesamte Netto-Kollektorfläche beträgt 72 m². Die Kollektoren werden für die WWB und die RWU verwendet.

Die Frau Vogel-Sonderegger hat auch diese Sanierung geplant und den Heizwärmbedarf berechnet. Vor der Sanierung lag der HWB bei 192,00 kWh/m².a. Nachher sollte er bei 10,80 kWh/m².a nach dem Energieausweis und bei 16,30 kWh/m².a laut der PHPP (siehe Tab. 6) liegen. Diese WHA ist kein Passivhaus, aber ihr HWB berührt fast die EKZ eines Passivhauses.

Tab. 6: Kenndaten des Objekts C

Objekt C		Beheizte Geschosse	3
		Anzahl der Wohnungen	18
		Baujahr	1978
		Sanierungsjahr	2007
Brutto-Volumen (beheizt)	5.340 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	1.813 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche	2403 m ²	Kompaktheit A/V-Verhältnis	0,45 m ⁻¹
Gesamter Energiebedarf	121.196 kWh	Luftwechselzahl	0,1 h ⁻¹
Heizwärmebedarf	20.131 kWh	HGT	3705 Kd
Flächenbezogener Heizwärmebedarf	11,1 kWh/m ² .a	HT	225 d
Wärmeschutzklasse	A +		

2. Methodologie der Untersuchung

Die wichtigsten Maßnahmen waren die Aufbringung einer zusätzlich 25 cm starken WD an den Außenwänden, einer zusätzlich 18 cm starken WD an der obersten Geschossdecke, einer zusätzlich 20 cm starken WD an der Kellerdecke und die Erneuerung der Wohnungs- und Stiegenhausfenster mit 3-fach-Verglasungsfenster. Die Kompaktheit des Gebäudes wurde verbessert, um die thermischen Austauschfläche zu reduzieren.

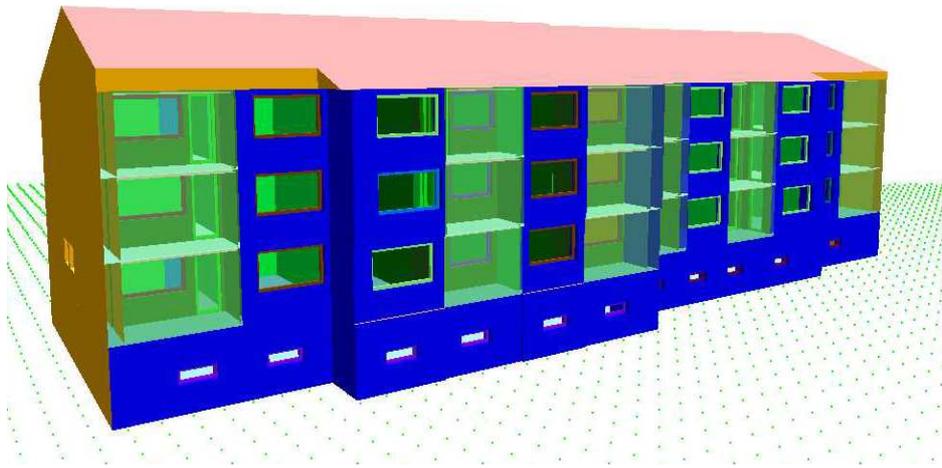


Abb. 16: Objekt C, virtuelles Objekt

In dem Fall wurden 2 Wohnungen untersucht, das Wohnzimmer mit Küche und ein Schlafzimmer. Bei einer Wohnung ist die Küche und das Wohnzimmer ein einziger Raum. Bei der anderen Wohnung gibt es keine Tür zwischen dem Wohnzimmer und der Küche. Deshalb wurden diese beiden Räume als eine einheitliche Zone bei der Simulation betrachtet. Eine Wohnung liegt im ersten, die andere im zweiten Obergeschoss. Und beide Wohnungen sind auf der westlichen Seite des Gebäudes.

2.2.4 Objekt D

Die WHA in Dornbirn wurde im Jahre 1978 erbaut und im Jahre 2008 saniert. Sie entsteht aus fünf Gebäuden mit insgesamt 54 Wohnungen, einer gesamten

2. Methodologie der Untersuchung

Nutzfläche von 4.460 m² und einer gesamten Brutto-Geschossfläche von 6.109 m².

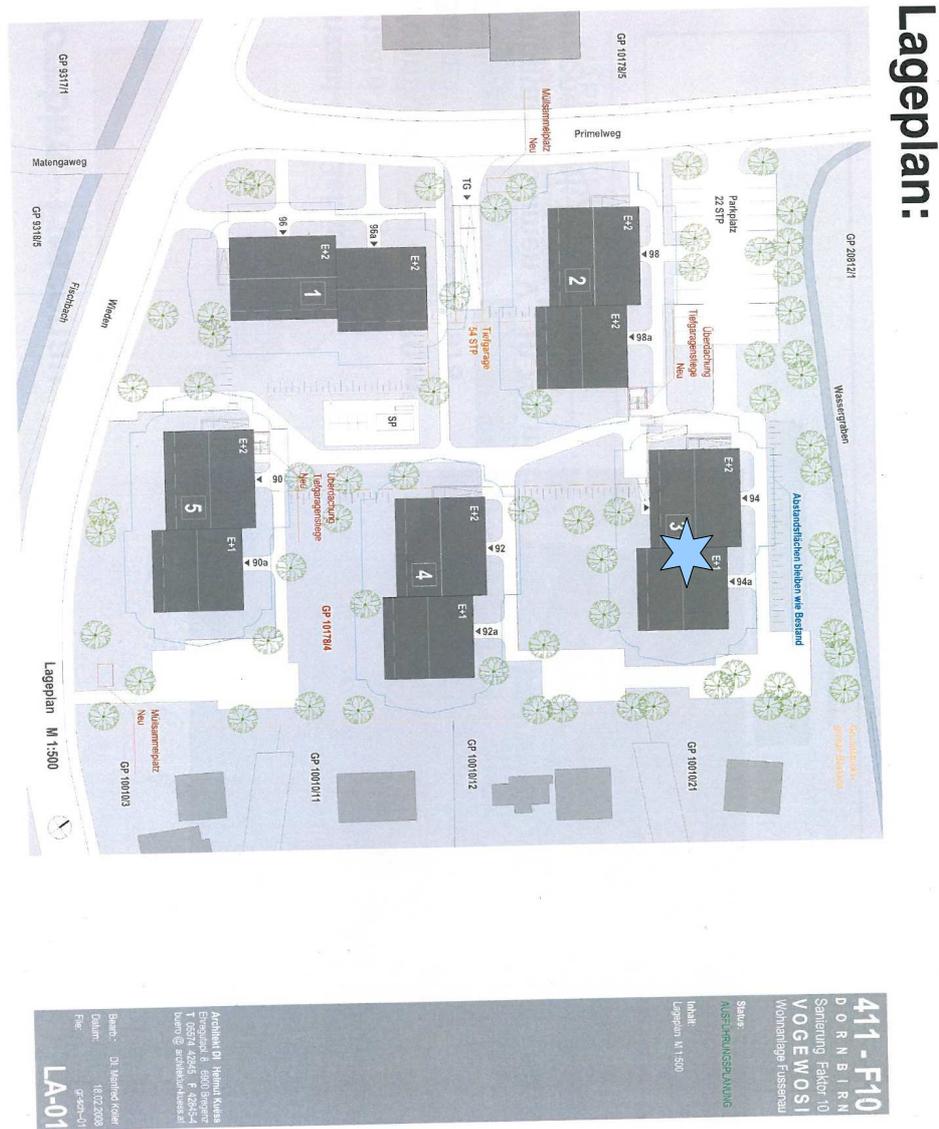


Abb. 17: Lageplan der 5 zum Passivhausstandard sanierten Gebäuden der WHA; das untersuchte Objekt D (Blaue Stern)

Die WHA entsteht aus fünf Gebäuden : Wieden 90-90a, Wieden 92-92a, Wieden 94-94a, Wieden 96-96 a und Wieden 98-98a. Es wurde nur das Gebäude Wieden 94-94a untersucht (siehe Abb. 17, 18 und 19).

2. Methodologie der Untersuchung



Abb. 18: ein Gebäude der WHA, nach der Sanierung

Die fünf Gebäude haben dieselbe Architektur und sind viergeschossig (vom Kellergeschoss bis zum 2. Obergeschoss). Vor der Sanierung entsteht die Fassade aus mehreren Schichten : dem Innenputz, einer 9 cm-dick Ziegelwand, einer 3 cm-starke WD, einer 25 cm-dick Ziegelwand und einem Außenputz. Während der Sanierungsbauserien wurden eine 25 cm-dicke WD und ein Außenputz auf der Fassade geklebt. Alle fünf Gebäude verfügen über einen modulierenden Gasbrennwertkessel (mit einer Nennleistung von 8,8 – 44,7 kW), eine KWL mit einer WRG von 85 % und Flachdachkollektoren. Die Netto-Kollektorfläche beträgt 35 m² pro Gebäude. Die Kollektoren werden für die WWB und die RWU genutzt.

2. Methodologie der Untersuchung

Tab. 7: Kenndaten des Objekts D

Objekt D		Beheizte Geschosse	3
		Anzahl der Wohnungen	12
		Baujahr	1978
		Sanierungsjahr	2008
Brutto-Volumen (beheizt)	3.425 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	1.142 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche	1576 m ²	Kompaktheit A/V-Verhältnis	0,46 m ⁻¹
Gesamter Energiebedarf	64.051 kWh	Luftwechselzahl	0,25 h ⁻¹
Heizwärmebedarf	17.575 kWh	HGT	3.647 Kd
Flächenbezogener Heizwärmebedarf	15,39 kWh/m ² .a	HT	225 d
Wärmeschutzklasse	A		

Der Architekt Herr DI W. Küss hat die Sanierung geplant. Und die Firma Planungsteam E-Plus hat den HWB berechnet. Vor der Sanierung lag der HWB bei 206,00 kWh/m².a. Er sollte bei 15,39 kWh/m².a laut des „Energieausweises Vorarlberg“ und bei 23,00 kWh/m².a laut der PHPP (siehe Tab. 7) liegen. Die fünf Gebäude der WHA erreichen nicht die EKZ eines Passivhauses.

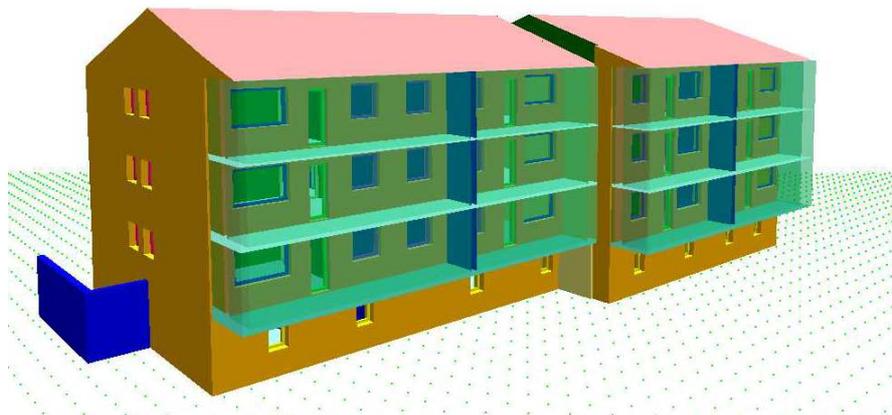


Abb. 19: Objekt D, virtuelles Objekt

Vor der Sanierung wurde eine Wärmebild-Kamera benutzt, um die Wärmebrücken herauszufinden (siehe Abb. 20). 82 Wärmebilder der 5 Gebäuden wurden am 19.03.2009 in der Nacht (zwischen 22:04 und 23:05) mit einer Außentemperatur

2. Methodologie der Untersuchung

von 0°C aufgenommen. Es wurde nur das Gebäude 94-94a und in diesem Fall zwei Wohnungen untersucht. Eine Wohnung liegt im 2. Obergeschoss, die andere im 1. Geschoss und jeweils ein Schlafzimmer und ein Wohnzimmer.

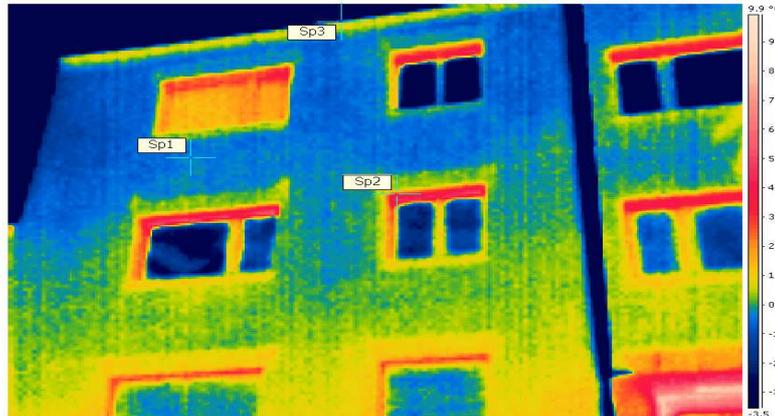


Abb. 20: Wärmebild; Untersuchung der Wärmebrücken anhand einer Wärmebild-Kamera; vor der Sanierung

2.2.5 Objekt E

Mit der Sanierung der WHA in Nenzing (siehe Abb. 21 und 22) wurde im Jahre 2008 begonnen und wurde im Jahre 2009 beendet. Die WHA entsteht aus zwei Gebäuden mit neun Wohnungen je Gebäude, welche 1975-76 erbaut wurden. Nur eines des Gebäudes wurde untersucht. Die gesamte Nutzfläche erreicht 1.463 m². Die zwei Gebäude haben dieselbe Architektur und sind in vier Geschosse (vom Keller bis zum 2. Obergeschoss) aufgeteilt.

2. Methodologie der Untersuchung



Abb. 21: die beiden zum Passivhausstandard sanierten Gebäude der WHA; das untersuchte Objekt E (Blaue Stern); GoogleMaps©

Vor der Sanierung wird die Fassade aus verschiedenen Schichten gestaltet : einem Innenputz, einer 29 cm Hochlochziegelwand und einem Außenputz. Während der Sanierung wurden ein 1 cm-dick Klebstoff, eine 26 cm Schichte WD, eine Armierschicht und ein andere Außenputz auf der Fassade geklebt. Die thermischen Brücken wurden mittels Thermografieaufnahmen sichtbar gemacht und wurden stark verringert.

Tab. 8: Kenndaten des Objekts E

Objekt E	Beheizte Geschosse	3	
	Anzahl der Wohnungen	9	
	Baujahr	1975	
	Sanierungsjahr	2009	
Brutto-Volumen (beheizt)	1.367 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	475 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche	821 m ²	Kompaktheit A/V-Verhältnis	0,48 m ⁻¹
Gesamter Energiebedarf	53.528 kWh	Luftwechselzahl	0,14 h ⁻¹
Heizwärmebedarf	10.591 kWh	HGT	3801 Kd
Flächenbezogener Heizwärmebedarf	11,42 kWh/m ² .a	HT	234 d
Wärmeschutzklasse	A +		

2. Methodologie der Untersuchung



Abb. 22: *Untersuchtes Objekt E*

Die beiden Gebäude verfügen über einen modulierenden Gasbrennwertkessel (mit einer Nennleistung von 12 – 65 kW), eine KWL mit einer WRG von 85 % und Flachdach-Kollektoren. Die Netto-Kollektorfläche beträgt 40 m² pro Gebäude. Die Kollektoren werden für die WWB und die RWU verwendet.

Der Architekt Herr P. Köck hat die Sanierung geplant und Ingenieur Herr W. Caser hat die Berechnung des HWB vorgenommen. Vor der Sanierung betrug der HWB 220,00 kWh/m².a. Und er sollte 11,42 kWh/mm².a laut des „Energieausweises Vorarlberg“ (siehe Tab. 8) erreichen. In diesem Fall sind die Gebäude kein Passivhaus, sondern fast Passivhäuser.

Es wurden zwei Wohnungen des Gebäudes untersucht. Eine Wohnung aus dem Erdgeschoss liegt und die andere im 2. Obergeschoss. Es wurden jeweils ein Wohnzimmer und ein bewohntes Schlafzimmer untersucht. In beiden Fälle gab es ein unbewohntes Schlafzimmer.

2. Methodologie der Untersuchung

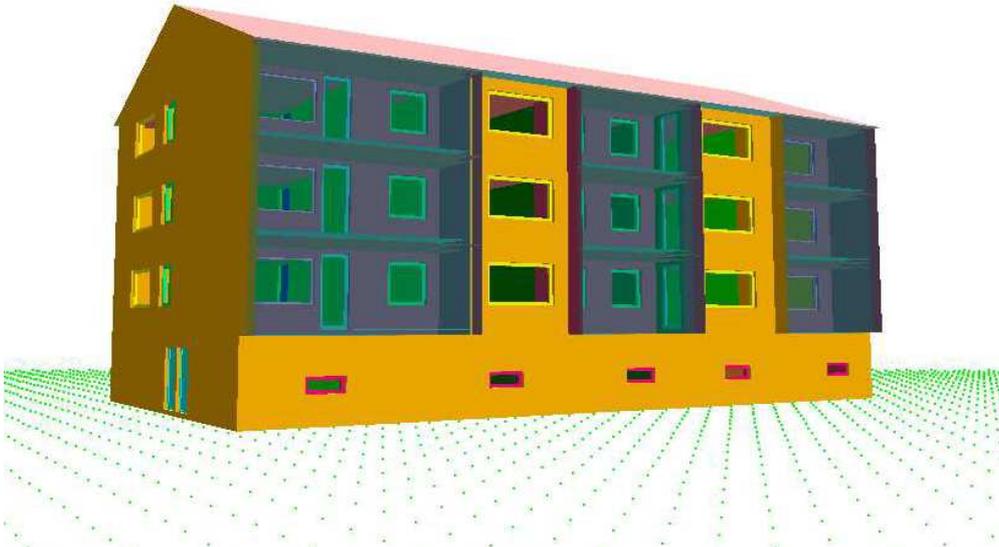


Abb. 23: Objekt E, virtuelles Objekt

2.2.6 Objekt F

Der Privathaushalt ist eine Aufstockung auf einem erdgeschossigen EFH gebaut (siehe Abb. 24 und 25). Nach der Sanierung ist das Haus ein zweigeschossiges Zweifamilienhaus geworden (siehe Abb. 26).



Abb. 24: Bungalow vor der Sanierung



Abb. 25: Selbes Haus, während der Baustelle

2. Methodologie der Untersuchung



Abb. 26: Zweifamilienhaus am Ende der Baustelle (Nordfassade), die Wohnung der Aufstockung (hell gelb), das Stiegenhaus (rot)

Die Wohnung des Erdgeschosses wurde zum Niedrigenergiehaus-Standard (d.h. HWB < 50 kWh/m².a) saniert und die Wohnung des neuen Obergeschosses zum Passivhaus-Standard gebaut. Das Zweifamilienhaus liegt in Sankt Valentin (Niederösterreich). Das Haus wurde im Jahre 1985 erbaut, die Sanierung und die Aufstockung fanden 2005 statt. Die Aufstockung wurde nach den Prinzipien des Passivhauses konzipiert. Das Haus verfügt über einen Heizölkessel (mit einer Nennleistung von 22 kW) und KWL mit einer WRG (größer als 80 %). Beispielsweise wurde die Kompaktheit verbessert. Und der größte Anteil der Fensterfläche liegt auf der Südseite. Außer den Fenstern des unconditionierten Stiegenhauses, gibt es auf der Nordseite kein Fenster (siehe Abb. 26 und 27).

2. Methodologie der Untersuchung

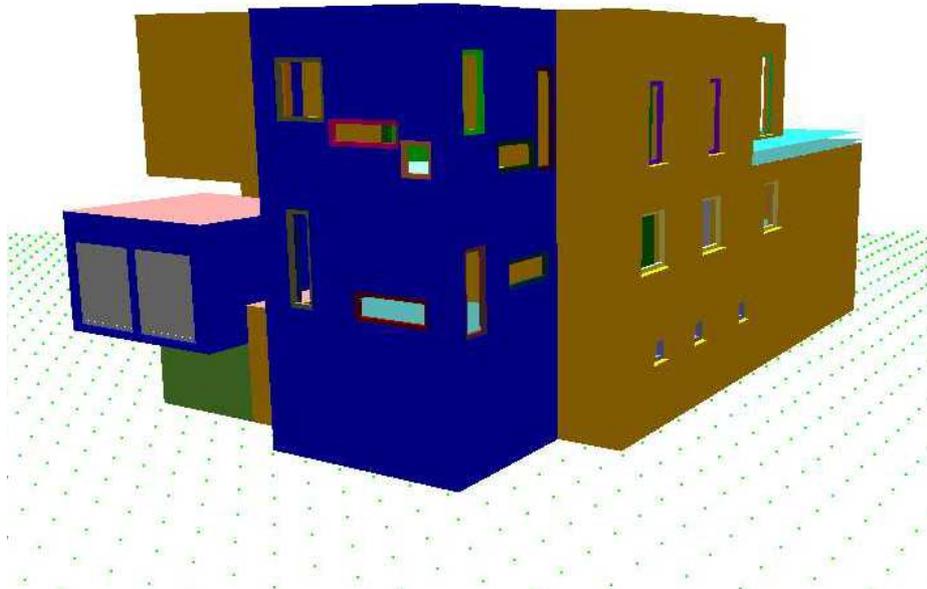


Abb. 27: Objekt F; Virtuelles Objekt

Tab. 9: Kenndaten des Objekts F

Objekt F		Beheizte Geschosse	1
		Anzahl der Wohnungen	1
		Baujahr	1985
		Sanierungsjahr	2005
Brutto-Volumen (beheizt)	583 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	168 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche	409 m ²	Kompaktheit A/V-Verhältnis	0,7 m ⁻¹
Gesamter Energiebedarf	5.688 kWh	Luftwechselzahl	0,1 h ⁻¹
Heizwärmebedarf	2.827 kWh	HGT	3.619 Kd
Flächenbezogener Heizwärmebedarf	16,83 kWh/m ² .a	HT	216 d
Wärmeschutzklasse	A		

Die Nutzfläche der Wohnung beträgt 165 m². Der HWB sollte 17 kWh/mm².a laut des „Energieausweises Niederösterreich“ und 12,00 kWh/m².a laut der PHPP aufweisen (siehe Tab. 9). In der Wohnung des Erdgeschosses nahm der HWB von 170 bis 52 kWh/m².a laut OIB-Excel-Blatt, und von 175 bis 44 kWh/m².a laut der PHPP ab. Die Planung der Aufstockung (siehe Abb. 28) und die Berechnung des HWB wurden vom Bewohner selbst durchgeführt. Es wurden die Küche, das

2. Methodologie der Untersuchung

Schlafzimmer der Eltern und das Wohnzimmer untersucht.

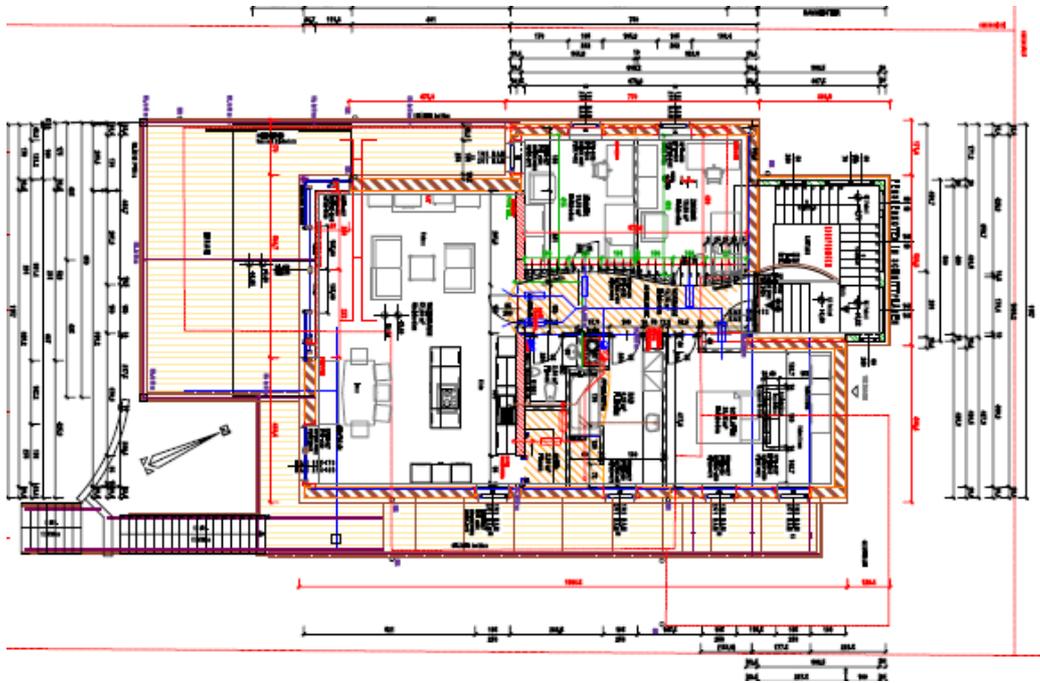


Abb. 28: Ausführungsplan des Objekts F

2.2.7 Objekt G

Das Objekt G (siehe Abb. 29 und 30) wurde im Jahre 1975 erbaut und im Jahre 2005 mit Passivhaus-Komponenten saniert. Das Gebäude besteht aus 76 Zimmer, zwei Büroräumen, einem großen Wohnzimmer, einer Mensa, einem Waschraum, acht Lagerräume (davon zwei Kälteräume) und einer Kapelle. Neben dem Hauptgebäude wurde ein eiförmiges erdgeschossiges Gebäude, das als Cafeteria steht, erbaut. Die Nutzfläche erreicht 4.978 m², die Brutto-Geschloßfläche 5.956 m², auf fünf Geschosse aufgeteilt (vom Untergeschoss bis zum dritten Obergeschoss).

2. Methodologie der Untersuchung



Abb. 29: Objekt G während der Sanierung (l.), nach der Sanierung (r.)

Das Gebäude wird mit Fernwärme von der Fernwärme Weiz GmbH versorgt. Das Heim verfügt über vier Lüftungsanlagen : eine für die Zimmer mit einer WRG von 70 %, eine für die Großküche mit einer WRG von 70 %, eine für die Wäscherei mit einer WRG von 90 % und eine für die Cafeteria mit einer WRG von 90 %. Das Heim ist mit Flachdachkollektoren ausgestattet. Diese Kollektoren werden nur für die WWB genutzt.



Abb. 30: Objekt G, Virtuelles Objekt

Vor der Sanierung lag der Heizwärmebedarf bei 156,90 kWh/m².a. Laut der Passivhaus-Vorprojektierung (PHVP), sollte der HWB nach der Sanierung 11,62 kWh/m².a nach dem bauphysikalischen Nachweis (siehe Tab. 10) und 26,30

2. Methodologie der Untersuchung

kWh/m².a nach der Passivhaus-Vorprojektierung und dem Schlußbericht (Kaltenegger E. 2009) erreichen.

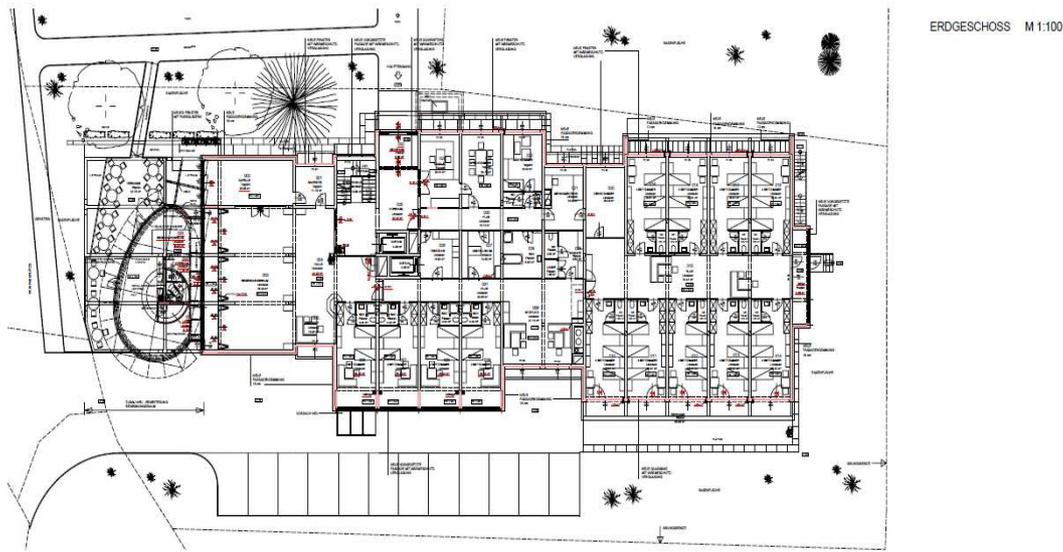


Abb. 31: Auslegungsplan des Objekts G

In beiden Fällen erfüllt der HWB des Heims nicht die Energiekennzahl eines Passivhauses. In dieser Studie wird der Wert des Nachweises verwendet. Die Sanierung wurde vom Architektenbüro Kaltenegger (Passail, Steiermark) konzipiert. Die wichtigsten Maßnahmen waren das Aufbringen einer zusätzlich 16 cm starken WD an den Außenwänden, einer zusätzlich 22cm starken WD an der Obergeschossdecke, einer zusätzlich 16 cm starken WD an der Fußbodendecke, die Entdeckung der thermischen Brücken mittels Wärmebilder und ihre Verringerung durch zusätzlich 8 bis 16 cm starken WD, die Erneuerung der Fenster durch dreifache Verglasung-Passivhausfenster.

2. Methodologie der Untersuchung

Tab. 10: Kenndaten des Objekts G

Objekt G		Beheizte Geschosse	4
		Anzahl der Zimmer	76
		Baujahr	1975
		Sanierungsjahr	2005
Brutto-Volumen (beheizt)	18.894 m ³	Bruttogeschossfläche (beheizt)	6.235 m ²
Wärmeabgebende Gebäudehüllfläche	4.984 m ²	Kompaktheit A/V-Verhältnis	0,26 m ⁻¹
Gesamter Energiebedarf	430.500 kWh	Luftwechselzahl	0,13 h ⁻¹
Heizwärmebedarf	63.794 kWh	HGT	3714 Kd
Flächenbezogener Heizwärmebedarf	11,62 kWh/m ² ·a	HT	211 d
Wärmeschutzklasse	A +		

Die Kompaktheit des Gebäudes wurde verbessert, um die thermische Verluste zu vermeiden. Mehrere Solarkollektoren waren auf dem Dach des Heims eingesetzt. Drei Zimmer und ein Erholungsraum gegenüber einer Fensterwand wurden untersucht. Vom Erdgeschoss bis zum 2. Obergeschoss wurden Zimmer untersucht. Der Erholungsraum liegt im 3. Obergeschoss.

2.2.8 Die BewohnerInnen

Bei den Objekte A bis E sind die BewohnerInnen MieterInnen. Die BewohnerInnen der 16 untersuchten Wohnungen sind wie folgt aufgeteilt:

- zwei ledige Pensionistinnen,
- eine Pensionistin mit ihrem Sohn und ihrem Enkelkind,
- drei Pensionisten-Paare,
- und zwei Paare mit Kindern.

Alle BewohnerInnen wohnten schon vor Ort vor der Sanierung.

Beim Objekt F wohnt ein Paar mit seinen zwei jungen Söhnen in der Wohnung im Obergeschoss (Aufstockung). Und ein Paar in der Wohnung im Erdgeschoss. Die Bewohner sind Eigentümer. Der männliche Elternteil hat die Sanierung des ganzen Hauses selbst konzipiert. Und es befürworteten deswegen alle Erwachsene bewusst Merkmale eines Passiv- bzw. Niedrigenergiehaus.

2. Methodologie der Untersuchung

Beim Objekt G wohnten 115 PensionistInnen. Die MitarbeiterInnen des Heims wohnen nicht vor Ort. Deswegen waren die 3 untersuchten Zimmer von PensionistInnen besetzt. Der Erholungsraum wird ab und zu von einer bis drei PensionistInnen gleichzeitig benutzt. Die meisten der Personen, die vor Ort wohnen bzw. arbeiten, sind sich nicht besonders bewusst, dass das Heim zum energiesparenden Baustandard saniert wurde. Laut Direktors des Heimes wird die Bequemlichkeit bevorzugt. Danach werden die Energieeinsparungen berücksichtigt.

2.3 Datensammlung

Die Daten wurden mit Hilfe von sechs verschiedenen Methoden gesammelt : Daten-Logger, thermische Simulation, Wetterdaten, Energieabrechnung und Solarertrag-Abschätzung (ggf.), Energieausweise bzw. bauphysikalischen Nachweis und Umfragen.

2.3.1 Daten-Logger

Für die Messungen in den untersuchten Wohnungen wurde als Daten-Logger der Hobo® U12-012 (siehe Abb. 32) verwendet. Dieses Gerät wurde vorwiegend bei



Abb. 32: Hobo-logger U12-012

2. Methodologie der Untersuchung

der Innentemperatur-Messungen eingesetzt. Die relativen Luftfeuchtigkeit und die Lichtintensität wurden ebenso mit dem Daten-Logger gemessen. Der Hobo-Logger kann die Messungen über einen Zeitraum aufzeichnen, dessen Zeitintervall sich zwischen zwei Messungen befindet. In dieser Studie wurde ein Zeitintervall von 15 Minuten eingesetzt.

Bei einem solchen Intervall und der vorhandenen Speicherkapazität des Geräts, war es notwendig, alle zwei Monate die Daten abzuspeichern. Anschließend mussten die Daten-Logger wieder eingeschaltet werden, um die Ladekapazität der Batterie zu prüfen. Es wurden vier-und-zwanzig Daten-Logger während der gesamten offiziellen Heizperiode 2009/2010 (vom 1. Oktober 2009 bis zum 30. April 2010) verwendet. Und diese wurden wie folgt aufgeteilt:

- vier Stücke pro Vorarlberger Objekt (Objekt A bis E), mit zwei Stücke pro untersuchte Wohnung und zwei untersuchten Wohnungen pro WHA,
- drei Stücke beim Objekt F : eins in dem Wohnzimmer, eins in dem Badezimmer und eins in dem Schlafzimmer,
- fünf Stücke in dem Objekt G, davon vier Stücke in drei Zimmer. Das letzte Stück wurde in einem Erholungsraum aufgesetzt. Vom EG bis zum 3. OG wurde es mindestens einen Daten-Logger aufgesetzt. Es gab einen aufgesetzten Daten-Logger pro Himmelsausrichtung (Nord, Ost, Süd und West).

Die Daten-Logger wurden vorwiegend in der mittleren Raumhöhe auf ein Möbelstück oder auf einer Wand aufgestellt. Die Batterien von zwei Daten-Logger waren bedauerlicherweise während der Messperiode leer. Davon waren eine Wohnung des Objekts E und ein Zimmer des Objekts G betroffen. Die Batterien wurden nach Feststellung ersetzt. Doch fehlen leider dadurch Messdaten von zwei Wochen. Zusätzlich mussten drei Hobo-Logger während der Heizperiode verschoben werden. Bei zwei Testzimmer des Objekts G war der Grund ein Umbau. Der Dritte Fall war eine Wohnung des Objekts D. Hier war der Daten-Logger an einer nicht geeigneten Stelle.

2. Methodologie der Untersuchung

2.3.2 Wetterdaten

Die Wetterdaten spielen bei den Messungen eine wesentliche Rolle, da das Klima einen starken Einfluss auf die verschiedenen Bauwerke hat, insbesondere auf den Energieverbrauch und das Nutzerverhalten. Alle Wetterdaten wurden von fünf Wetterstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (*Abk.* ZAMG) gemessen und übernommen. Wenn es an einem Ort der Stichprobe keine Wetterstation gab, so wurde die nächste Wetterstation dieses Ortes ausgewählt. Für die Objekte A, B und D wurden die Daten der Dornbirner Wetterstation benutzt. Für das Objekt C die Daten der Wetterstation Feldkirch. Die Daten der Wetterstation Bludenz für das Objekt E. Für das Objekt F die Daten der Wetterstation Enns. Für das Objekt G die Daten der Wetterstation Weiz. Die von der ZAMG zugeschickten Wetterdaten befanden sich in Dateien des csv-Formates und enthielten die folgenden Angaben - z.B. die Daten von Bludenz (siehe Tab. 11):

- die Nummer der Wetterstation unter der Bezeichnung „statnr“
- das Datum der Messungen unter „datum“
- die Uhrzeit der Messungen unter „stdmin“
- die Außentemperatur [in 0,1 . °C] unter „tl“
- die relative Luftfeuchtigkeit [in %] unter „rf“
- die Sonnenscheindauer [in s] unter „so“
- die Windausrichtung [in °] unter „dd“
- die Windgeschwindigkeit [in m/s] unter „ff“
- die globale Sonneneinstrahlung [in W/m²] unter „glo“

Bzgl. der Erstellung der TAS-Wetterdateien sind alle Angaben bis auf die Angabe der Sonnenscheindauer notwendig. Bzgl. der Analyse der Messungen sind die wichtigsten Angaben der Ort (d.h. „statnr“), das Datum, die Uhrzeit und die Außentemperatur.

2. Methodologie der Untersuchung

Tab. 11: Wetterdaten der Wetterstation Nr. 11102 (Bludenz)

statnr	datum	stdmin	tl	dd	ff	rf	so	glo
11102	20100501	250	130	125	16	81	0	0
11102	20100501	300	128	139	13	81	0	0
11102	20100501	310	125	119	9	83	0	0
11102	20100501	320	121	160	6	86	0	0
11102	20100501	330	117	189	5	88	0	0
11102	20100501	340	116	268	6	90	0	0
11102	20100501	350	113	207	4	91	0	0
11102	20100501	400	112	108	3	91	0	0
11102	20100501	410	109	241	7	92	0	0
11102	20100501	420	109	209	5	93	0	7
11102	20100501	430	106	138	8	93	0	20
11102	20100501	440	107	152	6	92	0	27
11102	20100501	450	108	286	6	93	0	27
11102	20100501	500	106	147	9	94	0	41
11102	20100501	510	105	144	8	94	0	41
11102	20100501	520	106	225	11	94	117	55
11102	20100501	530	114	281	2	91	600	171
11102	20100501	540	117	158	1	88	600	198
11102	20100501	550	121	124	3	88	600	239
11102	20100501	600	124	22	4	87	600	273
11102	20100501	610	128	268	4	86	600	293
11102	20100501	620	132	230	3	84	600	321
11102	20100501	630	133	358	8	82	600	355
11102	20100501	640	136	309	4	80	600	409
11102	20100501	650	138	82	6	78	600	355
11102	20100501	700	139	120	5	80	600	314
11102	20100501	710	148	123	7	77	600	389
11102	20100501	720	151	127	10	77	600	457
11102	20100501	730	148	145	12	77	600	368
11102	20100501	740	148	148	10	76	241	300
11102	20100501	750	157	195	6	72	600	471

2.3.3 thermische dynamische Gebäudesimulation

Anhand der Polierpläne und der Wetterdaten, wurde eine thermische dynamische Gebäudesimulation jedes untersuchten Objektes mit Tas Building Designer (Version 9.1.3a) durchgeführt, um die thermische Leistung dieser Gebäuden abzuschätzen.

2. Methodologie der Untersuchung

Zuerst wurden die Geometrie aller Gebäude im Tas-3D-Modeller gezeichnet (siehe Abb. 33) und ihre Ausrichtung eingegeben.

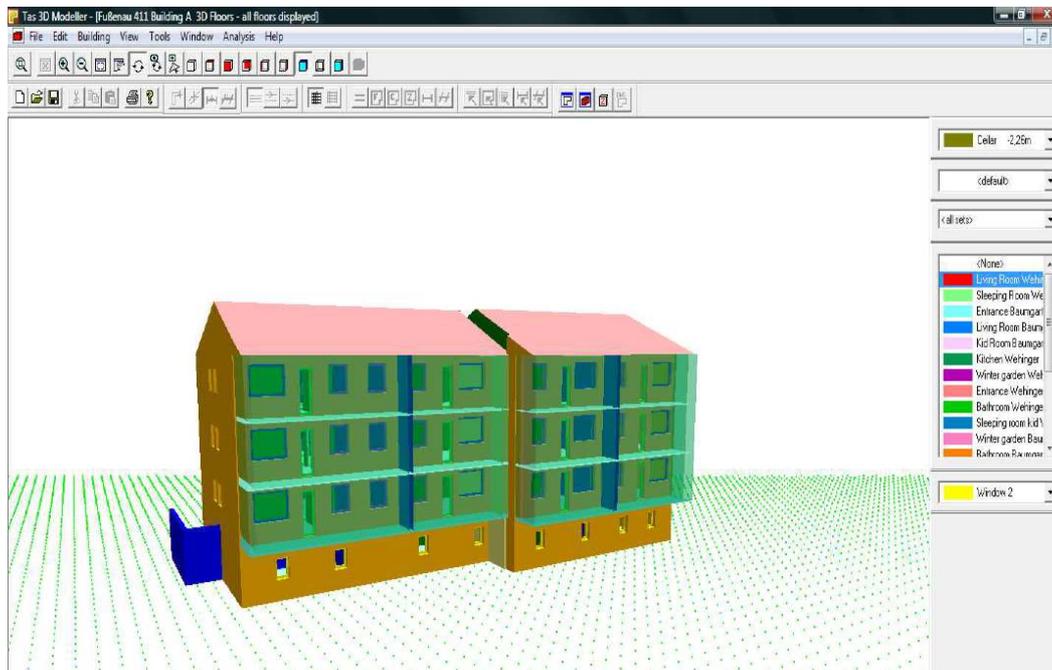


Abb. 33: 3-D-Darstellung des Objektes D

Dann wurden die Eigenschaften der Baustoffe (Wärmeleitfähigkeit, Stärke, usw.) mittels der Energieausweise ermittelt und im Tas-Building-Simulator unter „Constructions“ und „Building Elements“ eingegeben. Bezüglich der Gebäudetechnik waren nicht nur die Energieausweise nötig, sondern auch die Analyse der Messdaten und der Fragebogen notwendig und auch die metabolische körperliche Wärmeabgabe insbesondere die menschliche Wärmestromdichte (ASHRAE Handbook 2005). Und sie wurden unter „Occupancy Sensible Gain“ im Tas-Building-Simulator eingegeben. Dann lassen sich diese Merkmale unter „Internal Conditions“ (Soll-Innentemperatur, Luftwechselzahl, Interne Gewinne, usw.) richtig einstellen. Zusätzlich wurde auch ein Ablaufplan aller Parameter unter „Schedules“ definiert. Tatsächlich sollten diese Wärmestromdichten so genau wie möglich abgeschätzt werden. Diese Wärmestromdichten hängen von Geschlecht, Alter und Aktivität ab. Die Fragebogen waren aus diesem Grund

2. Methodologie der Untersuchung

notwendig, um dann die passenden Werte der Wärmestromdichten und Ablaufpläne einzutragen.

Bei den Wohnungsbesichtigungen bzgl. beim Check der Hobo-Loggers wurde festgestellt, dass manche Innentüren zwischen den einzelnen Räume nicht verschlossen waren. Insbesondere zwischen Wohnzimmer, Gang und Küche waren die Türen nicht zu. Deswegen waren diese Räume bei den Einstellungen als eine einzigartige Zone eingetragen.

Beschattungen wurden ebenso bei einigen Räumen benötigt und unter „Substitute Elements“ mit einem Ablaufplan eingestellt.

Dann sollten die für Tas-Building-Simulator angepassten Wetterdaten erstellt werden (Kapitel 2.4.2 Wetterdaten).

Später sollten die Modelle kalibriert werden, d.h. nach dem Anpassen der Einstellungen sollten die simulierten Temperaturen mit den gemessenen Temperaturen übereinstimmen oder sich ähneln (Kapitel 2.4.3 Kalibrierung der 3D-Modelle). Mittels Tas-Result-Viewer könnten die simulierten Innenraumtemperaturen unter „Output Filters“ dann „Temperatures and Loads“ dann „Tabular“ angezeigt werden.

Nach den Kalibrierungen könnten die Heizlasten generiert werden. Zuerst mittels Tas-Buidling-Simulator dann mittels Tas-Result-Viewer unter „Output Filters“ dann „Total Load Profiles“ dann „Tabular“. (Kapitel 2.5.5 Soll-Heizwärmebedarf mit Tas-Building-Simulator).

2. Methodologie der Untersuchung

2.3.4 Wärmeabrechnungen und Solarertrag (ggfs.)



Vorarlberger gemeinnützige
Wohnungsbau- und SiedlungsgesmbH
St.-Martin-Straße 7
6850 Dornbirn

Rechnung 01.10.2009 - 23.09.2010	
Kundennummer	10219161
Vertragskonto	28006116
Rechnungsnummer	12625673
Ihre UID-Nummer	ATU38930001
Datum	29.11.2010

Guten Tag, sehr geehrter Erdgaskunde,
für die Erdgasversorgung stellen wir Ihnen in Rechnung:

Anlage: **Rankweil, Schleipweg 1 + 1a**
Zählpunkt: AT 006019 06830 00000000000021884Z1
Kostenstelle: 4030/MW

Erdgasprodukt: Allgemeiner Tarif		Betrag EUR
Erdgaslieferung	93.767 kWh	2.778,18
Netzdienstleistung		827,63
Abgaben		553,68
Netto-Rechnungsbetrag		4.159,49
Umsatzsteuer 20,0% von EUR 4.159,49		831,90
Brutto-Rechnungsbetrag		4.991,39
	Netto EUR	USt EUR
Geleistete Teilzahlungen (20,0% USt.)	-3.712,50	-742,50
Restforderung fällig am 15.12.2010		536,39

Detailinformationen finden Sie ab der nächsten Seite. Unter www.veg.at erhalten Sie weitere Informationen.

Jeweils am 15. der Monate Dezember bis September werden Teilzahlungsbeträge von EUR 454,00 (Nettobetrag EUR 378,34 und Umsatzsteuer EUR 75,66) fällig.

Den Rechnungsbetrag finden Sie in Ihrer nächsten Sammelrechnung. Die Teilzahlungen sind jeweils im Gesamteinzahlungsbetrag Ihrer Sammelrechnungen enthalten.

Gerne stehen Ihnen unsere Mitarbeiter aus der Leistungsverrechnung für weitere Wünsche und Auskünfte zur Verfügung.

Energieriche Grüße

VEG Vorarlberger Erdgas GmbH

Abb. 34: Gasabrechnung der VEG

Die Objekte A bis E werden mit Gas von der VEG Vorarlberger Erdgas GmbH versorgt. Es gibt einen Gaszähler pro Gebäude. Die Vogewosi bekommt die Abrechnungen der VEG (siehe Abb. 34) und dann werden rechnerisch den Verbrauch aller MieterInnen ermittelt. Da zwei verschiedenen Umsatzsteuerraten (10 % für den WWWB und 20% für die Heizung) bei der Abrechnungserstellung

2. Methodologie der Untersuchung

nötig sind, wird ein rechnerisches Verfahren des Finanzamtes verwendet : 30 % des gesamten Gasverbrauches gelten als Warmwasserverbrauch und 70 % als Heizungsverbrauch.

Dazu sind alle diese Objekte mit Sonnenkollektoren ausgerüstet. Diese Kollektoren verfügen über keinen Energiezähler. Deswegen wurde der Solarertrag von der Vogewosi anhand der Kollektorflächen abgeschätzt. Die von den Sonnenkollektoren abgegebene Wärme wird für $\frac{3}{4}$ für die WWB und für $\frac{1}{4}$ für Raumwärmeunterstützung benutzt. Diese von der Sonne abgegebene Wärmemenge ist nicht wirklich umsonst, da die BewohnerInnen die Sanierungskosten (davon die Kosten der Sonnenkollektoren) jedes Monats mit ihrer Miete teilweise zurückzahlen.

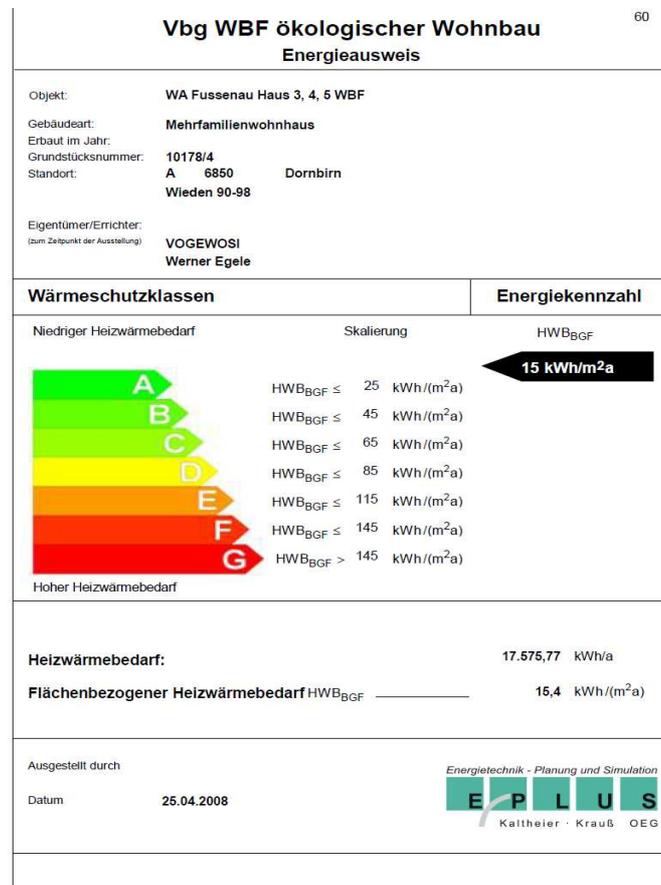
Bzgl. des Objekts F wurde der Heizölverbrauch in Liter von den Bewohner selbst monatlich abgelesen und in kWh umgerechnet. Diese Daten wurden als *.xls-Tabelle vom Bewohner übermittelt.

Das Objekt G wird mit der Fernwärme von der Fernwärme Weiz G.m.b.H. versorgt. Dieses Objekt verfügt über eine Kollektorfläche. Der Solarertrag wird jedoch nur für die WWB verwendet. Deswegen wird nur die Fernwärmemenge für die Ermittlung des HWB benötigt.

2.3.5 Energieausweise bzw. bauphysikalischer Nachweis

Energieausweise wurden für alle Objekte (siehe Abb. 35) - außer dem Objekt G - erstellt. Für das Objekts G wurde in diesem Fall der HWB mit einem bauphysikalischen Nachweis berechnet.

2. Methodologie der Untersuchung



ArchiPHYSIK 7 RC 6 - 04-2008 - lizenziert für E-Plus Planungsteam 822000 15,40 15,05 25.04.2008

Abb. 35: Energieausweis des Objekts D

Diese Energieausweise wurden mittels verschiedener Softwares erstellt. Der Energieausweis der beiden Objekte A und B wurde mittels ArchiPHYSIK Version 5.1.4 berechnet und der des Objekts D wurde mittels ArchiPHYSIK Version 7 RC 6 ermittelt. Der Energieausweis des Objekts C mittels GEQ Version 2008 und der des Objekts E mittels GEQ Version 2009. Der Energieausweis des Objekts F mittels ECOTECH Version 2.5. Und der bauphysikalische Nachweis des Objekts G mittels Excel. Als Algorithmus nutzen einige der Softwareprodukte das Jahresbilanzverfahren, um den HWB zu berechnen. Die übrigen das Monatsbilanzverfahren. Der HWB für die Objekte C, E und F wurde mittels des Monatsbilanzverfahrens berechnet. Und für die Objekte A, B, D und G wurde der HWB mittels des Jahresbilanzverfahrens ermittelt. Die auf den Energieausweise geschriebenen EKZ wurden als Referenzwerte für die weiteren Berechnungen

2. Methodologie der Untersuchung

angenommen.

2.3.6 Umfragen

Eine Umfrage wurde bei allen BewohnerInnen (außer dem Fall des Objekts G und ausgeschlossen wurden zu junge Kinder) am Ende der Heizperiode mit Hilfe eines Fragebogens durchgeführt. Die BewohnerInnen der Objekte A, B, C, D, und E haben die Formulare des Fragebogens am 6.3.2010 bekommen und die ausgefüllten Formulare am 8.5.2010 zurückgegeben. Die BewohnerInnen des Objekts F haben sie am 21.2.2010 bekommen und sie am 2.5.2010 gegeben. Und der Direktor des Objekts G hat sie am 5.3.2010 empfangen und sie am 7.5.2010 gegeben. Es wurde hauptsächlich ermittelt, wie das Verhalten der NutzerInnen (BewohnerInnen wie MitarbeiterInnen) während Anwesenheitsperiode bezüglich des Lüftungsverhaltens, der Innentemperaturen, usw. gewesen ist. Die Beurteilung ihrer sanierten Gebäuden (was hat sich nach der Sanierung geändert ?) und ihre Kenntnisse über die Merkmale eines Passivhauses waren ebenso Teil dieser Umfrage. Im Fall des Objekts G wurde der Fragebogen vom Direktor des Heims ausgefüllt.

2.4 Datenbearbeitung

2.4.1 Messdaten

Die Messdaten der Hobo-Logger wurden von der Software Hoboware vom *hobo-Format im *txt- und anschließend ins *xls-Format umgewandelt. Die Messdaten erscheinen in eine 6-Spaltentabelle (siehe Tab. 12). Die erste Spalte ist die Nummerierung der Messungen. Die zweite Spalte beinhaltet das Datum im Format TT.MM.JJ. Die dritte Spalte die Zeit im Format UU.MM.SS. Obwohl die Messungen in der Sommeruhrzeit angefangen haben, wurden die Hobo-Logger nur auf die Winteruhrzeit „Time GMT+01:00“ eingestellt, um Probleme bei der

2. Methodologie der Untersuchung

Zeitumstellung zu vermeiden. Die vierte Spalte hat die Innentemperatur in °C beinhaltet. In die fünfte Spalte kam die relative Luftfeuchtigkeit in % und die sechste Spalte hat den Wert der Lichtintensität in W/m² .

Tab. 12: Rohdaten vom Hobo-Logger; Objekt C

Plot Title: Objekt C
Zimmer 1 WZ

#	Date	Time GMT+01:00	Temp · C	RH %	Intensity Lux	Host Connected	Stopped	End Of File
1	06.03.10	10:45:00	23,23	40,45	19,7			
2	06.03.10	11:00:00	23,11	39,49	19,7			
3	06.03.10	11:15:00	23,04	38,88	19,7			
4	06.03.10	11:30:00	23,04	38,84	11,8			
5	06.03.10	11:45:00	23,04	38,64	19,7			
6	06.03.10	12:00:00	23,04	38,74	19,7			
7	06.03.10	12:15:00	23,06	39,08	19,7			
8	06.03.10	12:30:00	23,09	39,49	19,7			
9	06.03.10	12:45:00	23,11	39,96	51,2			
10	06.03.10	13:00:00	23,16	40,51	43,4			
11	06.03.10	13:15:00	23,21	40,51	59,1			
12	06.03.10	13:30:00	23,3	40,52	59,1			
13	06.03.10	13:45:00	23,5	40,44	51,2			
14	06.03.10	14:00:00	23,69	40,03	43,4			
15	06.03.10	14:15:00	23,86	39,77	27,6			
16	06.03.10	14:30:00	24	38,91	27,6			
17	06.03.10	14:45:00	24,12	38,71	169,5			
18	06.03.10	15:00:00	24,24	38,39	67			
19	06.03.10	15:15:00	24,34	38,36	98,5			
20	06.03.10	15:30:00	24,39	38,33	74,9			
21	06.03.10	15:45:00	24,44	38,2	27,6			
22	06.03.10	16:00:00	24,44	38,17	11,8			
23	06.03.10	16:15:00	24,46	38,07	19,7			
24	06.03.10	16:30:00	24,48	38,21	19,7			
25	06.03.10	16:45:00	24,53	38,35	27,6			
26	06.03.10	17:00:00	24,61	38,49	19,7			
27	06.03.10	17:15:00	24,65	37,85	11,8			
28	06.03.10	17:30:00	24,68	37,47	11,8			
29	06.03.10	17:45:00	24,65	37,33	3,9			
30	06.03.10	18:00:00	24,68	37,68	11,8			
31	06.03.10	18:15:00	24,75	38,44	11,8			
32	06.03.10	18:30:00	24,85	39,2	3,9			
33	06.03.10	18:45:00	24,97	39,89	11,8			
34	06.03.10	19:00:00	25,16	41,76	11,8			
35	06.03.10	19:15:00	25,26	41,2	3,9			
36	06.03.10	19:30:00	25,31	40,87	11,8			
37	06.03.10	19:45:00	25,21	40,49	3,9			
38	06.03.10	20:00:00	25,07	40,17	3,9			
39	06.03.10	20:15:00	24,97	40,57	11,8			
40	06.03.10	20:30:00	24,92	40,96	11,8			
41	06.03.10	20:45:00	24,94	41,14	3,9			
42	06.03.10	21:00:00	25,02	41,18	11,8			
43	06.03.10	21:15:00	25,09	41,12	3,9			
44	06.03.10	21:30:00	25,14	40,89	11,8			
45	06.03.10	21:45:00	25,16	40,72	11,8			
46	06.03.10	22:00:00	25,21	40,73	11,8			
47	06.03.10	22:15:00	25,23	40,63	3,9			
48	06.03.10	22:30:00	25,23	40,59	11,8			
49	06.03.10	22:45:00	25,26	40,56	11,8			
50	06.03.10	23:00:00	25,23	40,42	11,8			
51	06.03.10	23:15:00	25,19	39,57	3,9			
52	06.03.10	23:30:00	25,19	39,78	3,9			
53	06.03.10	23:45:00	25,19	39,91	3,9			
54	07.03.10	00:00:00	25,16	39,77	11,8			

2. Methodologie der Untersuchung

Wegen der begrenzten Kapazität der Batterien und des Speichers der Hobo-Loggers wurden vier Anreisen benötigt, um die Daten abzuspeichern und gegebenenfalls die Batterien zu ersetzen. Deswegen wurden zunächst alle vier Rohdatenreihen jedes Daten-Loggers zusammengetragen, um nur eine Datenreihe pro Hobo und für die gesamte Heizperiode zu erhalten. Dann wurden die Rohdaten bearbeitet, um die mittleren stündlichen Werte der Innenraumtemperaturen zu ermitteln. Dadurch erhält man folgende Abbildungen (Abb. 36).

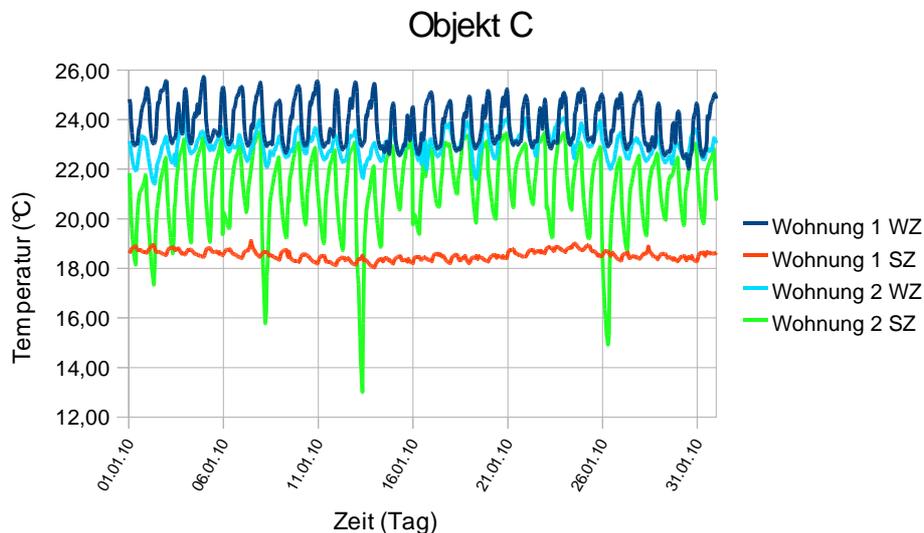


Abb. 36: Grafische Darstellung der Messungen von Daten-Logger

Die vier Kurven zeigen den Verlauf der vier gemessenen Raumtemperaturen mit Hilfe der vier Daten-Logger während des Monats Jänner 2010. Es geht um zwei untersuchte Wohnungen des Objekts C. In diesem Fall waren die untersuchten Räume entweder Wohnzimmer (*Abk.* WZ) oder Schlafzimmer (*Abk.* SZ). Die Daten-Logger haben auch zusätzlich die relative Luftfeuchtigkeit [in %] und die Lichtintensität [in W/m^2] gemessen, obwohl diese Messungen nicht relevant für diese Studie waren. Deswegen wurden sie weder bearbeitet noch analysiert.

2. Methodologie der Untersuchung

2.4.2 Wetterdaten

Die Wetterdaten der ZAMG wurden anhand von Excel und von der Software METEONORM bearbeitet. Da die Wetterdaten als 10-minuten-Takt geliefert wurden, mussten zunächst die stündlichen Werte ermittelt werden. Für alle Datentypen (außer der Windausrichtung) konnten die stündlichen Mittelwerte berechnet werden. Für die Windausrichtung sollte die Richtung ermittelt werden, welche am häufigsten bei jeder Zeitangabe vorkam (siehe Tab. 13).

Tab. 13: Ermittlung der stündlichen Windausrichtungen

Date	Time	WD-N	WD-NE	WD-E	WD-SE	WD-S	WD-SW	WD-W	WD-NW	WD-Max
01.10.2009	01:00:00	0	0	2	1	1	1	1	0	6WD-E
01.10.2009	02:00:00	0	0	2	2	0	0	1	1	6WD-E
01.10.2009	03:00:00	2	0	1	3	0	0	0	0	6WD-SE
01.10.2009	04:00:00	0	0	1	1	1	1	2	0	6WD-W
01.10.2009	05:00:00	0	1	1	1	0	3	0	0	6WD-SW
01.10.2009	06:00:00	2	0	1	2	0	1	0	0	6WD-N
01.10.2009	07:00:00	1	0	1	4	0	0	0	0	6WD-SE
01.10.2009	08:00:00	0	1	0	1	0	2	1	1	6WD-SW
01.10.2009	09:00:00	0	0	3	0	0	1	2	0	6WD-E
01.10.2009	10:00:00	0	0	0	0	0	0	2	4	6WD-NW
01.10.2009	11:00:00	0	0	0	0	0	0	6	0	6WD-W
01.10.2009	12:00:00	0	0	0	0	0	0	4	2	6WD-W
01.10.2009	13:00:00	0	0	0	0	0	0	6	0	6WD-W
01.10.2009	14:00:00	0	0	0	0	0	0	4	2	6WD-W
01.10.2009	15:00:00	0	0	0	0	0	0	0	6	6WD-NW
01.10.2009	16:00:00	1	0	0	0	0	0	0	5	6WD-NW
01.10.2009	17:00:00	2	0	0	0	0	0	0	4	6WD-NW
01.10.2009	18:00:00	0	0	0	0	0	0	0	6	6WD-NW
01.10.2009	19:00:00	0	2	2	1	0	0	1	0	6WD-NE
01.10.2009	20:00:00	0	0	0	1	2	3	0	0	6WD-SW
01.10.2009	21:00:00	0	0	1	1	1	3	0	0	6WD-SW
01.10.2009	22:00:00	1	0	0	1	0	0	0	4	6WD-NW
01.10.2009	23:00:00	2	0	0	0	0	0	0	4	6WD-NW
02.10.2009	00:00:00	2	0	0	0	0	2	0	2	6WD-N
02.10.2009	01:00:00	0	0	1	0	0	2	3	0	6WD-W
02.10.2009	02:00:00	0	0	2	2	1	1	0	0	6WD-E
02.10.2009	03:00:00	0	0	1	1	1	3	0	0	6WD-SW

Um den Import von gemessenen Daten mit METEONORM Version 6.x durchführen zu können, mussten zwei Tests mit den Wetterdaten gemacht werden. Da Fehler immer dann auftauchen, wenn die Sonne vor dem eigentlichen Sonnenaufgang scheint oder nach dem eigentlichen Sonnenuntergang noch immer scheint (in den Daten). Oder, wenn die Werte 30 % höher als die Schönwetterstrahlung sind. Diese „falschen“ Stundenwerte werden aufsummiert und falls mehr als 40 Werte auftreten, werden die Daten nicht akzeptiert.

2. Methodologie der Untersuchung

Deswegen werden die Daten mittels zwei Tests geprüft, gegebenenfalls korrigiert, um die Anforderungen von METEONORM anzupassen. Dazu sollen die Daten in *dat-Format umgewandelt, um sie nutzbar für METEONORM zu machen.

Tab. 14: Wetterdaten mit den von METEONORM erstellten diffusen Strahlung und Wolkenbedeckungsgrad

Global radiation	Diffuse radiation	Cloud cover	Dry bulb temperature	Humidity	Wind speed	Wind direction
0	0	1	2,4	92	5,17	45
0	0	1	1,7	92,83	8,5	315
0	0	1	0,7	94,67	4	225
0	0	1	-0,2	96,67	3,67	180
0	0	1	-0,6	97	5,33	180
0	0	1	-1	97	3,5	135
0	0	1	-1,1	97	4	135
0	0	1	-1	97	3,67	180
40,3	38	1	0	97	4,5	135
93,5	89	1	1,8	94	4,17	180
154,5	126	1	3,7	86	3	225
128	125	1	4,4	81,67	15,67	315
62,2	62	1	4,8	81	15,33	270
56,2	56	1	4,9	78,67	12,5	270
24	24	1	4,5	84,5	7,67	0
0	0	1	4	88,5	9,67	315
0	0	1	3,8	91,33	4,83	315
0	0	1	3,6	94,17	3,83	225
0	0	1	3,3	94,67	7,67	270
0	0	1	2,6	92,67	13,33	315
0	0	1	2,5	93,17	21,83	315
0	0	1	2,5	94	9,33	270
0	0	1	2,4	92,17	11,5	315
0	0	1	2	90,83	19,83	315
0	0	1	1,6	89,67	17,83	315
0	0	1	1	87,83	22,17	315
0	0	1	0	87,17	25,17	315
0	0	1	-0,9	91	23,33	270
0	0	1	-0,9	87	15,5	270
0	0	1	-1,2	84,33	18,83	270
0	0	1	-1,3	83,5	9,67	270
0	0	1	-1,3	79,17	11,17	270

Anhand METEONORM konnten die diffuse Sonneneinstrahlung [in kWh/m²] und der Wolkenbedeckungsgrad [entweder 1 oder 0] simuliert werden. Dann konnten die Wetterdaten mit dem *.twd-Format, welche von Tas-Building-Simulator unter Weather Database bzgl. der thermischen Simulationen benötigt werden, erstellt werden (siehe Tab. 14).

2. Methodologie der Untersuchung

Die Wetterdaten – insbesondere die Außentemperaturen, waren auch mit Hilfe von Excel bearbeitet, um die Heizgradtage (*Abk.* HGT) [Kd] und die Heiztage (*Abk.* HT) [d] der berücksichtigten Heizperiode (2009-2010) zu ermitteln. Diese beiden Kennwerte sind für die Berechnung des HWB gemäß dem Einperiodenverfahren notwendig.

2.4.3 Kalibrierung der 3D-Modelle

Modelle wurden mittels Tas-3D-Modeler gezeichnet und die wichtigsten Merkmale der Baustoffe und Gebäudetechnik wurden eingetragen. Dann sollten die Modelle kalibriert werden.

Die Kalibrierung der Modelle erfolgte über die ersten Tage der offiziellen Heizperiode, da die Heizung noch nicht eingeschaltet war, d.h. die Kurven der gemessenen und simulierten Daten sollen sich überlagern oder sich ähneln. Mittels Temperaturfühler hängt die Kesseltemperatur von Außentemperaturen ab und sie wird so geregelt.

Im Fall der Objekte A bis E schaltet sich der Kessel bei einer Außentemperatur niedriger als $+17^{\circ}\text{C}$ ein. Deswegen waren die ersten Tage von Oktober 2009 noch warm genug, um die Kalibrierung durchzuführen (siehe Abb. 37). Die grafische Darstellung steht als erster Beweis der Kalibrierung. Um die Kalibrierungen festzustellen, wird ein statistische Test verwendet. Die simulierten und gemessenen Temperaturen werden verglichen. Da die beiden Temperaturtypen voneinander unabhängig sind, erscheint der Student'sche t-Test, insbesondere der Zweistichproben-t-Test für zwei unabhängige Stichproben als der geeignetste Test. Um einen t-Test zu nutzen, gibt es eine Bedingung : die Beobachtungen der Stichprobe sollen normal verteilt sein. Weil die Anzahl der Beobachtungen pro Uhrzeit relativ klein ist (allerhöchstens sind die 14 ersten Tage zu berücksichtigen), wird ein Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt. Unter Stichprobe sind es hier die Tage ohne Heizung am Anfang der Heizperiode gemeint. Daraus ergibt es sich weiter, dass die Beobachtungen bis zum 14. Tage der Heizperiode

2. Methodologie der Untersuchung

(am 14. Oktober 2009) normal verteilt sind.

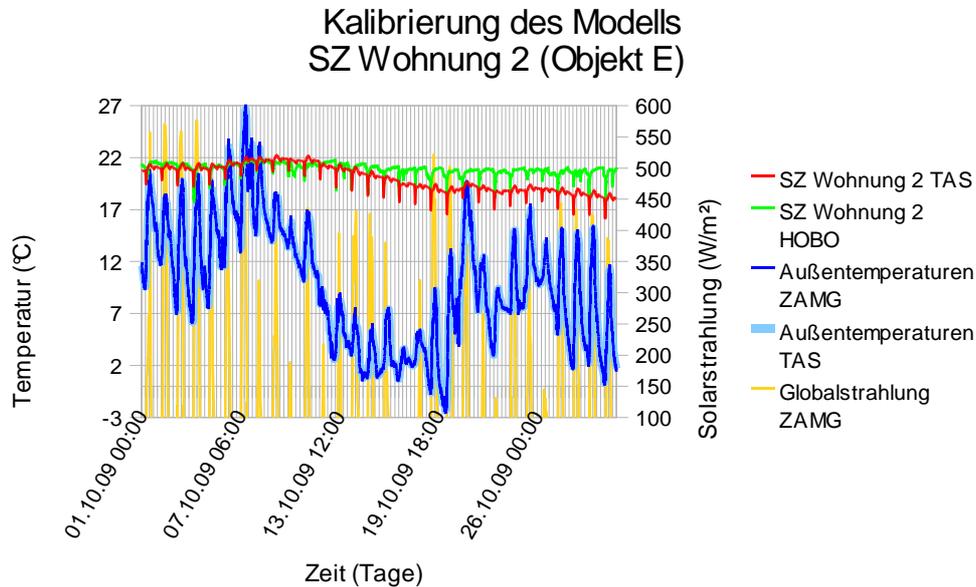


Abb. 37: Grafische Darstellung der Kalibrierung eines Modells

Dann werden die Hypothesen der t-Tests erstellt. Mit μ_{Hobo} bzw. μ_{Tas} dem stündlichen Mittelwert der gemessenen bzw. simulierten Temperaturen nach Uhrzeit über die 14 ersten Tage der Heizperiode und mit ω_0 dem hypothetischen Mittelwertunterschied, wurden die folgenden Null- bzw. Alternativhypothesen H_0 bzw. H_1 aufgestellt:

$$H_0 : \mu_{\text{Hobo}} - \mu_{\text{Tas}} = \omega_0 \quad (2.4.2.1)$$

$$H_1 : \mu_{\text{Hobo}} - \mu_{\text{Tas}} \neq \omega_0 \quad (2.4.2.2)$$

Gesamter Mittelwert kann hier nicht relevant sein, deswegen wird der t-Test 24 mal durchgeführt, um alle Stunden von 1:00 bis 24:00 über 14 Tage zu prüfen.

Um die Modelle zu kalibrieren, ist es erwünscht, dass die stündlichen Mittelwerte der gemessenen und generierten Temperaturen fast ähnlich sind. Deshalb wurde angenommen, dass der hypothetische Mittelwertunterschied ω_0 gleich Null sein soll.

2. Methodologie der Untersuchung

Die Varianzen lauten wie folgt:

$$S_{Hobo}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_{Hobo})^2, \quad (2.4.2.3)$$

$$S_{Tas}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m (y_j - \mu_{Tas})^2 \quad (2.4.2.4)$$

$$\text{und } S_D^2 = \frac{(n-1)S_{Hobo}^2 + (m-1)S_{Tas}^2}{n+m-2} \quad (2.4.2.5)$$

$$\text{Und der statistische Test lautet: } t = \frac{(\mu_{Hobo} - \mu_{Tas}) - \omega_0}{S_D} \quad (2.4.2.6)$$

Die Anzahl der Beobachtungen n und m sind beiden gleich 14. Deswegen ist der Freiheitsgrad (dF; degrees of freedom) des Tests $n + m - 2$ gleich 26.

Die erwünschte Wahrscheinlichkeit im Mittelbereich ist 0,99 (99%). Anhand der t -Verteilungstabelle, kann $t_{1-\alpha/2; dF}$ der kritische Wert des Ablehnungsbereiches bekannt werden. Mit dF gleich 26 und $1-\alpha/2 = 0,005$ (0,5%), liegt $t_{0,005; 26}$ bei 2,77871.

Bspw. gelten die folgenden Werte von t für die Küche der Wohnung im Objekt A:

Tab. 15: Stündliche t -Tests von 1:00 bis 12:00; Objekt A

HOBO

Uhrzeit	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
Tage; m	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Mittl. T°	22,64	22,61	22,6	22,6	22,58	22,62	22,76	22,73	22,64	22,69	22,74	22,83
S_{Hobo}^2	0,66	0,69	0,86	0,88	0,83	0,82	0,78	0,95	1,5	2,06	3,3	2,67

TAS

Uhrzeit	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00
Tage; n	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Mittl. T°	22,23	22,21	22,18	22,15	22,11	22,09	22,32	22,34	22,39	22,46	22,54	23,63
S_{Tas}^2	4,43	4,39	4,56	4,6	4,71	4,79	3,7	3,45	3,46	3,53	3,38	3,09

TEST

S_D^2	2,54	2,54	2,71	2,74	2,77	2,81	2,24	2,2	2,48	2,79	3,34	2,88
$ t $	0,68	0,67	0,68	0,72	0,74	0,84	0,78	0,7	0,42	0,36	0,3	1,25
t kritisch	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871
$ t - t$ kritisch	-2,1	-2,11	-2,09	-2,05	-2,04	-1,94	-2	-2,08	-2,36	-2,42	-2,48	-1,53
NULLHYPOTHESE	ERFÜLLT											

2. Methodologie der Untersuchung

Tab. 16: Stündliche t-Tests von 13:00 bis 24:00; Objekt A

HOBO

Uhrzeit	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
Tage; m	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Mittl. T°	22,66	22,61	22,63	22,64	22,65	22,79	22,84	22,83	22,79	22,68	22,62	22,58
S ² _{HOBO}	2,51	2,09	2,17	2,41	2,43	3,4	2,93	2,52	2,46	2,31	2,35	2,31

TAS

Uhrzeit	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	00:00
Tage; n	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Mittl. T°	22,86	22,74	22,69	22,64	22,55	22,48	23,5	22,63	22,45	22,38	22,33	22,29
S ² _{TAS}	3,02	2,86	2,87	2,79	2,91	3,06	2,93	3,23	3,53	3,66	3,76	3,89

TEST

S ² _D	2,77	2,47	2,52	2,6	2,67	3,23	2,93	2,88	2,99	2,99	3,06	3,1
r	0,32	0,22	0,1	0,01	0,16	0,45	1,01	0,31	0,52	0,47	0,44	0,43
t kritisch	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871	2,77871
t > kritisch	-2,46	-2,56	-2,68	-2,77	-2,62	-2,33	-1,77	-2,47	-2,26	-2,31	-2,33	-2,34
NULLHYPOTHESE	ERFÜLLT											

Kein der 24 t-Tests (siehe Tab. 15 und 16) führt zur Ablehnung der Nullhypothese H_0 . Deswegen ist es offensichtlich, dass das Modell der Küche kalibriert ist.

2.5 Datenanalyse

Um den Heizwärmebedarf der verschiedenen Objekte zu bewerten, wurden mehrere Verfahren verwendet.

2.5.1 HWB nach Energieausweis

Zuerst stehen die vorhandenen Energieausweise der Mehrfamilienhäuser (*Abk.* MFH) und des Zweifamilienhauses (*Abk.* ZFH) und ein vorhandener bauphysikalischer Nachweis für das Objekt G als Referenzwerte bezüglich der Energiekennzahlen. Alle anderen (tatsächlichen wie simulierten) Werte der HWB werden damit verglichen.

2. Methodologie der Untersuchung

2.5.2 Abgeschätzter HWB

Der abgeschätzte Heizwärmebedarf wurde anhand des Heizenergieverbrauchs ermittelt. Zu diesem Zweck werden die Gasabrechnungen bzw. Fernwärmemengen bzw. Heizölverbrauchdaten benutzt (siehe Tab. 17).

Tab. 17: Verbrauchte Wärmemenge nach Wärmeerzeuger

Gesamter Wärmeverbrauch	Wärmeerzeuger	Wärme [kWh]	Davon Gas bzw. Öl bzw. Fernwärme [kWh]	Davon Solarthermie [kWh]	Verbrauchsperiode
A	Gasbrennwertkessel + Solarthermie	34.682	26.072	8.610	Okt 09 – Sept 10
B	Gasbrennwertkessel + Solarthermie	36.195	27.585	8.610	Okt 09 – Sept 10
C	Gasbrennwertkessel + Solarthermie	121.196	93.767	27.429	Okt 09 – Sept 10
D	Gasbrennwertkessel + Solarthermie	64.051	51.751	12.300	Okt 09 – Sept 10
E	Gasbrennwertkessel + Solarthermie	53.528	40.528	13.000	Okt 09 – Sept 10
F	Heizölkessel	5.688	5.688	-----	Mai 09 – Apr 10
G	Fernwärme + Solarthermie	430.500	390.500	40.000	Juli 09 – Juni 10

Dann wird der Warmwasserwärmebedarf (Abk. WWWB) gemäß der ÖNORM 8110-5:2010 berechnet. Die Richtwerte sind 35 Wh/m².d Warmwasserbedarf bei einem EFH wie einem MFH und 70 Wh/m².d bei einem Pflegeheim. Dieses Ergebnis wird vom gesamten Heizenergieverbrauch abgezogen (siehe Tab. 18).

Tab. 18: Ermittlung des Heizungsenergieverbrauchs (gemäß ÖNORM)

Energieverbrauch für die Heizung	WWB [kWh] (gemäß ÖNORM)	Heizung [kWh]	BGF [m ²]	Heizung [kWh/m ² .a]
A	6.064	28.618	474,7	60,29
B	6.543	29.652	512,2	57,89
C	23.161	98.035	1813	54,07
D	14.586	49.465	1141,8	43,32
E	11.852	41.676	927,74	44,92
F	2.146	3.542	168	21,08
G	140.270	290.231	5490	52,87

Der Rest wurde mal mit einem kesselbezogenen Faktor, dem Gesamtwirkungsgrad η_{Ges} multipliziert (siehe Tab. 19). Dieser Wirkungsgrad berücksichtigt alle Wärmeverluste (Abgas-, Strahlungs-, Bereitschafts- und Verteilverluste). η_{Ges} nimmt die folgenden Werte an:

2. Methodologie der Untersuchung

- $\eta_{\text{Ges}} = 0,93$ für ein modulierendes Gasbrennwertgerät, richtig dimensioniert und mit gedämmten Rohrleitungen, d.h. dieser Wert wurde für die Objekte A bis E angenommen,
- $\eta_{\text{Ges}} = 0,77$ für einen Heizölkessel, angemessen dimensioniert, automatisch geregelt und mit gedämmten Rohrleitungen, d.h. dieser Wert wurde für das Objekt F verwendet,
- $\eta_{\text{Ges}} = 0,88$ für die Fernwärme-Versorgung, d.h. dieser Wert gilt für das Objekt G.

Tab. 19: Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Heizwärmebedarf	Gesamtnutzungsgrad η_{Ges}	HWB [kWh/a]	BGF [m ²]	HWB [kWh/m ² .a]
A	0,93	26.471	474,7	55,76
B	0,93	27.428	512,2	53,55
C	0,93	90.682	1813	50,02
D	0,93	45.755	1141,8	40,07
E	0,93	38.550	927,74	41,55
F	0,77	2.727	168	16,23
G	0,88	255.403	5490	46,52

Im Fall der Objekte A bis E kommt noch der Netto-Solarertrag dazu. Aber nur ein Viertel dieses Ertrags wirkt für Raumwärmeunterstützung (siehe Tab. 20). Deswegen wird nur dieser Anteil dieses Ertrags zu der über den Kessel abgegebene Heizungswärme addiert.

Tab. 20: Solarertrag nach Nutzung

Objekte	Solarthermie [kWh]	Solarthermie für	RWU [kWh]	WWB [kWh]
A	8.610	$\frac{1}{4}$ RWU + $\frac{3}{4}$ WWB	2.153	6.458
B	8.610	$\frac{1}{4}$ RWU + $\frac{3}{4}$ WWB	2.153	6.458
C	27.429	$\frac{1}{4}$ RWU + $\frac{3}{4}$ WWB	6.857	20.572
D	12.300	$\frac{1}{4}$ RWU + $\frac{3}{4}$ WWB	3.075	9.225
E	13.000	$\frac{1}{4}$ RWU + $\frac{3}{4}$ WWB	3.250	9.750
F	-----	-----	-----	-----
G	40.000	Nur WWB	0	40.000

2. Methodologie der Untersuchung

Der jährliche Netto-Solarertrag sorgt für 6,7 % bis 8,4 % des gesamten Heizungsverbrauchs (siehe Tab. 21).

Tab. 21: Anteil des Netto-Solarertrags bei der gesamten Heizwärmebedarf [%]

Objekte	HWB [kWh]	Solarertrag für RWU [kWh]	Verhältnis Solar/Heizung
A	26.471	2.153	8,13%
B	27.428	2.153	7,85%
C	90.682	6.857	7,56%
D	45.755	3.075	6,72%
E	38.550	3.250	8,43%

2.5.3 Soll-Heizwärmebedarf nach Jahresbilanzverfahren

Dann wurde der Soll-Heizwärmebedarf anhand eines Verfahrens gemäß EN 832 bilanziert. Der Heizwärmebedarf wird mittels der allgemeinen Formel ermittelt:

$$Q_h = (Q_T + Q_V) - \eta \cdot (Q_S + Q_I) \quad (2.5.3.1)$$

mit

$$Q_T = 0,024 \cdot L_T \cdot HGT \quad (\text{den Transmissionswärmeverlusten}) \quad (2.5.3.2)$$

$$Q_V = 0,024 \cdot L_V \cdot HGT \quad (\text{den Lüftungswärmeverlusten}) \quad (2.5.3.3)$$

η dem Ausnutzungsgrad

$$Q_S = \sum_{j=\text{Himmelsrichtung}} I_j \cdot \sum_{i=\text{Bauteil}} (A_i \cdot f_{S,i} \cdot g_{w,i})$$

$$(\text{dem Solarwärmegewinn}) \quad (2.5.3.4)$$

$$Q_I = 0,024 \cdot q_i \cdot BGF_B \cdot HT \quad (\text{den internen Wärmegewinne}) \quad (2.5.3.5)$$

Das Jahresbilanzverfahren, dass ein jährliches Verfahren ist, ist mit den letzten offiziellen HGT und HT Ökologischer Wohnbau (2006) ermittelt.

2.5.4 Soll-Heizwärmebedarf nach Monatsbilanzverfahren

Der Soll-Heizwärmebedarf wurde auch mit dem Monatsbilanzverfahren wie folgt

2. Methodologie der Untersuchung

ausgerechnet:

$$Q_h = \sum_{i=Monate} Q_{h,M|pos} \quad (2.5.4.1)$$

$$\text{mit } Q_{h,M} = (Q_{T,M} + Q_{V,M}) - \eta_M \cdot (Q_{S,M} + Q_{i,M}) \quad , \quad (2.5.4.2)$$

$$Q_{T,M} = 0,024 \cdot H_T \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{e,M}) \cdot t_M \quad ,$$

(den monatlichen Transmissionswärmeverlusten) (2.5.4.3)

$$Q_{V,M} = 0,024 \cdot H_V \cdot (\vartheta_i - \vartheta_{e,M}) \cdot t_M \quad ,$$

(den monatlichen Lüftungswärmeverlusten) (2.5.4.4)

$$\eta_M = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad \text{mit} \quad \gamma = \left(\frac{Q_{S,M} + Q_{i,M}}{Q_{T,M} + Q_{V,M}} \right)$$

(dem monatlichen Ausnutzungsgrad) (2.5.4.5)

$$Q_{S,M} = \sum_{j=Himmelsrichtung} I_{S,M} \sum_{i=Bauteil} (A_i \cdot g_{w,i} \cdot f_{S,i})$$

(dem monatlichen Solarwärmegewinn) (2.5.4.6)

$$\text{und } Q_{i,M} = \sum_{i=Monate} 0,024 \cdot q_{i,M} \cdot BGF_B \cdot t_M$$

(den monatlichen internen Wärmegewinne) (2.5.4.7)

Im Gegensatz zu dem vorherigen Verfahren, wird Heizwärmebedarf für jedes Monats berechnet und aufsummiert.

Diese Berechnungen erfolgen entweder über die Ermittlung der monatlichen Sonneneinstrahlungen ($I_{S,M}$) und mittleren monatlichen Außentemperaturen ($\vartheta_{e,M}$) mittels dem Rechenverfahren der ÖNORM 8110-5:2110 oder anhand der Wetterdaten der ZAMG. Um die mittlere Monatssumme der Globalstrahlung ($I_{S,M}$) zu bestimmen, gilt die folgende Formel der ÖNORM 8110-5:2110:

$$I_{S,M} = a_2 \cdot x_h^2 + a_1 \cdot x_h + a_0 \quad (2.5.4.8)$$

mit x_h die Seehöhe des Orts

2. Methodologie der Untersuchung

Die Koeffizienten a_0 , a_1 und a_2 des Dreischichten-Regressionsmodells zur Bestimmung der mittleren Monatssumme der Globalstrahlung ($I_{S,M}$) hängen von der Region [Ost, West, Süd, usw.] ab und ihre Werte stehen in der ÖNORM 8110-5:2010.

Um die Monatsmitteltemperatur ($\vartheta_{e,M}$) zu bestimmen, gilt die folgende Formel der ÖNORM 8110-5:2110 :

$$\vartheta_{e,M} = a + b \cdot x_h \quad (2.5.4.9)$$

Die Koeffizienten a und b des Dreischichten-Regressionsmodells zur Bestimmung der Monatsmitteltemperatur ($\vartheta_{e,M}$) hängen auch von der Region ab und ihre Werte liegen in der ÖNORM 8110-5:2010. Nach einer weiteren Bearbeitung der Wetterdaten der ZAMG, können auch eine mittlere Monatssumme der Globalstrahlung ($I_{S,M}$) und eine Monatsmitteltemperatur ($\vartheta_{e,M}$) für alle Wetterstationen ermittelt werden. Diese beiden Werte werden bei den Formeln (2.5.4.3) bis (2.5.4.6) eingefügt, um den Q_h zu berechnen.

2.5.5 Soll-Heizwärmebedarf mit Tas-Building-Simulator

Letztlich wurden die Heizlasten anhand des Tas-Building-Simulators und den Messungen der Daten-Loggers simuliert. Mit den kalibrierten Modellen wurden danach die stündlichen Heizlasten der untersuchten Gebäuden simuliert. Mittels des Tas-Result-Viewer unter „Output Filters“ dann unter „Total Load Profiles“ dann „Tabular“ könnten die Heizlasten [in W] angezeigt werden. Sie wurden in dem Excel-Blatt „Annual Loads calculation“ wie die Brutto-Geschossfläche eingetragen, um den HWB [in kWh/m².a] auszurechnen. In diesem Fall, gab es 2 Annahmetypen. Da sich i.d.R. 2 bis 3 Datenlogger pro Wohnung (d.h. nicht bei allen Räumen) befanden, sollte zuerst angenommen werden, dass die mittleren Innenraumtemperaturen mit den Messungen ausgerechnet werden und diese Temperaturen bei den anderen Räumen der Wohnungen für die Simulation eingetragen werden könnten, außer für die Wintergärten (15 °C) und die

2. Methodologie der Untersuchung

Stiegehäuser (10 °C). Dann wurde als Schlussfolgerung angenommen, dass die Ergebnisse des simulierten Heizwärmebedarfs der untersuchten Wohnungen auch für die ganzen Gebäude galten.

3 Ergebnisse

3.1 Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Verfahren

Alle Verfahren können mit den Referenzwerten (im Fall der Werte der Energieausweise bzw. des bauphysikalischen Nachweises) verglichen werden. Die Ergebnisse können mit den absoluten Werten und auch mit den prozentualen Werten verglichen werden. Zuerst passen die Ergebnisse der Gebäude, deren HWB mittels der Jahres- bzw. Monatsbilanzverfahren berechnet werden, mit dem HWB der Energieausweise und des bauphysikalischen Nachweises, welcher mittels der Jahres- bzw. Monatsbilanzverfahren ermittelt wurden, zueinander (siehe Abb. 38). Es ist zu beachten, dass der vormals verwendete Normwert der Wärmestromdichte q_i (3,00 W/m² bzw. 5 W/m²) für MFH und EFH bzw. Pflegeheim, deren Energieausweis und bauphysikalischer Nachweis mittels Jahresbilanzverfahren (d.h. Objekte A, B, D und G) berechnet wurde, eingesetzt wurde. Der berechnete HWB ist im Durchschnitt fast gleich dem Wert der Energieausweise. Wie angenommen, trennen sich die Werte des abgeschätzten HWB und die anderen Werte des HWB stark auseinander, außer der Werte des Objekts F.

2. Methodologie der Untersuchung

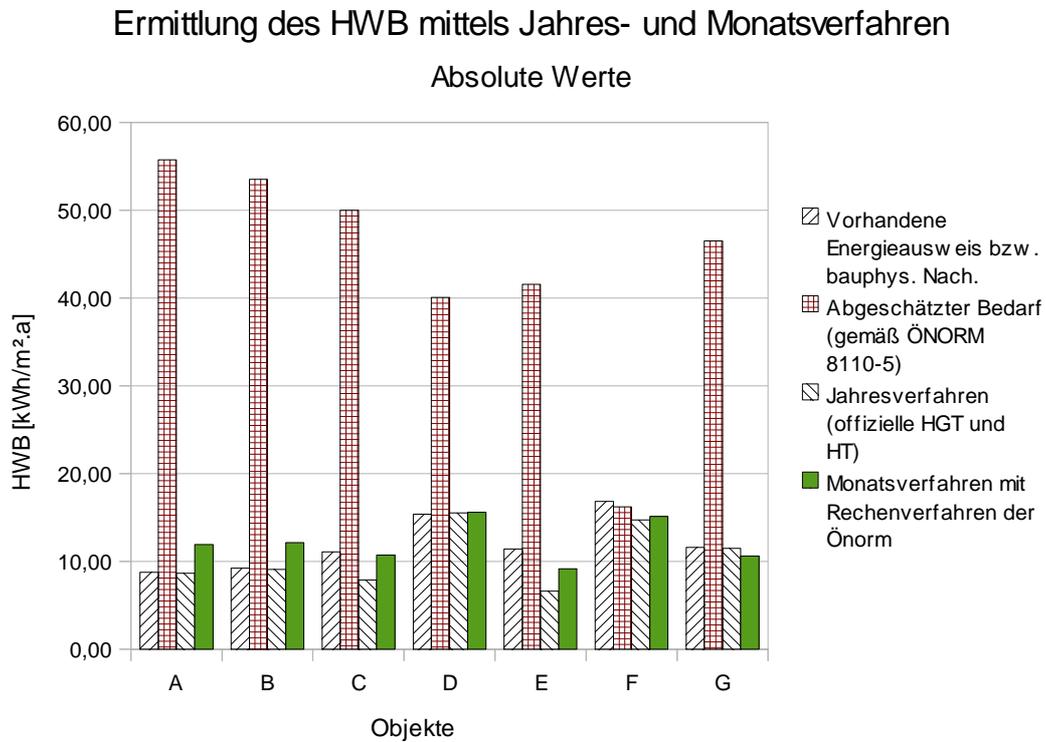


Abb. 38: HWB : Ermittlung des HWB mittels der Richtwerte der Einflussfaktoren; absolute Werte

Anstatt die absoluten Werte darzustellen, kann das Verhältnis mit einem Referenzwert verwendet werden, um den verschiedenen HWB eines bestimmten Objektes zu vergleichen. Als Referenzwert wird der Wert der Energieausweise genommen und gleich 100 % gesetzt. Alle anderen Werte werden mit diesem Referenzwert verglichen, um die verschiedenen Prozente (siehe Abb. 39) zu ermitteln.

Außer dem Objekt F, ist der abgeschätzte HWB ein Vielfaches des Referenzwertes, d.h. es ist der HWB um 250 % bis fast 650 % größer als der Referenzwert. Beim Objekt F stimmen alle Berechnungsverfahren mit dem Energieausweis überein. Deswegen war es notwendig herauszufinden, was diese Diskrepanz zwischen abgeschätztem Wert und dem Sollwert verursacht hat. Hiermit sind vier verschiedene Faktoren zu berücksichtigen : das Wetter

2. Methodologie der Untersuchung

(insbesondere die Außentemperaturen), die Luftwechselzahl, der interne Wärmegewinn und die Innentemperaturen.

Ermittlung des HWB mittels Jahres- und Monatsverfahren

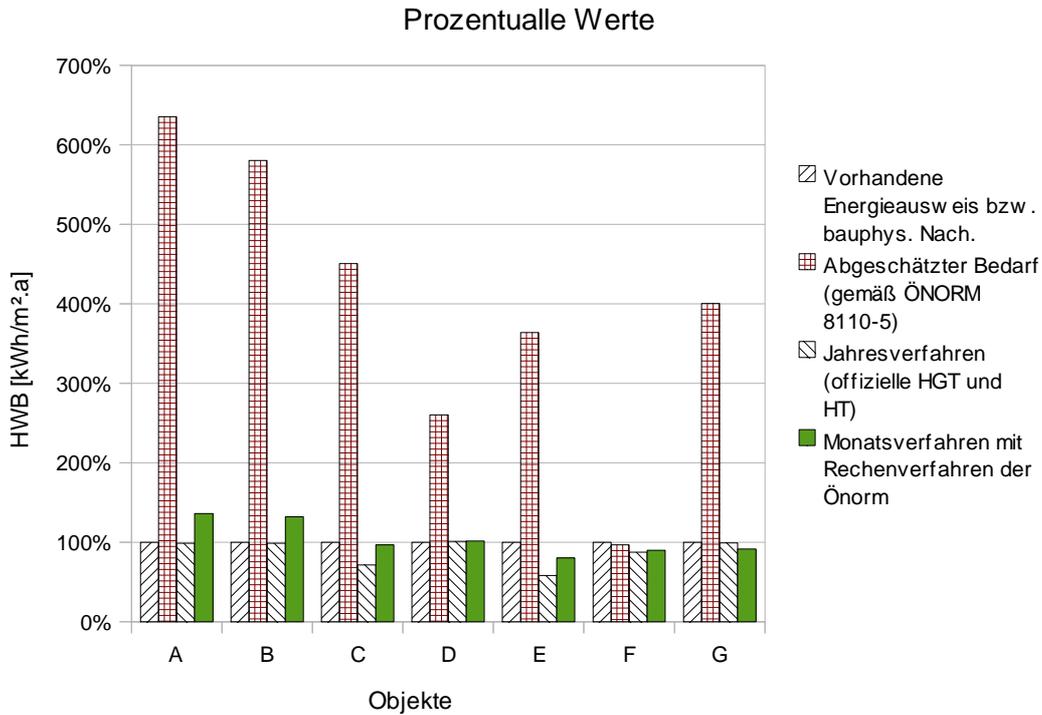


Abb. 39: HWB : Ermittlung des HWB mittels der Richtwerte der Einflussfaktoren; prozentuale Verhältnisse

3.2 Wetter und mittlere Tagesaußentemperatur T_{ma}

Da die offiziellen HT und HGT vom Jahr 2007 sind, wurden stattdessen die Wetterdaten der Heizperiode verwendet, um die HGT und HT der Heizperiode 2009/2010 zu ermitteln.

Wenn $T_{a,j} < 12^\circ\text{C}$, $a_j = 1$, falls $T_{a,j} \geq 12^\circ\text{C}$, $a_j = 0$

$$HT_{12} = \sum_{j=1}^{365} a_j \quad (3.1.1)$$

2. Methodologie der Untersuchung

$$HGT_{20/12} = \sum_{j=1}^{HT} (20 - T_{ma}) \quad (3.1.2)$$

Die mittlere Tagesaußentemperatur T_{ma} wird in Österreich wie folgt definiert :

$$T_{ma} = \frac{T_{a;7:00} + T_{a;19:00} + T_{a;max} + T_{a;min}}{4} \quad (3.1.3)$$

mit $T_{a;7:00}$ die Tagesaußentemperatur um 7:00 Uhr, $T_{a;19:00}$ die Tagesaußentemperatur um 19:00 Uhr, $T_{a;max}$ die wärmste Tagesaußentemperatur und $T_{a;min}$ die kälteste Tagesaußentemperatur. In dem Fall ist der HWB eine Funktion von T_{ma} : $HWB = f(T_{ma})$. Mit den neuen HGT und HT sind die Änderungen des HWB kaum merkbar im Vergleich mit den ersten Werten des Periodenverfahrens. Für drei Objekte ist der HWB größer, für die 4 anderen kleiner. Simulationen wurden auch mittels TAS durchgeführt (siehe Abb. 40). Der Unterschied zwischen abgeschätztem HWB und den neuen Werten bleibt immer noch groß. D.h. Das Wetter kann nicht allein den tatsächlichen HWB erklären.

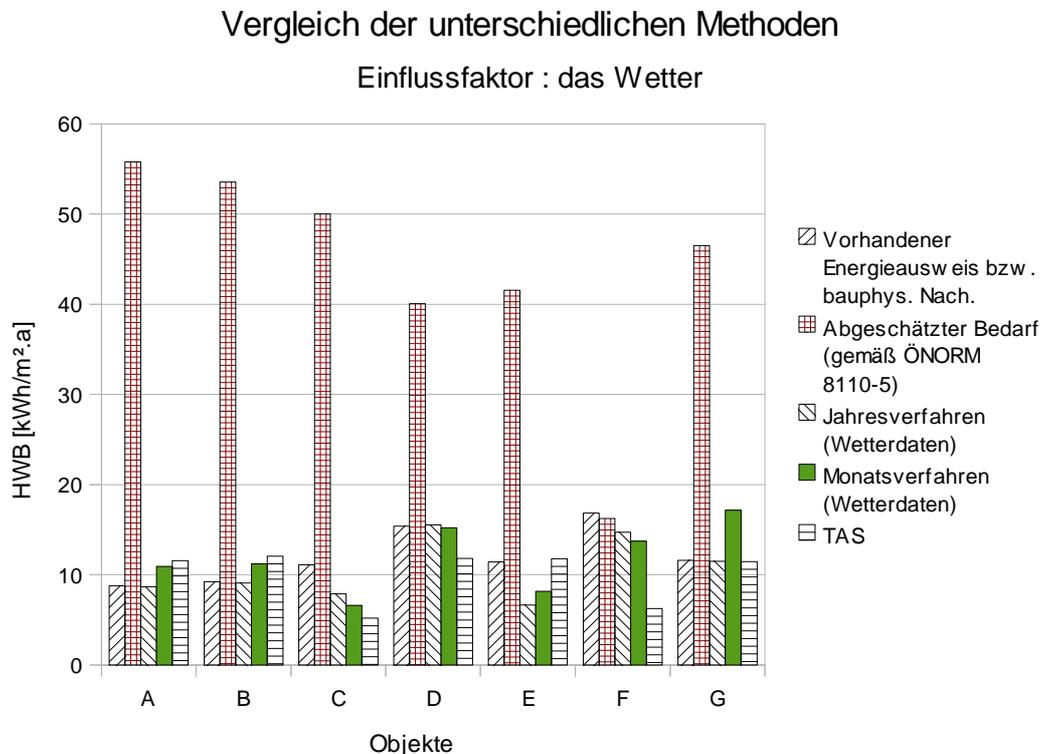


Abb. 40: Mit den Wetterdaten der Heizperiode 2009/2010

2. Methodologie der Untersuchung

3.3 Innentemperatur T_i und monatliche mittlere Innentemperatur T_{mi}

Bei den Berechnungen des HWB wie bei den Energieausweise soll eine Innentemperatur von 20°C bei EFH und MFH angenommen werden, laut der ÖNORM 8110-5:2010 bei Pflegeheimen 22°C. Aber die tatsächlichen Innentemperaturen (laut der Daten-Logger-Messungen) entsprechen nicht die Anforderungen der ÖNORM.

Anstatt eines Richtwertes von 20°C für T_i , kann der HWB anhand einer jährlichen mittleren Innentemperatur T_i und dem Monatsverfahren ermittelt werden. In dem Fall ist der HWB eine Funktion von T_i : $HWB = f(T_i)$. Man bemerkt ein lineares Verhältnis zwischen T_i und HWB, wenn sich T_i mit einer progressiven +1°C-Zunahme erhöht (siehe Abb. 41). Aber man kann mit dieser Zunahme nicht allein die abgeschätzten HWB erklären, da die Steigung der Gerade zu klein ist.

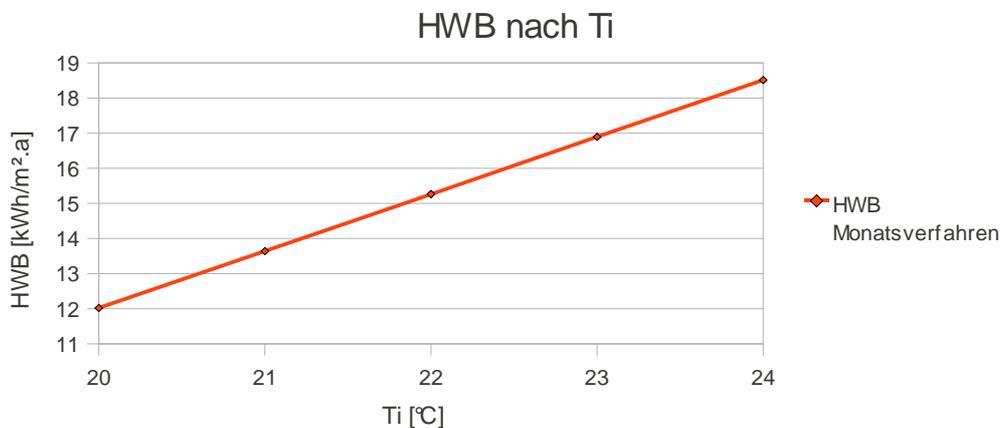


Abb. 41: Änderung des HWB nach T_i ; Objekt D

2. Methodologie der Untersuchung

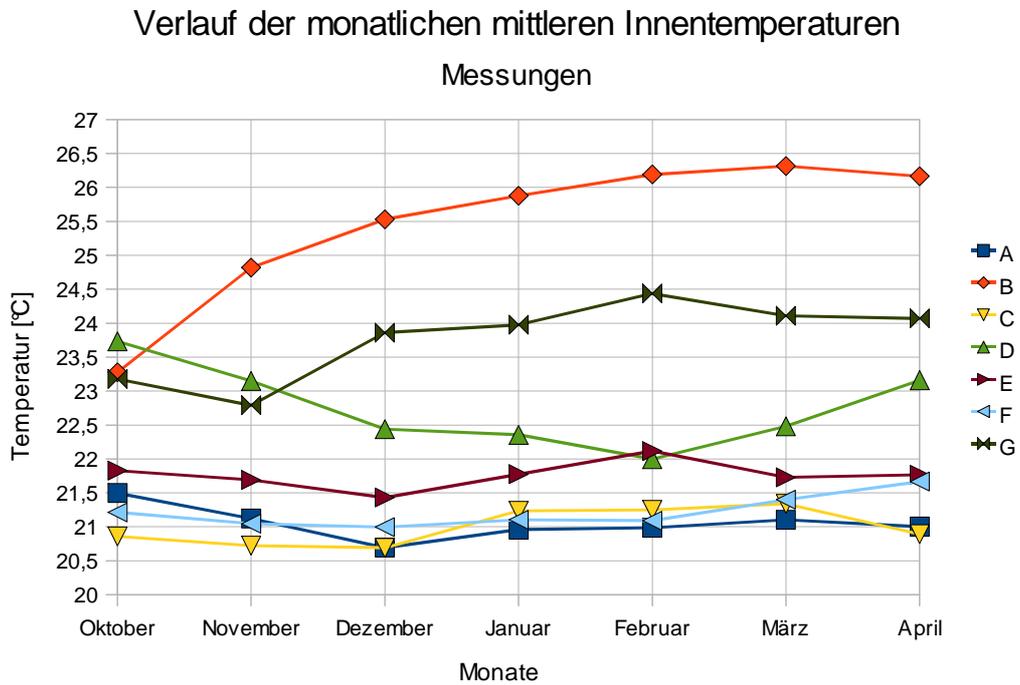


Abb. 42: Monatlichen mittleren Innentemperaturen

Die tatsächlichen Innentemperaturen differenzieren sich stark von oben genannten Richtwerten (siehe Abb. 42).

Die bei den Objekte A bis G aufgenommenen Messungen werden anhand einer Kastengrafik (Box-Whisker-Plot oder Boxplot) sowie kumulierter-Prozente grafisch dargestellt.

2. Methodologie der Untersuchung

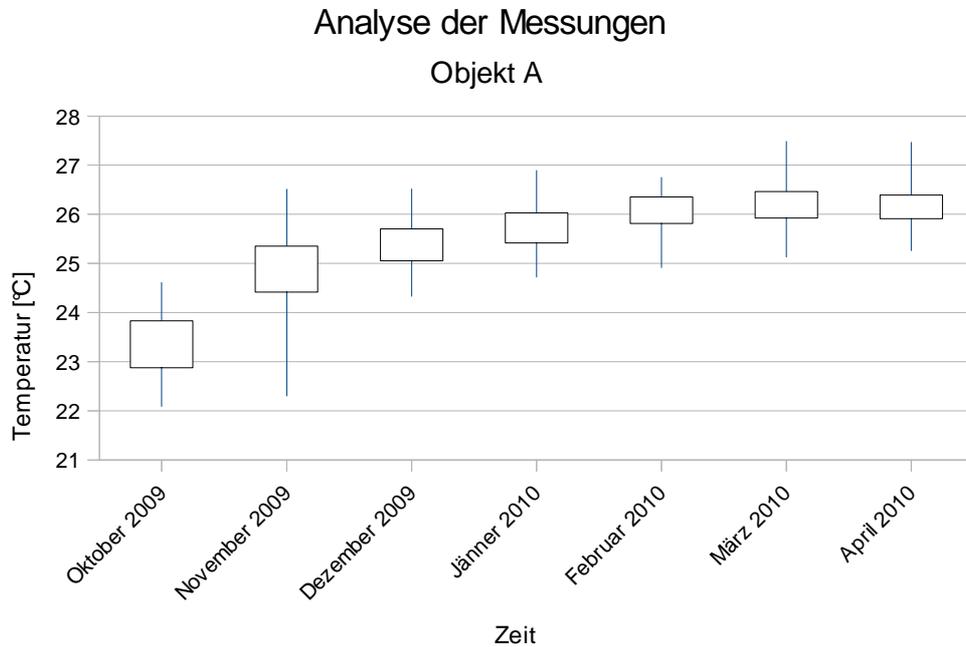


Abb. 43: Kastengrafik der monatlichen mittleren Raumtemperaturen im Objekt A

Die Kästen der Temperaturen zeigen die Breite zwischen erstem und drittem Quartil der Messungen. Im Objekt A steigen die Kästen während der 4 ersten Monate der Heizperiode. Dann bleiben sie um 26°C relativ stabil. Das zweite Monat ist der Unterschied zwischen Maximum und Minimum am Höchsten (siehe Abb. 43).

2. Methodologie der Untersuchung

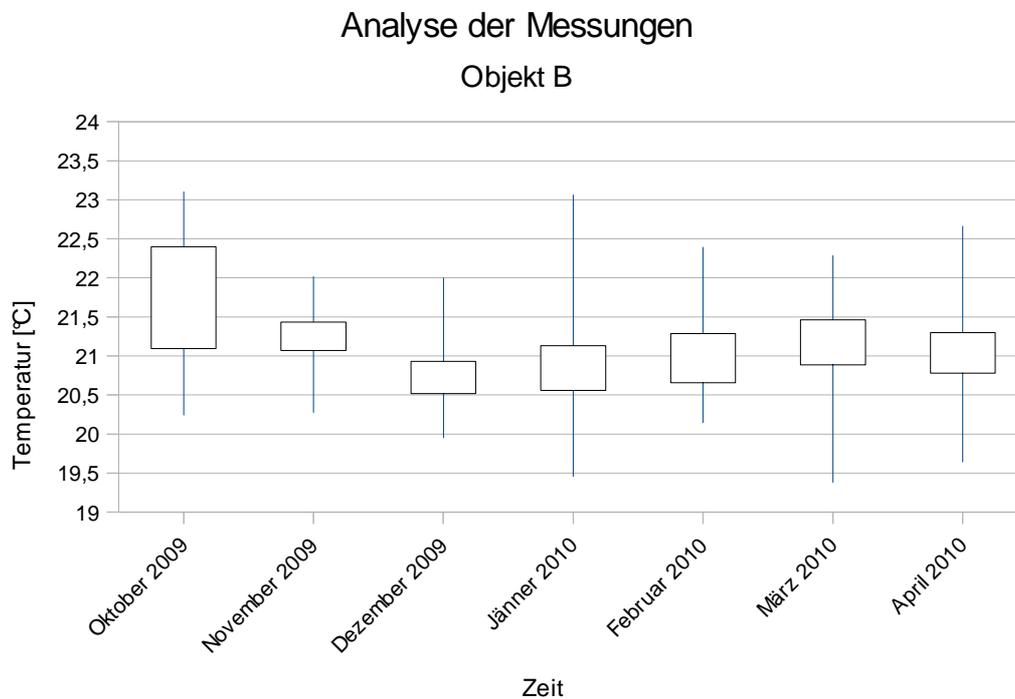


Abb. 44: Kastengrafik der monatlichen mittleren Raumtemperaturen im Objekt B

Im Objekt B sind die Kästen der Temperaturen während der 3 ersten Monate abgesunken. Dann sind die Kästen relativ stabil um 21°C geworden. Das vierte, sechste und siebte Monat weisen eine große Breite zwischen Maximum und Minimum auf. Und das erste Monat weist die größte Breite zwischen erstem Quartil und drittem Quartil auf (siehe Abb. 44).

2. Methodologie der Untersuchung

Im Objekt C waren die Kasten während der ganzen Heizperiode relativ stabil zwischen 21°C und 21,5°C (siehe Abb. 45). Im Objekt D ist es zu merken, dass die Kasten zwischen drittem und fünftem Monat stabil waren (siehe Abb. 46). Im Objekt E ist es zu merken, dass die Breiten zwischen Maximum und Minimum bei

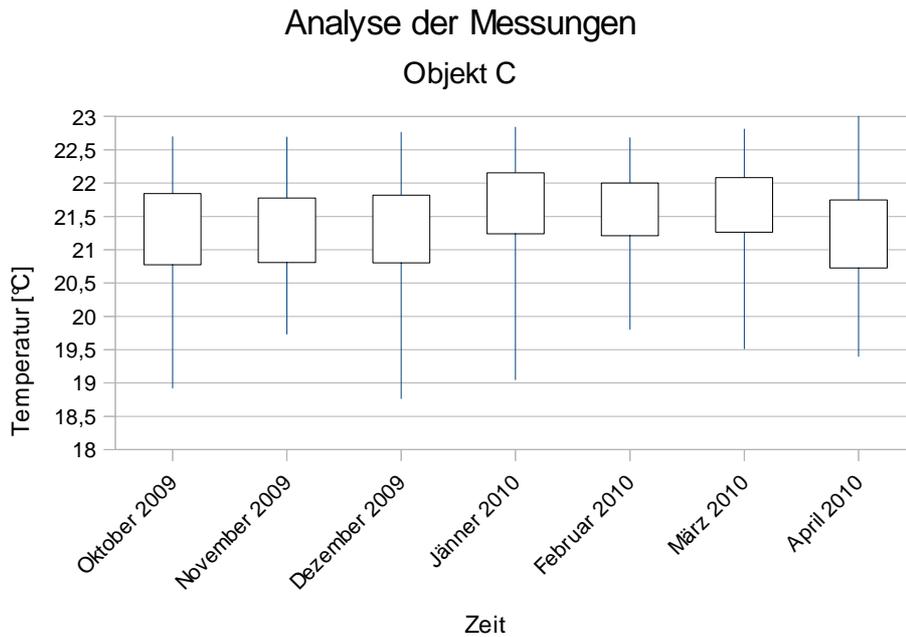


Abb. 45: Kastengrafik der monatlichen mittleren Raumtemperaturen im Objekt C

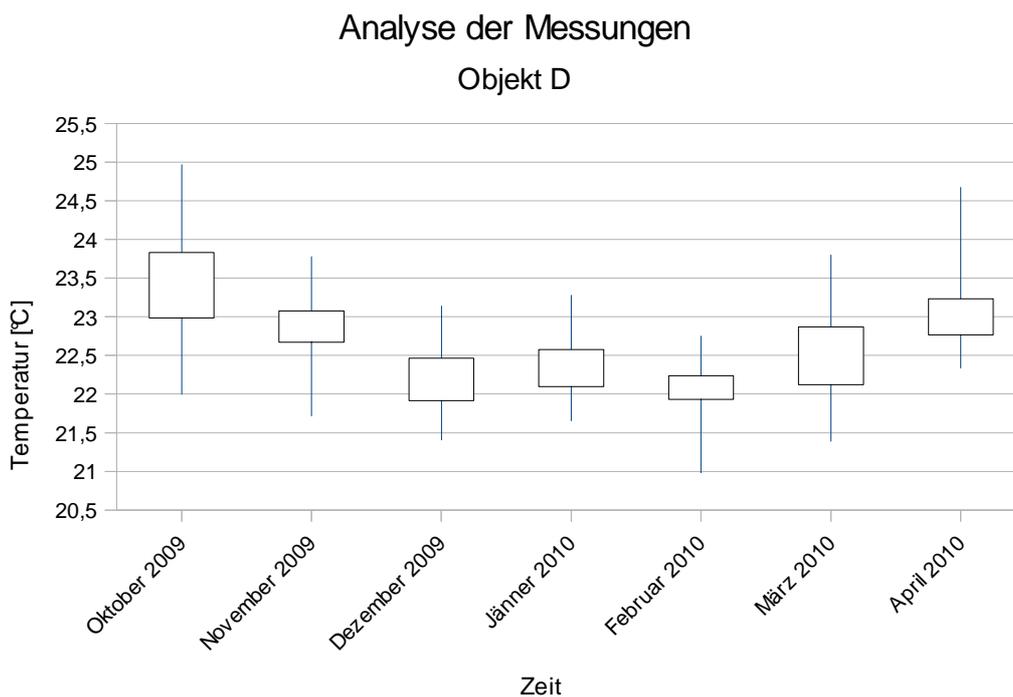


Abb. 46: Kastengrafik der monatlichen mittleren Raumtemperaturen im Objekt D

2. Methodologie der Untersuchung

allen Monate sehr groß sind. Es gab keine große Schwankung der Kasten (siehe Abb. 47).

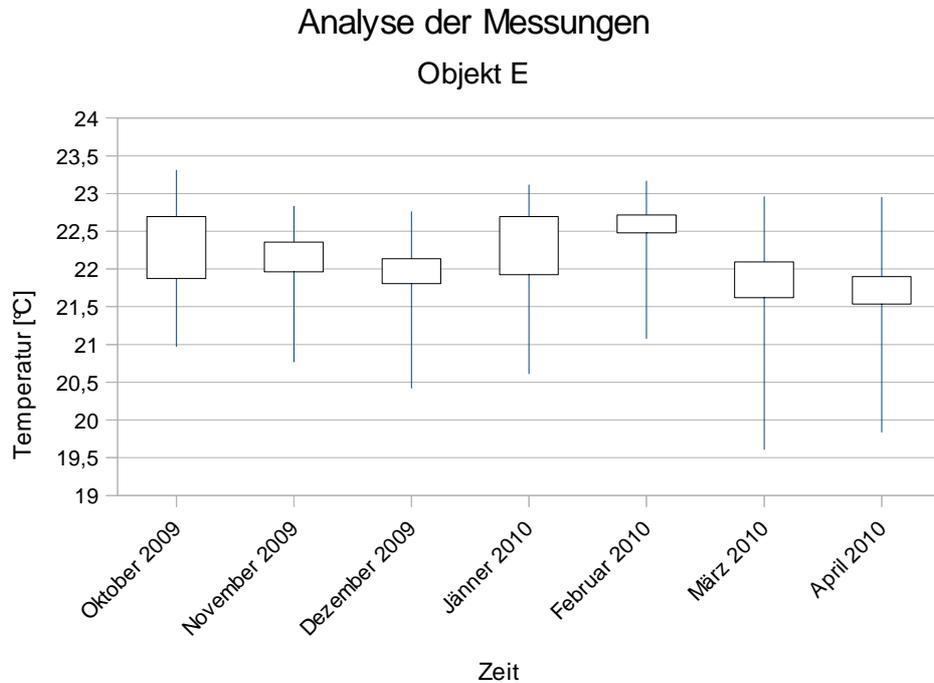


Abb. 47: Kastengrafik der monatlichen mittleren Raumtemperaturen im Objekt E

Im Objekt F sind die Kasten und die Breite zwischen Maximum und Minimum fast gleich jedes Monat (siehe Abb. 48).

2. Methodologie der Untersuchung

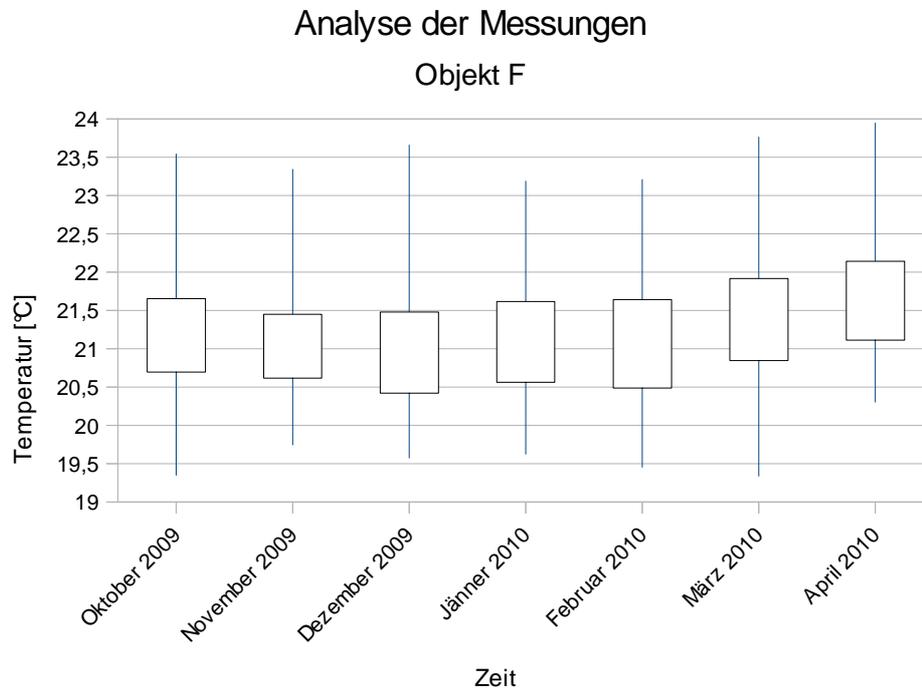


Abb. 48: Kastengrafik der monatlichen mittleren Raumtemperaturen im Objekt F

2. Methodologie der Untersuchung

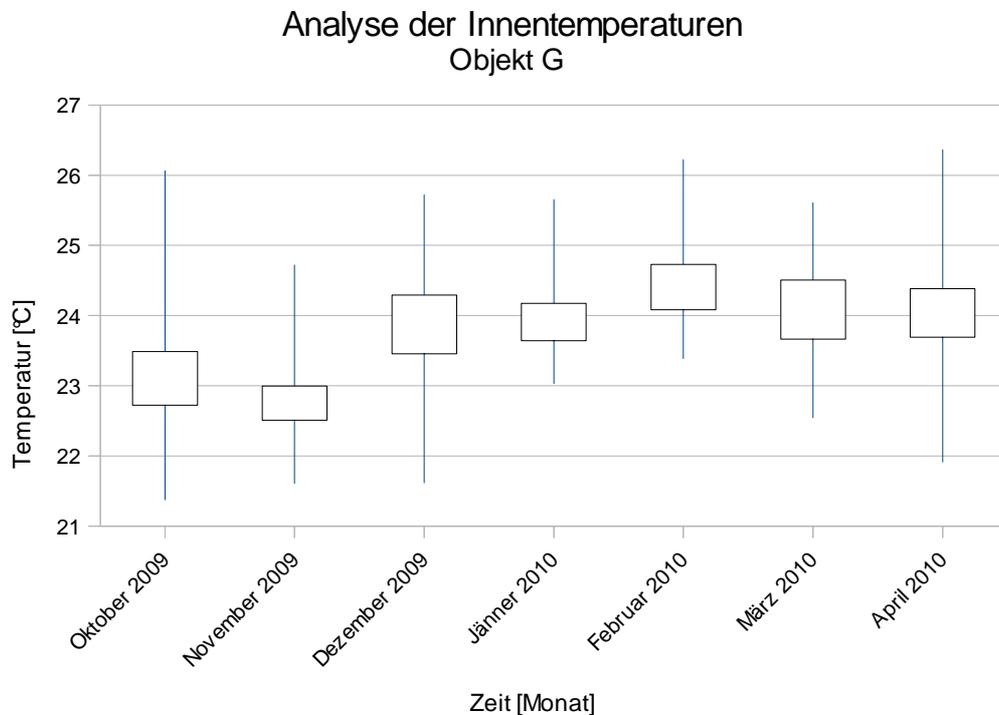


Abb. 49: Kastengrafik der monatlichen mittleren Raumtemperaturen im Objekt G

Die Kastengrafik des Objekts G zeigt, dass die höchsten Werte 26 °C erreichen. Weiters liegen die ersten Quartilen immer über 22,51 °C während der gesamten Heizperiode (siehe Abb. 49). Daraus ergibt sich, dass die Innenraumtemperaturen im Durchschnitt 0,51°C bis 2,08°C über dem Richtwert von 22°C lagen. Die Tiefstwerte der drei ersten Monate dieser Periode waren kleiner als der Richtwert. Die monatlichen ersten und dritten Quartilen zeigen große Schwankungen.

2. Methodologie der Untersuchung

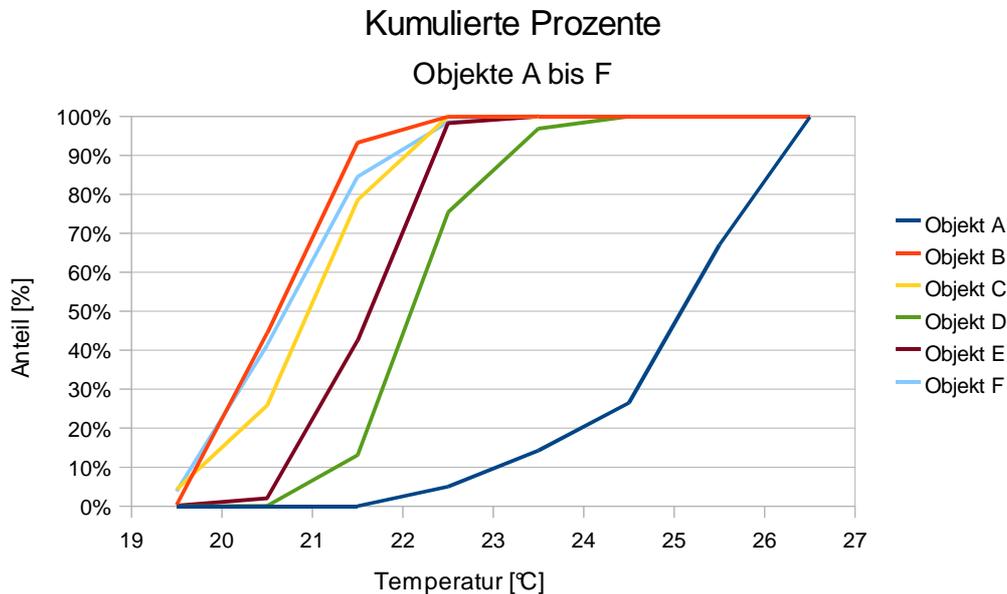


Abb. 50: Kumulative Darstellung der Innentemperaturen bei den Objekte A bis F während der Heizperiode

Um die Messungsergebnisse besser zeigen zu können werden kumulierte Prozente dargestellt. Hierfür wird für die Objekte A bis F der stündliche Mittelwert der Messungsergebnisse jedes Objekts ermittelt, jede Temperaturintervalle erstellt, die in Prozenten umgerechnet und anschließend addiert werden. Auf Grund dessen kann man der grafischen Darstellung (siehe Abb. 50) entnehmen, dass die Innentemperaturen der Objekte B, C, E und F fast die selben Merkmale beweisen. Dies heißt die Temperaturen lagen während 80 (Objekt C) bis 98% (Objekt E) der Heizperiode unter 22 °C. Im Objekt D lagen die Temperaturen während 75 % der Heizperiode unter 22 °C und während 97 % unter 23 °C. Die Merkmale der im Objekt A aufgenommen Temperaturen unterscheiden sich stark von der der anderen Objekte. Während 25 % der Heizperiode lagen die Temperaturen unter 25 °C und während 80 % unter 26 °C.

2. Methodologie der Untersuchung

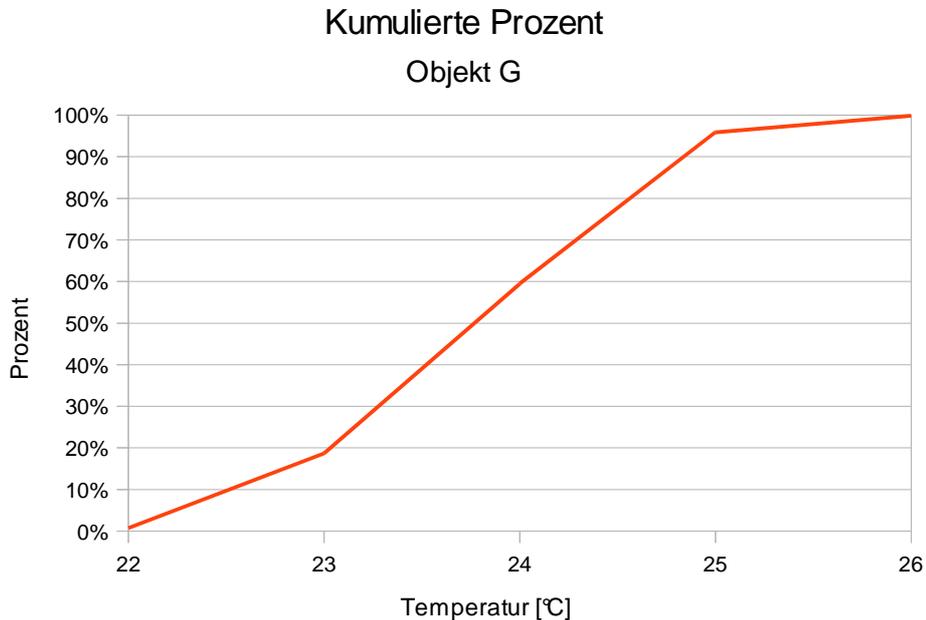


Abb. 51: Kumulierte Prozent der Innentemperaturen beim Objekt G

Mit der Darstellung der kumulierten Prozente wird deutlich (siehe Abb. 51), dass die Innentemperaturen während 80 % der gesamten Heizperiode (4137 Stunden auf 5088) über 23 °C und während 41 % der Heizperiode (2063 Stunden auf 5088) über 24 °C liegen.

In beiden Fällen sieht man, dass die Innentemperaturen während der ganzen Heizperiode über den Richtwerten waren. Deswegen ist es wesentlich den Einfluss dieser Diskrepanz in Bezug auf den Heizwärmebedarf zu analysieren.

Statt den Richtwert von 20°C für T_i anzuwenden, kann der HWB auch mittels der monatlichen mittleren Innentemperatur T_{mi} ermittelt werden, um ein genaueres Modell zu nützen. Jetzt ist der HWB eine Funktion von T_{mi} : $HWB = f(T_{mi})$.

2. Methodologie der Untersuchung

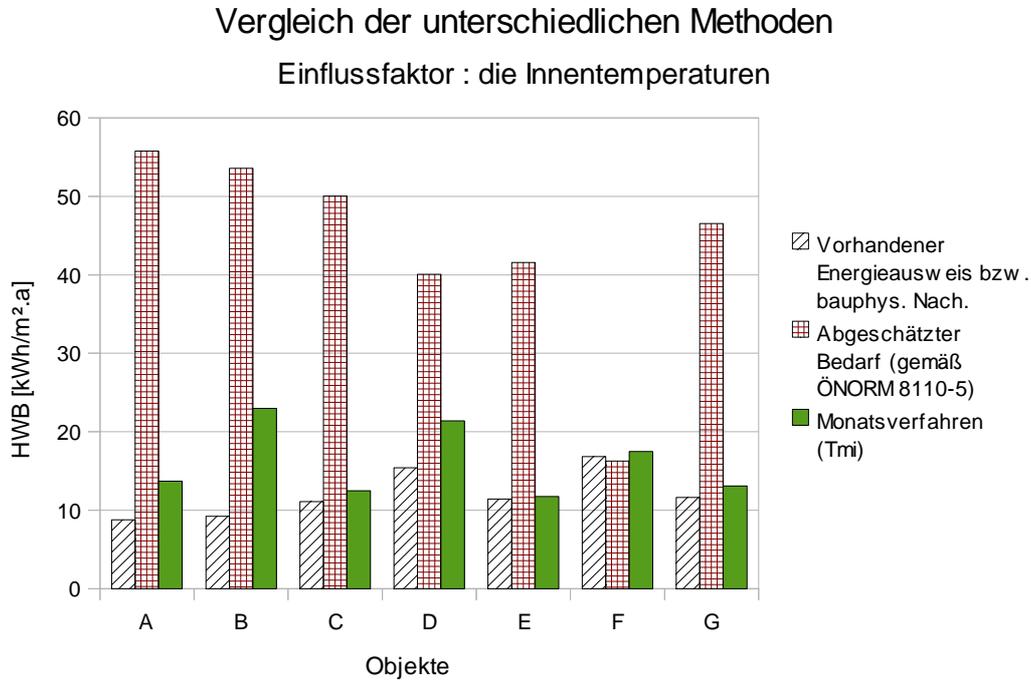


Abb. 52: Vergleich HWB mit T_{mi}

Der HWB wurde mittels des Monatsbilanzverfahrens und der Messungen der Innentemperaturen ermittelt. Man sieht, dass sich der berechnete HWB erhöht hat, aber dadurch allein wird der abgeschätzte HWB nicht erklärt (siehe Abb. 52).

3.4 Mittlere Wärmestromdichte q_i

Unter mittlerer Wärmestromdichte q_i [W/m^2], versteht man alle inneren Wärmequellen, wie beispielsweise die Elektrogeräte, die Lampen (insbesondere die Glühbirnen) und die von den BewohnerInnen abgegebene Wärme. Als mittlere Wärmestromdichte wird ein Wert von $3,75 W/m^2$ bei EFH, MFH und Pflegeheimen gemäß der ÖNORM 8110-5:2010 genommen. Passivhäuser sollen eine mittlere Wärmestromdichte von $2,1 W/m^2$ gemäß der ÖNORM 8110-5:2010 aufweisen. Der früher bei Energieausweisen verwendete Wert der mittleren

2. Methodologie der Untersuchung

Wärmestromdichte q_i lag bei 3 W/m^2 bei EFH und MFH und bei 5 W/m^2 bei Pflegeheim. Mittels des Jahres- bzw. Monatsbilanzverfahrens und der Richtwerte der anderen Einflussfaktoren (T_{mi} , T_{ma} und LWZ) konnte der HWB nach Änderung der Wärmestromdichte ermittelt werden. Je größer q_i , desto größer sind die internen Wärmegewinne Q_i [$\text{kWh/m}^2\cdot\text{a}$] und desto kleiner ist der HWB. Es bedeutet, dass der HWB für die Gebäude A bis F absinken und er für das Gebäude G aufnehmen soll.

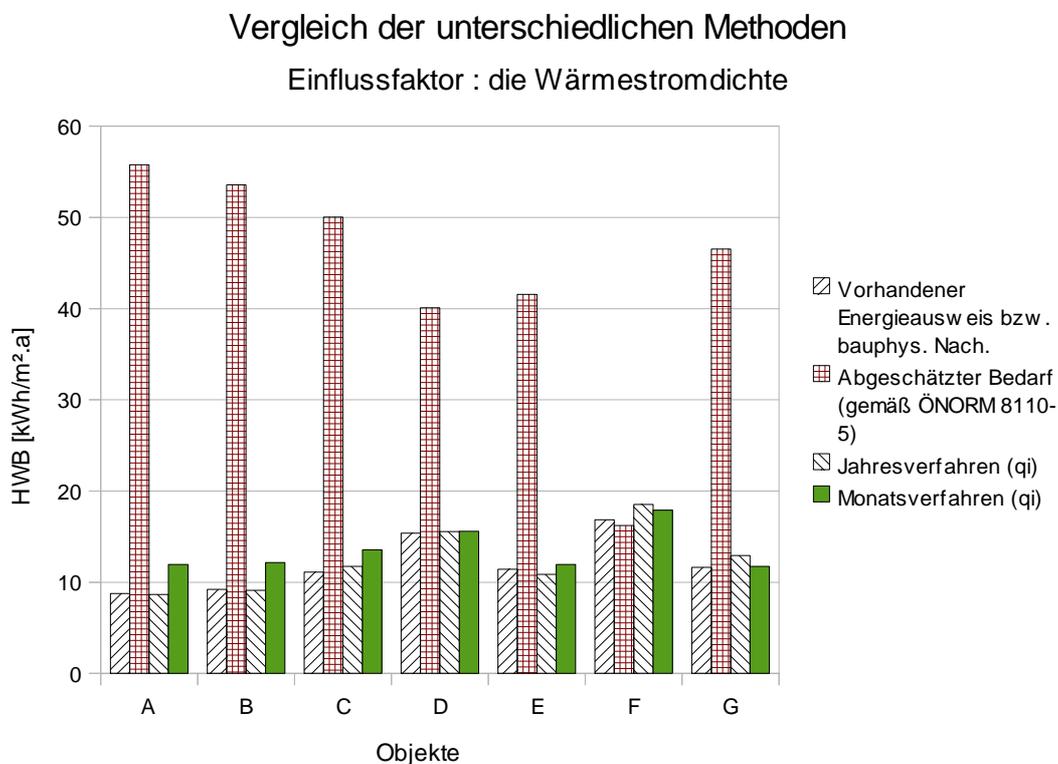


Abb. 53: HWB nach Verfahren mit dem aktuellen Richtwert von q_i ($3,75 \text{ W/m}^2$)

Auf Grund dessen kann nicht die Änderung der mittleren Wärmestromdichte den Unterschied zwischen den abgeschätzten und den berechneten HWB erklären (siehe Abb. 53). Und eine Verkleinerung der mittleren Wärmestromdichte, d.h. auf $2,1 \text{ W/m}^2$, was dem Richtwert eines Passivhauses entspricht, ist nicht vorstellbar,

2. Methodologie der Untersuchung

da es, laut Umfrageergebnissen, kein so großes Elektrogerät der Energiesparklasse A bzw. A+ bzw. A++ gibt, die dem gerecht werden.

3.5 Luftwechselzahl n

Normalerweise sollen die Fenster bei einem Passivhaus nicht geöffnet werden, sonst würden Wärmeverluste provoziert. Eine Lüftungsanlage sorgt für den hygienischen Luftwechsel. In der Wirklichkeit werden die Fenster aber geöffnet. Auch im Winter. Bei welchen Wohnungen? Wann? Wie oft? Und wie lange? Diese Fragen können nicht mit Genauigkeit beantwortet werden.

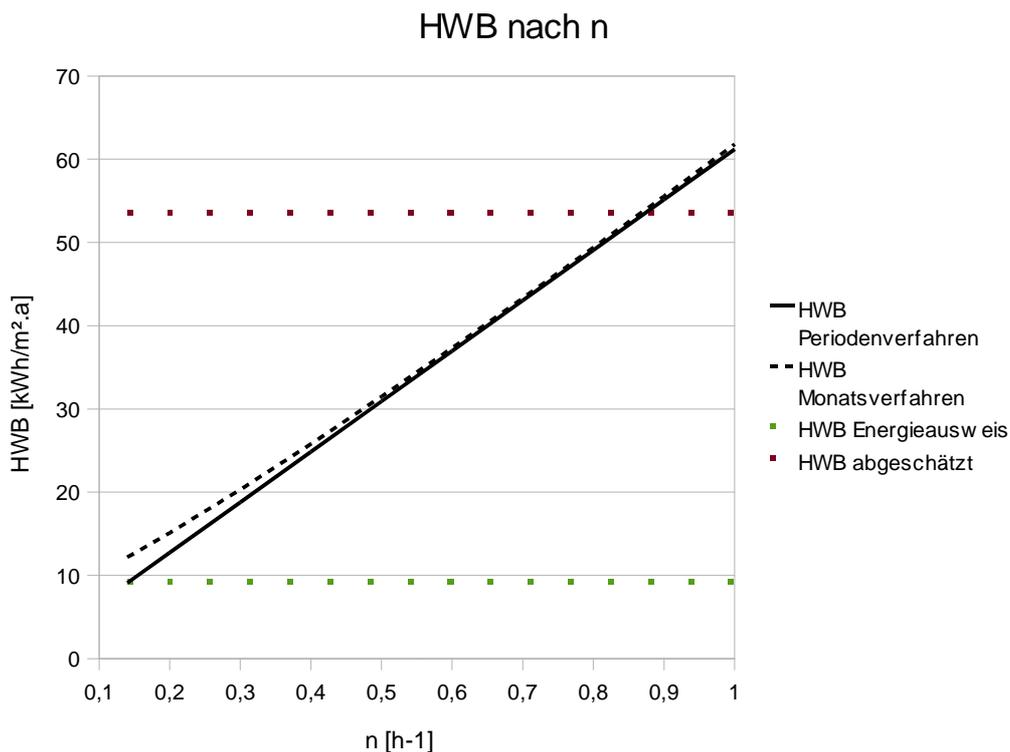


Abb. 54: HWB nach n für das Objekt B

Die Lüftungswärmeverluste (siehe 2.5.3.3) hängt wie folgt von dem Lüftungswert ($L_v = \rho_A \cdot c_A \cdot n \cdot V_N$) ab, d.h. von der LWZ (n) ab. Um das Verhältnis des HWB zu

2. Methodologie der Untersuchung

simulieren, ändert sich der Wert der LWZ mit einem Schritt von $0,1 \text{ h}^{-1}$ von dem offiziellen Sollwert bis zu einer maximalen LWZ von 1 h^{-1} . In dem Fall, ist der HWB eine Funktion der LWZ: $\text{HWB} = f(n)$. Je größer der Luftwechsel, desto größer sind die Wärmeverluste (siehe Abb. 54).

Die LWZ bezieht sich auf die maschinelle Lüftungsrate n_{Anl} und die Infiltrationsrate n_x . Die tatsächliche maschinelle Lüftungsrate wird mittels η_v des Nutzungsfaktors des Wärmeübertragers (WRG in %) erreicht und sie bleibt konstant. n_x besteht aus der erwünschten und aus der unerwünschten Infiltration. Die unerwünschte Infiltration ist sehr gering, da die Luftdichtheit der Gebäude während der Sanierung erhöht wurde. Es bleibt nur die erwünschte Infiltration, d.h. die Fensterlüftung, entweder Stoßlüftung oder gekippte Fenster. Deswegen bedeutet eine Erhöhung von n eigentlich eine Erhöhung der Fensterlüftung.

Tab. 22: Benötigte LWZ (in h^{-1}) um dem abgeschätzten HWB zu erreichen

Abgeschätzter HWB	Objekte	LWZ laut Energieausweis	LWZ Jahresverfahren	LWZ Monatsverfahren
[kWh/m ²]		[h ⁻¹]	[h ⁻¹]	[h ⁻¹]
55,76	A	0,14	0,92	0,91
53,55	B	0,14	0,87	0,87
50,02	C	0,1	0,66	0,64
40,07	D	0,25	0,63	0,65
41,55	E	0,14	0,63	0,64
16,23	F	0,1	0,07	0,07
46,52	G	0,13	0,78	1,95

Der HWB zeigt sich sehr empfindlich von n . Ein Vervierfachen von n bringt ein Verfünfachen bis ein Versechsfachen des HWB. Eine erhöhte Luftwechselzahl kann mittels dem Jahresverfahren bzw. mit dem Monatsverfahren dem abgeschätzten HWB erklären (siehe Abb. 55 und Tab. 22). Deshalb können die Lüftungen diesen unerwarteten HWB erklären.

2. Methodologie der Untersuchung

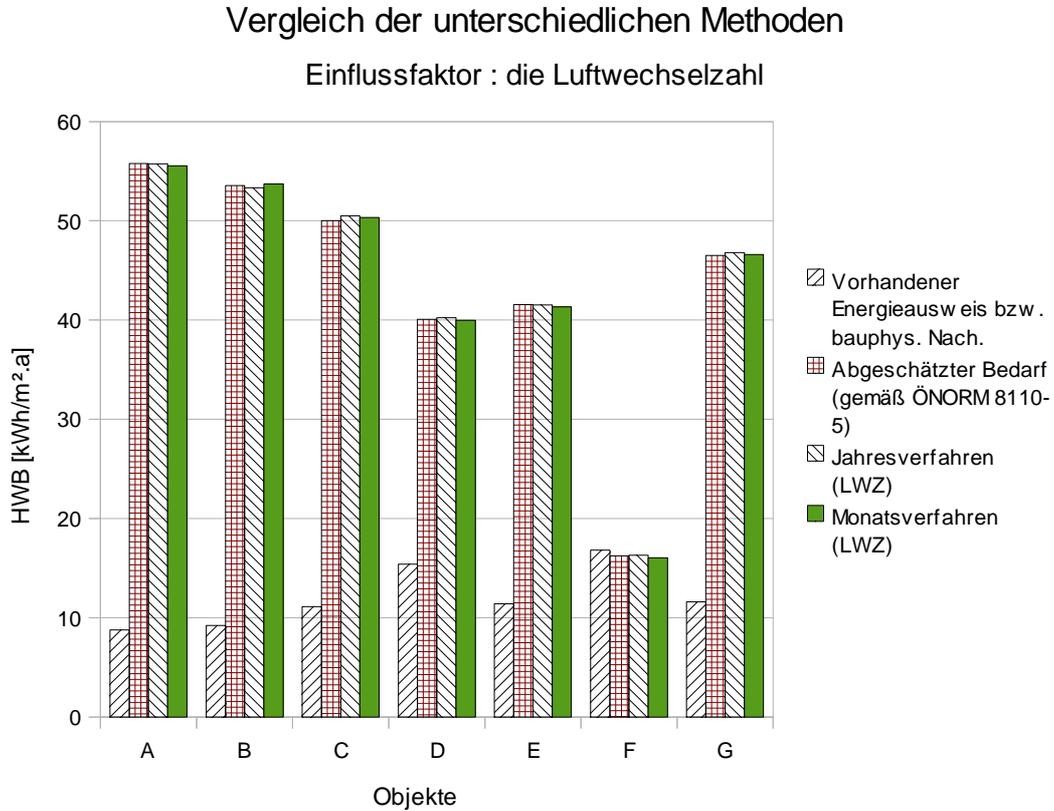


Abb. 55: HWB nach Verfahren mit den ermittelten Werte der LWZ

3.6 Angepasste Modelle

Es wurden 2 Arten von angepassten Modelle erstellt, um die Wichtigkeit der LWZ zu betonen.

3.6.1 Angepasste Modelle der 1. Art

Zuerst wurden die Berechnungen mittels den realistischsten bzw. aktuellen Werte der 3 ersten Einflussfaktoren (T_{ma} , T_{mi} und q_i) durchgeführt. Bzgl. der LWZ

2. Methodologie der Untersuchung

wurden in diesem Fall die Richtwerte verwendet. Alle 3 Berechnungsmethoden wurden benutzt, um den HWB zu ermitteln. Aber TAS wurde zweimal laufen gelassen. Zunächst anhand dem aktuellen Wert von q_i . Dann die Wärmestromdichten wurden nach der ASHRAE-Tabelle der Wärmestromdichte nach Tätigkeit eingetragen. Und Ablaufpläne (schedules) wurden mittels der Umfragenergebnisse erstellt.

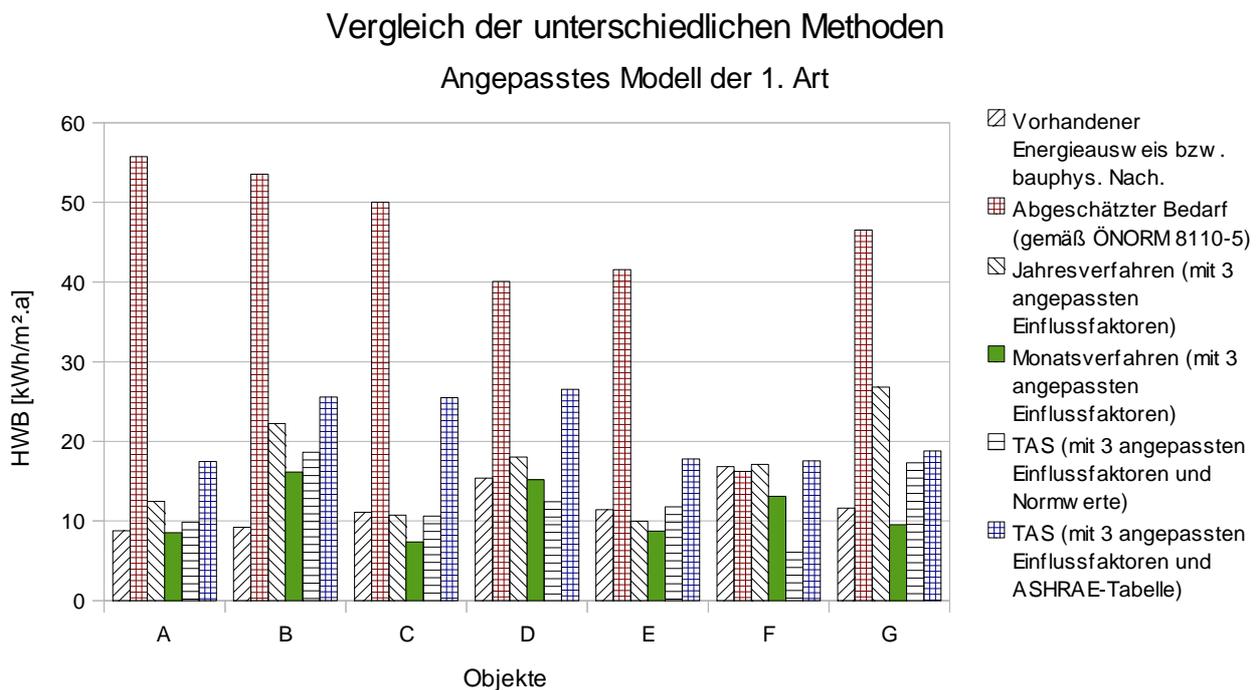


Abb. 56: HWB nach Verfahren mit 3 angepassten Einflussfaktoren (T_{ma} , T_{mi} und q_i)

Kein dieser Szenarios kann die Werte des abgeschätzten HWB erreichen (siehe Abb. 56).

3.6.2 Angepasste Modelle der 2. Art

Das genauere Modell besteht aus einer Berechnung des HWB mittels der monatlichen mittleren Innenraumtemperaturen T_{mi} und der monatlichen Durchschnitte der Tagesaußentemperaturen T_{ma} . Weiters werden angenommene realistische Werte für die Wärmestromdichte q_i und die Luftwechselzahl n verwendet, um die Berechnungen durchzuführen. Unter realistischer LWZ

2. Methodologie der Untersuchung

versteht man einen Näherungswert der ermittelten Werte der LWZ (siehe Tab. 23). Und dieser Näherungswert soll kleiner als die ermittelten Werte bleiben.

Tab. 23: Benötigte LWZ (in h^{-1}) um dem abgeschätzten HWB zu erreichen

Abgeschätzter HWB	Objekte	LWZ laut Energieausweis	LWZ Jahresverfahren	LWZ Monatsverfahren	TAS
[kWh/m ²]		[h ⁻¹]	[h ⁻¹]	[h ⁻¹]	[h ⁻¹]
55,76	A	0,14	0,76	0,97	0,67
53,55	B	0,14	0,51	0,59	0,49
50,02	C	0,1	0,62	0,80	0,67
40,07	D	0,25	0,53	0,58	0,54
41,55	E	0,14	0,61	0,74	0,57
16,23	F	0,1	0,09	0,16	0,26
46,52	G	0,13	0,33	1,63	0,62

Die Werte des angepassten Modells grenzen an die abgeschätzten Werte (siehe Abb. 57). Dieses Verfahren vereinigt die vorhergehenden Ergebnisse, d.h. die monatlichen mittleren Raumtemperaturen T_{mi} , die monatlichen Mittelwerte der Tagesaußen-temperaturen T_{ma} und die angenommenen Luftwechselzahlen n .

2. Methodologie der Untersuchung

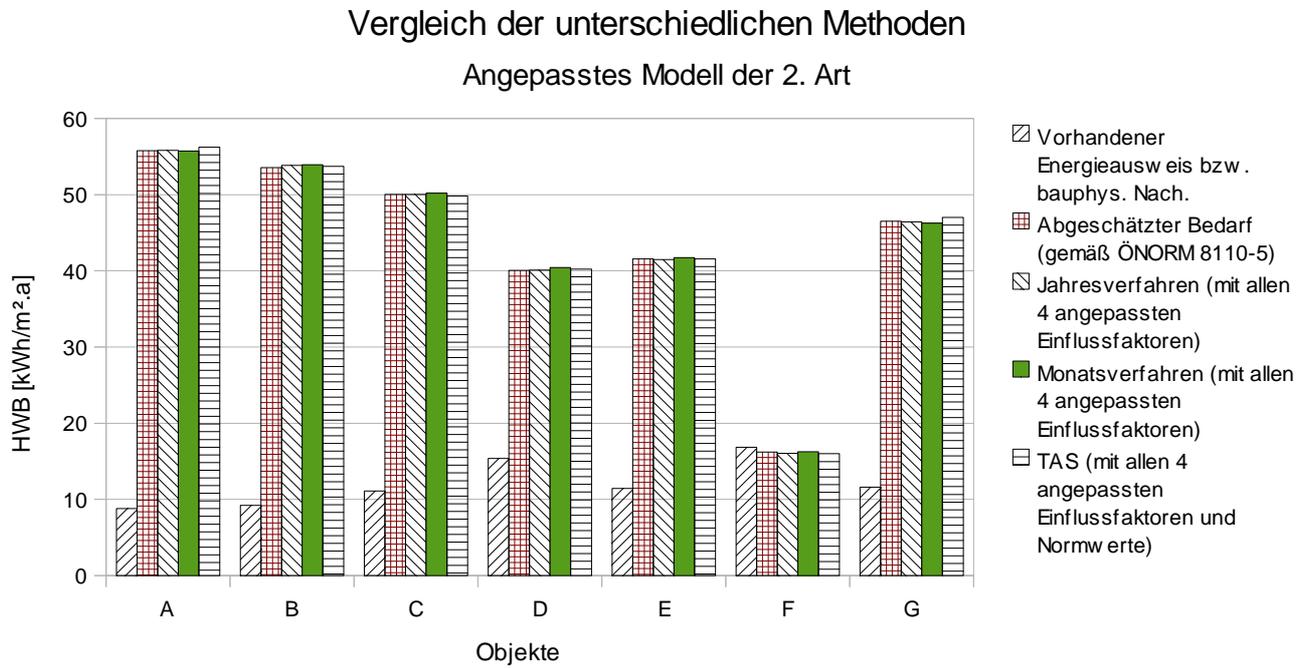


Abb. 57: HWB nach Verfahren mit allen 4 angepassten Einflussfaktoren (T_{ma} , T_{mi} , q_i und LWZ)

2. Methodologie der Untersuchung

3.7 Umfragergebnisse

Alle Antworten der BewohnerInnen sind in diesem Kapitel zusammengefasst. 16 Erwachsene und 3 Jugendliche haben die Fragebogen ausgefüllt. Der Direktor des Objekts G hat für seine Pensionisten, deren drei Zimmer untersucht wurden, die Fragebogen ausgefüllt. Das Ziel dieser Umfrage war objektive und subjektive Informationen von den NutzerInnen zu sammeln. Unter „objektiver Information“ versteht man tatsächliche Daten über das Verhalten. Und unter „subjektiver Information“ eine persönliche Beurteilung der sanierten Wohnung. Dann werden diese Datensätze miteinander verglichen, um herauszufinden, ob sie übereinstimmen.

Die Antworten der Umfrage sind in 8 verschiedenen Hauptthemen aufgeteilt : 1. Angaben über die Personen; 2. Angaben über die Wohnungen; 3. Daten über die Innenraumtemperatur; 4. Daten über die An- und Abwesenheit der BewohnerInnen; 5. Daten über die Lüftung; 6. Daten über die Elektrogeräte; 7. Subjektive Beurteilung der Sanierung und 8. Bedeutung des Begriffes „Passivhaus“.

1. Angaben über die BewohnerInnen :

1.1 Alter :

50 % > 60 Jahre
29 % 18 << 60 Jahre
13 % 14 <<< 18 Jahre
und 8% < 14 Jahre

1.2. Geschlecht :

54 % weiblich
46 % männlich

1.3. Anzahl der Personen pro Wohnung

42 % der Wohnung mit 1 Bewohner
25 % der Wohnung mit 2 Bewohner
25 % der Wohnung mit 3 Bewohner

2. Methodologie der Untersuchung

8 % der Wohnung mit 4 Bewohner

2. Angaben über die Wohnung :

Art von Bewohner :

16% der Bewohner sind Eigentümer

84 % der Bewohner sind Mieter (bzw. Pensionären)

28 % der Bewohner wohnten nicht in ihrer Wohnung vor der Sanierung

72 % wohnten schon in ihrer Wohnung vor der Sanierung

Kein Bewohner nutzt einen elektrischen Radiator als Zusatz im Winter

3. Daten über die Raumtemperatur bei der Wohnung :

In der untersuchten Wohnungen bzw. Zimmern liegt die Innenraumtemperatur, laut der EinwohnerInnen, bei :

22 °C für 33 %

23 °C für 42 %

25 °C für 8%

k.A. für 17 %

4. Daten über die Anwesenheit in der Wohnung :

4.1 an einem durchschnittlichen Arbeitstag

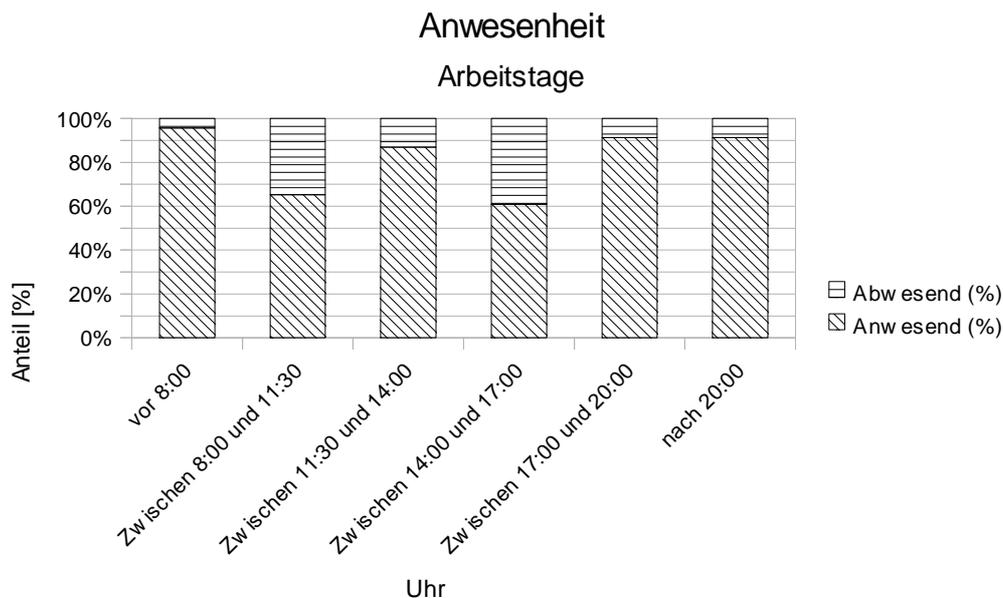


Abb. 58: An- und Abwesenheitsrate an den Arbeitstage

2. Methodologie der Untersuchung

4.2 an den Wochenenden

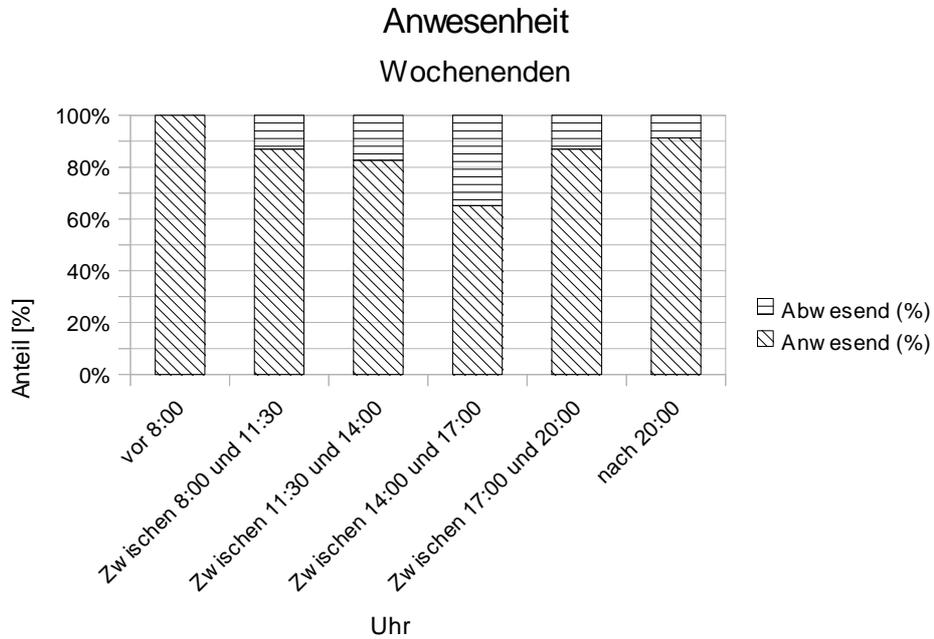


Abb. 59: An- und Abwesenheitsrate an den Wochenenden

4.3 während der Ferien (Weihnachtsferien 2009)

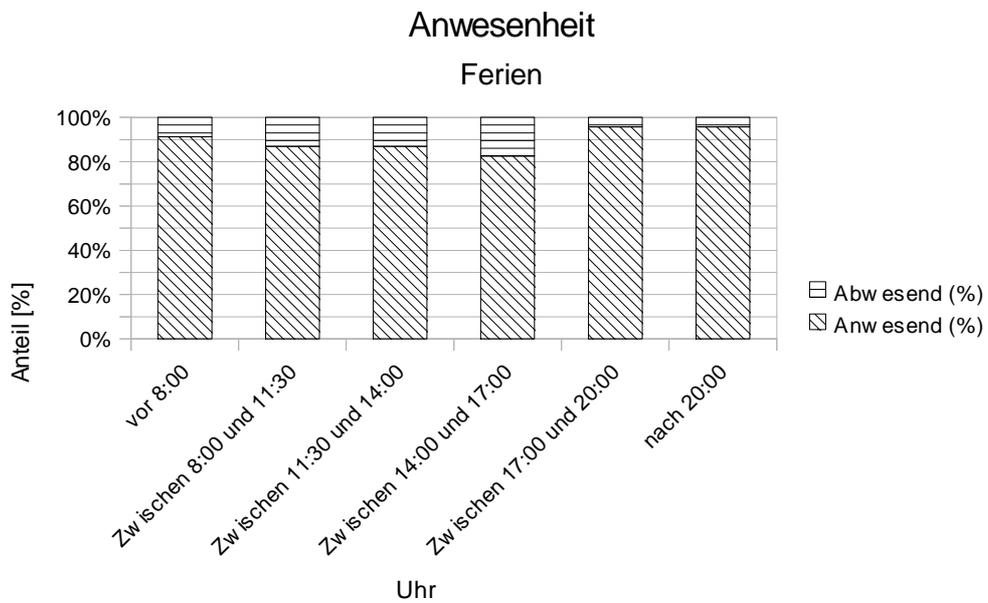


Abb. 60: An- und Abwesenheitsrate während der Ferien

2. Methodologie der Untersuchung

5. Daten über die Lüftung :

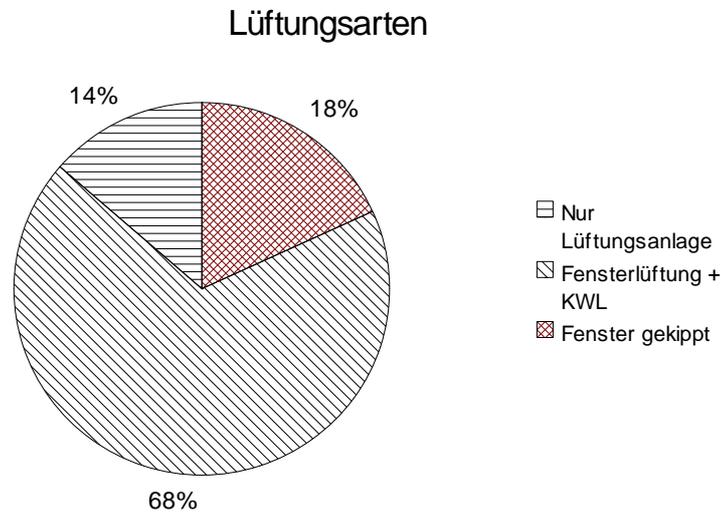


Abb. 61: Lüftungsarten nach Bewohner-Antworten

Laut der BewohnerInnen erfolgt die Lüftung entweder über KWL, oder über Fensterlüftung (Stoßlüftung) und KWL oder über gekippte Fenster und KWL (siehe Abb. 61). Jeder Bewohner bzw. jede Bewohnerin hat ein eigenes Verhalten mit der Lüftung.

Die Fenster, die meistens geöffnet sind, sind die folgenden Fenster (siehe Abb. 62)

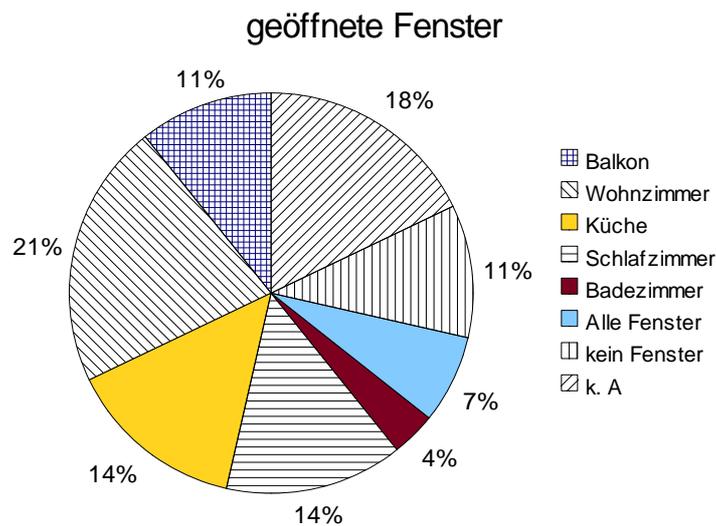


Abb. 62: Fenster, die meistens geöffnet sind

2. Methodologie der Untersuchung

Die Häufigkeit der Fensterlüftung ergibt sich wie folgt (siehe Abb. 63) :

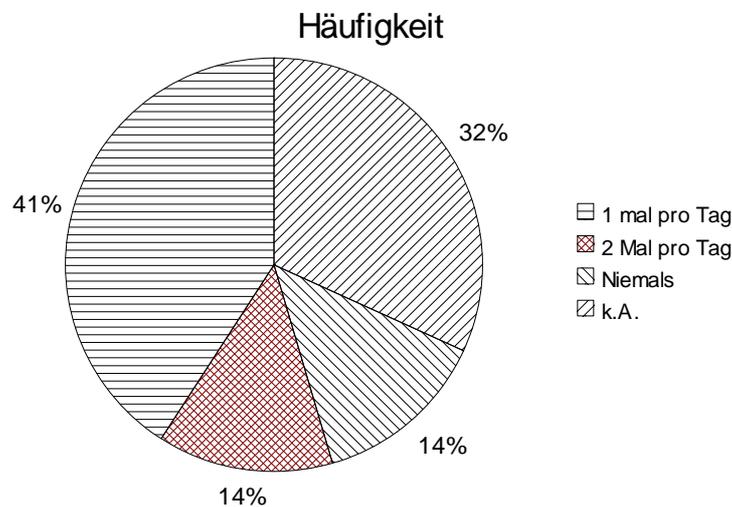


Abb. 63: Häufigkeit der Fensterlüftung

6. Daten über die Elektrogeräte :

Die Antworten sind für die neun Wohnungen und die drei Zimmer des Objekts G gegeben. Wichtig ist es die Anzahl und der Typ der Elektrogeräte zu kennen, um die Wärmestromdichte abschätzen zu können, da ein Anteil der elektrischen Energie wegen des Ohm'schen Gesetzes als Wärme in den Wohnungen bzw. Zimmer abgegeben wird. Um diese von den Elektrogeräte abgegebene Wärme abzuschätzen, muss man prinzipiell drei Merkmale dieser Elektrogeräte zu kennen: die Leistung [W], die Nutzungsdauer [h] und den Wirkungsgrad [-]. Jene Geräte, die für eine lange Nutzungsdauer beansprucht werden wie beispielsweise Fernsehgeräte, Kühlschränke, Gefrierschränke, Waschmaschinen, und insbesondere Lampen haben, werden in den Berechnungen bevorzugt, weil sie die Wärmestromdichte stark beeinflussen. Im Gegenzug dazu werden Geräte wie Bügeleisen, Toaster, Mixer, usw., welche nur einen kurzfristigen Einfluss haben, vernachlässigt.

2. Methodologie der Untersuchung

Fernsehgeräte pro Wohnung	1 Stück 50 %
	2 Stücke 33%
	3 Stücke 8%
	kein 8%
Zeit beim Fernsehen	1 Stunde / Woche 11%
	2 Stunden / Woche 22 %
	3 Stunden / Woche 33 %
	4 Stunden / Woche 11 %
	8 Stunden / Woche 11 %
	10 Stunden / Woche 11 %
Glühbirnen (<i>Abk.</i> GB) versus Energiesparlampen (<i>Abk.</i> ES)	mehr GB als ES 33%
	mehr ES als GB 44 %
	k.A. 22 %
Waschmaschine in der Wohnung	1 Stück 67 %
	Außerhalb der Wohnung 33 %
Kühlschrank pro Wohnung	1 Stück 50 %
	2 Stücke 17 %
	Außerhalb der Wohnung 25 %
	k.A. 8 %
Tiefkühlschrank	1 Stück 17%
	2 Stücke 17%
	kein 67 %

7. Subjektive Beurteilung der Sanierung :

Die BewohnerInnen bzw. Personal haben ihre Wohnhausanlage bzw. ihr Haus bzw. ihr Heim, was sich viel geändert ihrer Meinung nach hat, beurteilt, falls sie schon vor der Sanierung da wohnten. Für 90% der BewohnerInnen führt die Sanierung zu großen Änderungen des Aussehens (Frage 7.1.) und der Behaglichkeit (Frage 7.2.). Für 70 % der BewohnerInnen (siehe Abb. 64) gab es

2. Methodologie der Untersuchung

nach der Sanierung große Änderungen der Innenraumtemperaturen (Frage 7.3).

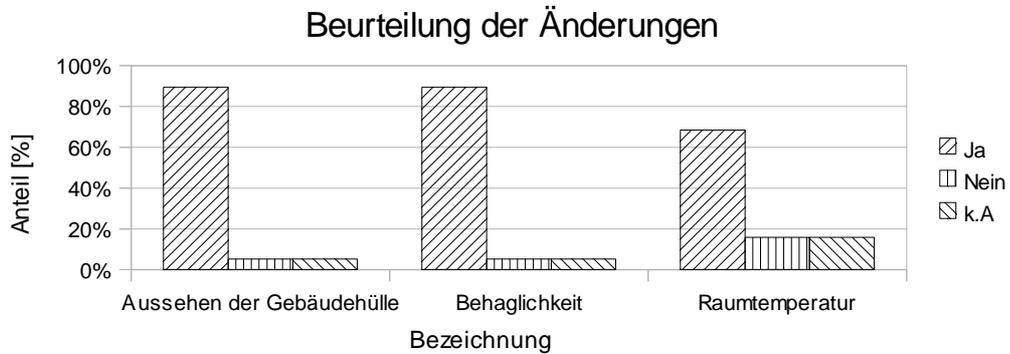


Abb. 64: Beurteilung der Änderungen

7.4. Änderung der Behaglichkeit

Es wurde wahrgenommen, dass es beispielsweise keine kalte Zone mehr in den beheizten Räumen gibt, oder, dass mehr Sonnenlicht hereinfällt, oder, dass es keine Nachtabsenkung mehr gibt (siehe Abb. 65).

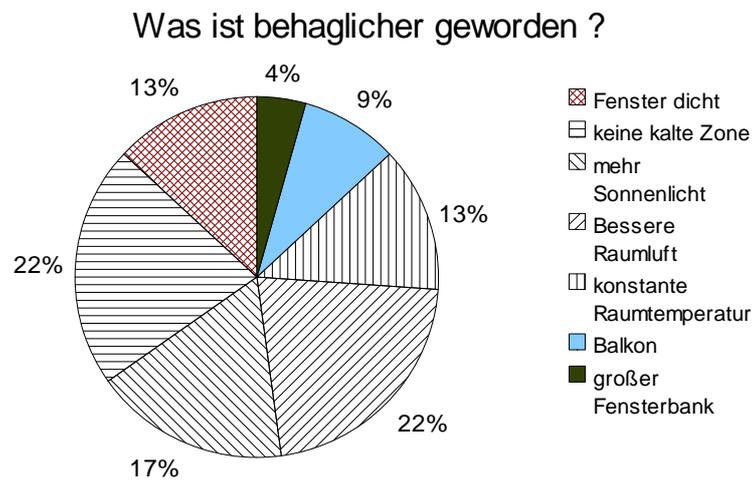


Abb. 65: Faktoren der Behaglichkeit

7.5 Änderungen des täglichen Verhaltens der BewohnerInnen seit der Sanierung :

2. Methodologie der Untersuchung

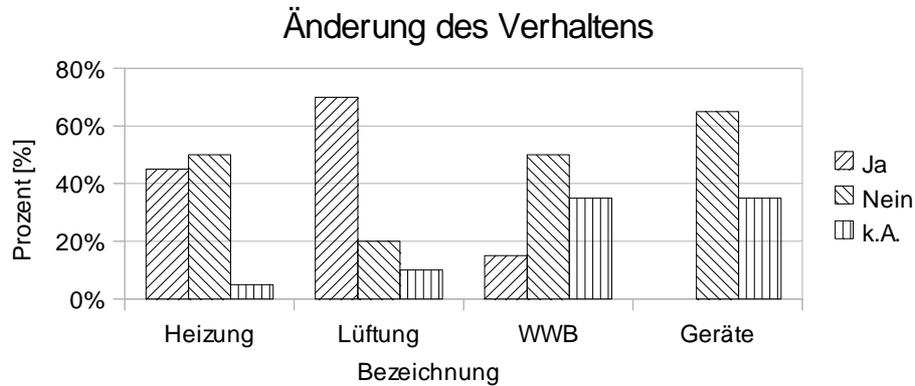


Abb. 66: Änderungen des Verhaltens

70 % der BewohnerInnen antworten, dass sie ihr Verhalten in Bezug auf die Lüftung geändert haben. Und weniger als 50% ihr Verhalten in Bezug auf die Heizung. Im Gegensatz nehmen 50 % der BewohnerInnen keine Änderung bei der WWB wahr (siehe Abb. 66).

8. Bedeutung des Begriffes „Passivhaus“:

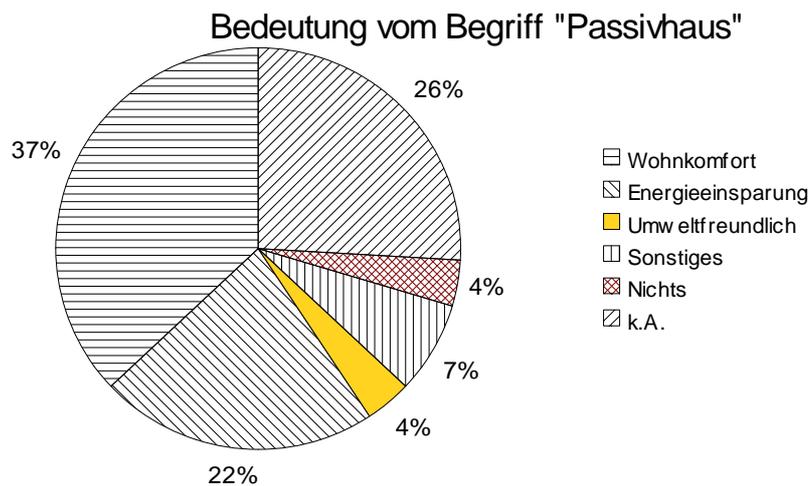


Abb. 67: Bedeutung vom Begriff "Passivhaus"

Für mehr als ein Drittel der BewohnerInnen bezieht sich das Passivhaus auf den Wohnkomfort. Ein Viertel der BewohnerInnen geben keine Angabe in Bezug auf

2. Methodologie der Untersuchung

den Begriff „Passivhaus“ an. Mit 22% wird die Energieeinsparung am meistens erwähnt (siehe Abb. 67).

4 Diskussion

4.1 HWB-Ergebnisse

Die Messungen bestätigen die Prämisse dieser Studie : die thermische Leistung der energiesparenden Gebäuden trifft in der Regel nicht die Erwartungen, ausgenommen dem Objekt F. Bei fast allen Gebäuden ist sozusagen das tatsächliche Überschreiten des geplanten HWB viel zu groß, um diese Diskrepanz in der zeitlichen befristeten Heizperiode zu erklären. Da der abgeschätzte HWB der Aufstockung fast genau den erwarteten HWB trifft, zeigt der Fall des Objekts F als Gegenbeispiel genau, dass der menschliche Faktor eine wichtige Rolle spielt.

4.2 HWB nach Einflussfaktoren

Alle vier Faktoren (das Wetter, die Luftwechselzahl, die mittleren Innenraumtemperaturen und der interne Wärmegewinn) haben sich kombiniert, um die thermische Leistung zu beeinflussen. Im welchen Umfang hat jeder Faktor das Endergebnis beeinflusst ?

4.2.1 Wetter

Als Faktor ist das Wetter mittels zwei Merkmalen zu berücksichtigen. Einerseits führt die langfristige Entwicklung des Klimas wegen Klimawandel eine Temperaturerhöhung durch, wobei davon ausgegangen werden kann, dass die Winter immer milder werden. Deswegen sollen die HWB absinken werden. Aber

4 Diskussion

ist das Klima andererseits kein lineares Modell wobei ein Winter kälter als der vorhergehende sein kann.

Die Innenraumtemperaturen sind vom Wetter kaum wahrnehmbar abhängig wie es beispielsweise die Tag-und-Nacht-Schwankungen zeigen (Siehe Abb. 68). Des Weiteren können Stoßlüftungen identifiziert werden, wobei der tägliche Mittelwert der Innenraumtemperaturen, unabhängig vom Wetter, relativ stabil bleibt. Dieses Ereignis ist eine Folge der Sanierungsmaßnahmen. Dazu besitzen die untersuchten Objekte (außer dem Objekt F) eine große Wärmespeichermasse.

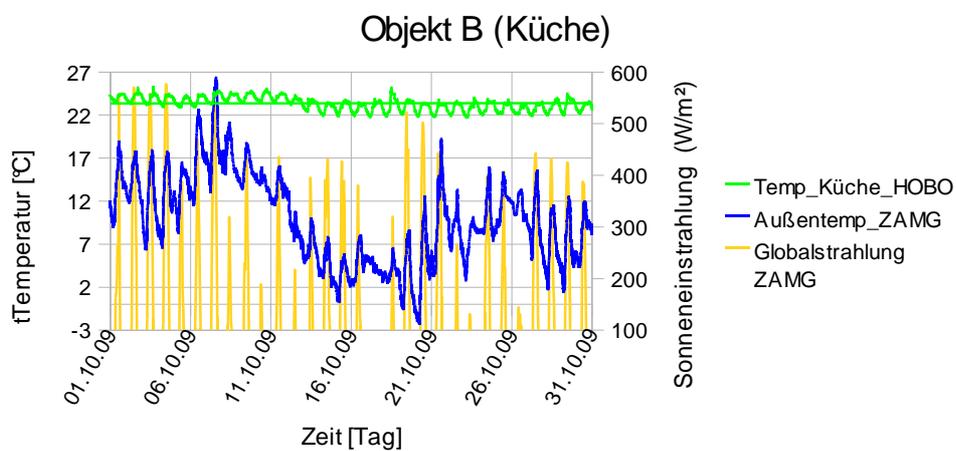


Abb. 68: Messungen der Innen- und Außentemperatur, der Globalstrahlung

4.2.2 Mittlere Innenraumtemperaturen

Die tatsächlichen mittleren Innenraumtemperaturen waren wie angenommen etwas höher als die Richtwerte. Eine Diskrepanz zwischen der Wirklichkeit und dem Richtwert wurde mit den Innenraumtemperaturen bemerkt., d.h. die mittleren Raumtemperaturen sind etwas höher (22°C) als der Richtwert (20°C), welcher für die Erstellung der Energieausweise angenommen wird. Es gibt natürlich einen spürbaren Unterschied zwischen Wohnzimmern, Küchen, Gänge, usw. und Schlafzimmern, in denen die mittleren Temperaturen in der Nacht etwas kälter sind. Diese tatsächlichen Raumtemperaturen können mittels der Behaglichkeit und des Komforts erklärt werden, wobei ein Raum mit höherer Temperatur als behaglicher berücksichtigt wird.

4 Diskussion

4.2.3 Wärmestromdichte

Die Wärmestromdichte konnte in fast allen Fälle den abgeschätzten HWB vergrößern, da die BewohnerInnen im Regelfall ihre Elektrogeräte (Kühlschrank, Fernsehgerät, Spül-, Waschmaschine, usw.) nach der umfassenden thermischen Sanierungen durch energiesparende Geräte mit einer Energiesparklasse A nicht ersetzt haben. Die Wärmestromdichte ist der einzigartige Faktor, der den HWB verringert, wenn sie größer wird. Weil der Einfluss dieses Faktors relativ klein bleibt, kann diese Studie den Umfang dieses Einflusses im Vergleich mit dem aller anderen Faktoren nicht beweisen.

4.2.4 Luftwechselzahl

Die LWZ erscheint als der bedeutsamste Einflussfaktor. Die Simulationen der HWB zeigen wie groß die LWZ sein soll, um den abgeschätzten HWB zu ermitteln. Es ist noch eine Diskrepanz. Diesmal mit den Anforderungen des Passivhauses. Bei einem Passivhaus sollen die Fenster nicht geöffnet bzw. gekippt werden, da die Lüftungsanlage ausreicht, um die Räume mit einem hygienischen Luftwechsel zu versorgen. Diese große LWZ ergibt sich aus der Fensterlüftung, welche für die Schlafzimmer bei der Nacht und bei den anderen Räumen wie den Wohnzimmer, der Küchen und dem Erholungsraum am Tag erfolgt.

4.2.5 Diskrepanz zwischen dem Objekt F und allen anderen Objekte

Die Einflussfaktoren-Analyse zeigt, wie die ersten Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsmethoden beweisen, eine Diskrepanz zwischen den Ergebnissen des Objekts F und jenen der anderen Objekte auf. Beim Objekt F liegen die Ergebnisse der verschiedenen HWB-Berechnungsmethoden nahe am abgeschätzten HWB, wie vom Wert des Energieausweises, wobei die Ergebnisse bei allen anderen Objekte mit einer Vervierfachung bis zu einem Sechsfachen

4 Diskussion

abgeschätzten HWB überhaupt nicht übereinander stimmen.

Es ist zu achten, dass das Verhältnis zwischen untersuchten Räume eines Objekts und der Gesamtanzahl der Räume dieses Objekts großen Unterschied aufweist. Beispielsweise wurden 3 Räume auf 6 im Objekt F durch Messgeräte untersucht, d.h. das Verhältnis beträgt in dem Fall 50%. Wenn die beheizte Nutzfläche bzw. das beheizte Volumen berücksichtigt würden, beträgt das Verhältnis im Objekt noch bessere Werte. Ganz im Gegenteil beträgt das Verhältnis im Objekt G einen geringen Wert, da 3 Zimmer auf 76 untersucht wurden. Es bedeutet, dass die simulierten Daten mittels der gemessenen Raumlufthtemperaturen für das Objekt F genauer als die für alle anderen Objekte sind. Beispielsweise weisen die Objekte A und B fast die gleichen Merkmale (bauphysikalischen Eigenschaften, Baujahr, Sanierungsdatum, HGT, HT, erwarteten HWB laut Energieausweis, usw.) außer der Ausrichtung des Gebäudes und den Bewohner auf. Wenn es angenommen wurde, dass alle Bewohner des Objekts A bzw. Objekts B ein selbes Nutzerverhalten wie das der Bewohner der untersuchten Wohnung im Objekt A bzw. im Objekt B haben, tritt eine große Diskrepanz zwischen den Performances der beiden Objekte (siehe Tab. 25) auf.

Eine Untersuchung der Innentemperaturmessungen kann vielleicht einen Verhaltens-unterschied zeigen. Der abgeschätzte HWB des Objekts F können wie folgt erklärt werden:

4 Diskussion

Tab. 25: Analyse der Innentemperaturmessungen

Objekte	Wohnung	Zimmer	Mittelwert [°C]	Standardabweichung [°C]	$ \Delta T < 0,5^\circ\text{C}$	$0,5^\circ\text{C} < \Delta T < 1^\circ\text{C}$	$1^\circ\text{C} < \Delta T < 2^\circ\text{C}$	$2^\circ\text{C} < \Delta T < 4^\circ\text{C}$	$ \Delta T \geq 4^\circ\text{C}$
A	1	Küche	21,17	0,64	98,32%	1,11%	0,42%	0,13%	0,01%
A	1	WZ	21,05	0,54	99,53%	0,34%	0,10%	0,01%	0,01%
B	1	Küche	25,06	1,07	98,45%	1,16%	0,32%	0,06%	0,00%
B	1	WZ	25,68	1,15	99,97%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%
C	1	WZ	23,67	0,82	99,45%	0,55%	0,00%	0,00%	0,00%
C	1	SZ	19,12	0,65	99,92%	0,07%	0,01%	0,00%	0,00%
C	2	WZ	22,29	0,86	99,60%	0,32%	0,06%	0,02%	0,00%
C	2	SZ	20,56	1,81	86,50%	7,73%	3,92%	1,23%	0,62%
D	1	WZ	22,89	0,77	97,49%	1,67%	0,66%	0,13%	0,04%
D	1	SZ	20,66	0,86	98,90%	0,64%	0,32%	0,12%	0,01%
D	2	WZ	23,47	0,54	98,79%	0,91%	0,28%	0,02%	0,00%
D	2	SZ	23,78	0,81	99,94%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%
E	1	WZ	23,01	0,79	95,27%	1,76%	1,17%	0,99%	0,81%
E	1	SZ	20,84	0,73	93,90%	1,64%	1,64%	1,25%	1,58%
E	2	WZ	23,5	0,47	99,90%	0,08%	0,01%	0,00%	0,00%
E	2	SZ	21,7	0,8	99,06%	0,36%	0,15%	0,12%	0,31%
F	1	WZ	22,12	0,86	98,54%	1,06%	0,35%	0,05%	0,00%
F	1	SZ	20,36	0,8	98,92%	0,85%	0,14%	0,04%	0,04%
F	1	BZ	21,17	0,84	99,42%	0,37%	0,10%	0,08%	0,02%
G	107/106	SZ	23,31	1,08	91,88%	4,35%	2,40%	1,03%	0,34%
G	202	SZ	23,64	1,04	94,82%	2,54%	1,39%	0,76%	0,50%
G	202	BZ	25,3	1,53	93,60%	4,36%	1,53%	0,34%	0,17%
G	323/320	SZ	23,65	1,37	90,09%	3,52%	2,42%	1,72%	2,25%
G	ER	ER	23,67	0,82	97,43%	1,03%	0,61%	0,49%	0,43%
Mittelwert			22,57	0,90	97,07%	1,52%	0,75%	0,36%	0,30%

Zuerst zeigt eine Analyse der Mittelwerte und der Standardabweichungen, dass die Mittelwerte der Innenraumtemperaturen ($22,12^\circ\text{C}$ bzw. $20,36^\circ\text{C}$ bzw. $21,17^\circ\text{C}$) und deren Standardabweichungen ($0,86^\circ\text{C}$ bzw. $0,8^\circ\text{C}$ bzw. $0,84^\circ\text{C}$) im Objekt F unten dem Mittelwert aller Innentemperaturen-Mittelwerte ($22,57^\circ\text{C}$) und dem aller Standardabweichungen ($0,9^\circ\text{C}$) liegen.

Dazu wurde eine Analyse der Temperatur-Stürzte durchgeführt. Die Temperatur-Stürze waren kleiner als $0,5^\circ\text{C}$ bei mehr als 98,5% der Messungen im Objekt F. Dies bedeutet, dass es im Objekt F weniger Stoßlüftung als bei meisten der anderen Objekte gab. Die erwachsenen Bewohner haben die Umfrage in Bezug auf die Lüftung wie folgt beantwortet : der weibliche Elternteil weist eine Lüftung über die kontrollierte Wohnraumlüftung und Stoßlüftung (1 Stunde pro Tag) auf. Der männliche Elternteil gibt eine Lüftung nur über die KWL. Die Messungen zeigen, dass es regelmäßig Stoßlüftung im Schlafzimmer gab. Nur einige Wohnungen (wie die erste Wohnung des Objekts A) weisen bessere Mittelwerte und Standardabweichungen der Temperaturen und bessere prozentualen

4 Diskussion

Temperatur-Stürzte als beim Objekt F auf (siehe Tab. 25).

Tab. 26: Kennwerte aller Objekte 1

Objekte	Wohnung	Zimmer	HWB [kWh/m ² .a]	HGT 2009/2010	HT 2009/2010	Um Opake Bauteile [W/m ² .K]	Um transparente Bauteile [W/m ² .K]	Lc [m]
A	1	Küche	55,76	3872	240	0,173	0,842	1,67
A	1	WZ						
B	1	Küche	53,55	3872	240	0,178	0,835	1,69
B	1	WZ						
C	1	WZ	50,02	3620	232	0,117	0,876	2,22
C	1	SZ						
C	2	WZ						
C	2	SZ						
D	1	WZ	40,07	3872	240	0,158	1,113	2,17
D	1	SZ						
D	2	WZ						
D	2	SZ						
E	1	WZ	41,55	3670	229	0,142	0,792	2,08
E	1	SZ						
E	2	WZ						
E	2	SZ						
F	1	WZ	16,23	3485	206	0,110	0,790	1,43
F	1	SZ						
F	1	BZ						
G	107/106	SZ	46,52	3415	200	0,303	1,230	3,79
G	202	SZ						
G	202	BZ						
G	323/320	SZ						
G	ER	ER						

Dann werden die bauphysikalischen Eigenschaften und die Hauptmerkmale des Wetters analysiert. Die HGT und die HT in Enns und Umgebung waren wärmer als in Vorarlberg. Dazu betragen die mittleren opaken und transparenten Bauteile des Objekts F die besten mittleren U-Werte :

- 0,11 W/m².K für die opaken Bauteile und 0,79 W/m².K für die transparenten Bauteile im Vergleich zu allen anderen Objekten (siehe Tab. 26). Die charakteristische Länge des Objekts F ist mit 1,43 m³/m² auch die Beste aller Objekte der Stichprobe, dies heißt sie bringt die geringste Wärmeaustauschfläche in Bezug auf das Volumen hervor. Mit dieser Merkmale soll das Objekt F den geringsten HWB aufweisen.

4 Diskussion

Tab.27: Kennwerte aller Objekte 2

Objekte	Wohnung	Zimmer	Qt/Qh [-]	Ql/Qh [-]	Qs/Qh [-]	Qi/Qh [-]
A	1	Küche	0,7	1,38	0,59	0,58
A	1	WZ				
B	1	Küche	1,43	1,73	0,9	0,86
B	1	WZ				
C	1	WZ	1,03	1,58	0,86	1,07
C	1	SZ				
C	2	WZ				
C	2	SZ	0,82	1,35	0,81	0,42
D	1	WZ				
D	1	SZ				
D	2	WZ				
D	2	SZ	0,81	1,37	0,79	0,76
E	1	WZ				
E	1	SZ				
E	2	WZ				
E	2	SZ	2,89	0,9	1,96	3,68
F	1	WZ				
F	1	SZ				
F	1	BZ	0,86	1,08	0,71	0,49
G	107/106	SZ				
G	202	SZ				
G	202	BZ				
G	323/320	SZ				
G	ER	ER				

Weiters werden insbesondere die Transmissionswärmeverlusten jedes Objekts berücksichtigt. Das Verhältnis zwischen jeder Komponente des Heizwärmebedarfs (Q_T , Q_V , Q_S und Q_i) und dem gesamten Heizwärmebedarf wird ermittelt. Mittels dieses Verhältnisses kann der Anteil der Transmissionswärmeverlusten mit den drei anderen Komponenten verglichen werden. Wieder unterscheidet sich hierbei das Objekt F von allen anderen Objekten, da der Anteil der Transmissionswärmeverlusten am Höchsten ist. Im Gegenteil sind die Lüftungswärmeverlusten im Objekt F ganz unten (siehe Tab. 27). Somit ist es zu erwarten, dass der abgeschätzte HWB des Objekts F der niedrigste HWB der Stichprobe aufweisen und es eine Diskrepanz geben soll. Beim energiesparenden Gebäude sind die Lüftungswärmeverluste nur mit dem Nutzerverhalten zu erklären. Da das Verhalten der Bewohner des Objekts F so gut mit den Anforderungen eines Passivhauses (bspw. keine Fensterlüftung durchzuführen) anpasst, kann man einen Hauptunterschied zwischen den Bewohnern des Objekts F

4 Diskussion

und den aller anderen Objekte betonen. Im Objekt F sind die Bewohner Eigentümer, in den anderen Objekte sind die Bewohner Mieter bzw. Pensionisten. Dazu arbeitet der männliche Elternteil des Objekts F im Fachbereich der energiesparenden Gebäuden und er hat selbst die Aufstockung zum Passivhausstandard und die Sanierung des Erdgeschosses zum Niedrighausstandard geplant. Bei allen anderen Objekte waren die Bewohner sich an der Planungsphase der Sanierungen nicht beteiligt. Dies kann dieser Verhaltensunterschied erklären.

.

4.3 Vergleich mit den vorherigen Studien

Die Ergebnisse dieser Studie stimmen mit dem Ergebnis der Studie von Schmitt et al. überein, obwohl jene nur auf einem Gebäude basiert, ähnelt sich das Zunahme-Verhältnis des HWB des Haus CasaClima Gold mit der Zunahme-Verhältnisse von den sechs Gebäuden der Stichprobe. Weil dieses italienische Mehrfamilien-Passivhaus in Südtirol liegt, können sie mit den Ergebnissen dieser Studie verglichen werden (zumindest mit den Vorarlberger Objekte der Stichprobe). Das Objekt F weist die besten bauphysikalischen Merkmale (U_m der opaken Bauteile, U_m der transparenten Bauteile und charakteristische Länge) auf. Dazu war der Winter in Enns und Umgebung milder als in Vorarlberg. Somit ist es zu erwarten, dass der abgeschätzte HWB des Objekts F der niedrigste HWB der Stichprobe sein und es eine Diskrepanz geben soll. Eine Kombination mehrerer Faktoren (LWZ, Wetter und defekte KWL) könnte den unerwarteten HWB während der Heizperiode 2007/2008 erklären (Schmitt Y. et al. 2008a).

4 Diskussion

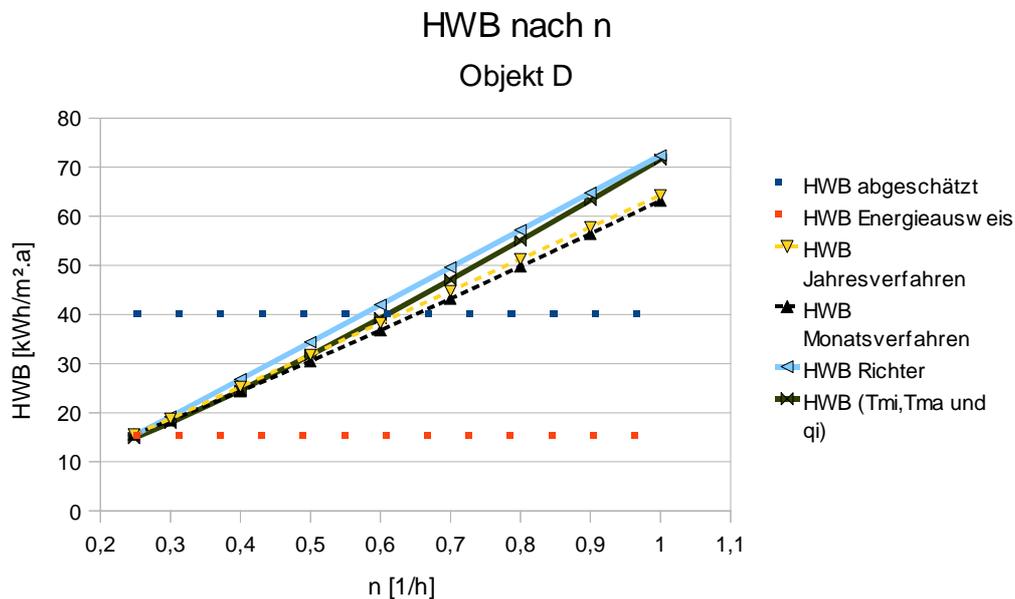


Abb. 69: Vergleich HWB nach n

Die Ergebnisse der Analyse untermauern die vorigen Werke über die Rolle der Luftwechselzahl. Aus der schon erwähnten Multifaktoren-Studie über energiesparende Doppel- und Reihenhäuser von Richter W. et al. ergab es sich, dass „eine Erhöhung der Raumtemperatur nur eine kleine Erhöhung des HWB und eine Erhöhung der Infiltrationsrate eine entscheidende Erhöhung des HWB durchführt“ (Richter W. et al. 2003). Aber trennen sich die Ergebnisse mit denen unserer Analyse. Mittels des angepassten Monatsbilanzverfahrens (Kapitel 3.5), erhöht sich der HWB der Objekte A bis F von ca. + 6,8 kWh/m².a. Der HWB des Objekts G erhöht sich nur von ca. + 3,2 kWh/m².a bei einer Erhöhung der Infiltrationsrate von + 0,1 h⁻¹. Jedoch erhöht er sich von ca. + 7,6 kWh/m².a bei dem Passivhaus der Studie von Richter et al. (siehe Abb. 69 und Tab. 28). Somit zeigt es sich, dass die Passivhäuser empfindlicher als Niedrigenergiehäuser sind.

4 Diskussion

Die vorliegende Studie stimmt mit der Schlussfolgerung von Guerra Santin et al.,

Tab. 28: Vergleich mit der Studie von Richter et al.

Objekte	Mittlere Zunahme des HWB [kWh/m ² .a] mit einer LWZ-Zunahme von 0,1 h ⁻¹
A	5,64
B	7,67
C	6,87
D	7,67
E	6,34
F	6,57
G	3,21
Richter et al.	7,6

insbesondere im Bezug auf die Innentemperatur und der Lüftung, überein. Die „Innentemperatur ist bei verschiedenen Typen von Gebäuden und Heizungssysteme oft verschieden bzgl. der Nutzerwünsche und -verhalten, welche auch von der thermischen Qualität des Gebäudes und vom Klima ab hängt. Die Lüftung und die Luftinfiltration n_x sind wichtige Faktoren in Bezug auf die Energienutzung, weil sie bei thermisch effizient Gebäuden den überwältigende Mechanismus der Wärmeverluste aufweisen. Die Stoßlüftung bzw. die gekippten Fenster „stehen für einen großen Anteil der LWZ bei bewohnten MFH“ (Guerra Santin O. et al. 2009).

Iwashita G. und Akasaka H. haben bewiesen, dass „sich ein großer Prozent der gesamten LWZ (87%) auf das Nutzerverhalten bezieht“. Unter der Annahme einer Wärmestromdichte von 3,75 W/m², ergibt sich aus dem optimierten Modell, dass sich 59 % bis 88 % der gesamten LWZ auf das Nutzerverhalten (außer dem Objekt F mit 41 %) beziehen. Der Mittelwert liegt bei 78%, und somit kleiner als bei Iwashita G. und Akasaka H..

4 Diskussion

4.4 Umfragen

Die Antworten der BewohnerInnen untermauern die Messungen und Ergebnisse der Studie. Die Anwesenheitsrate in allen Objekte ist tagsüber sehr hoch (mindestens 60 %), da 50% der BewohnerInnen Pensionisten. Dies könnte erklären warum die mittleren Lufttemperaturen höher als die Richtwerte waren und warum die Fenster tagsüber sehr oft geöffnet waren. Somit könnte der Großteil der Pensionisten die Endergebnisse der Stichprobe verzerrt haben. Alle Wohnungen sind mit Elektrogeräte gut ausgerüstet. Und im Regelfall waren diese Geräte relativ alt. Diese Tatsache bestätigt die Annahme bzgl. des Wertes der Wärmestromdichte q_i ($3,75 \text{ W/m}^2$). Das Passivhaus wird am meistens mit Behaglichkeit verbunden. Als hauptsächliche Merkmale der zum Passivhausstandard sanierten Objekte, wird man oft angegeben, dass es keine kalte Wand mehr gibt und die Räume heller geworden sind. Des Weiteren zählt auch die Energieeinsparung zu den am meistens erwähnten Merkmals eines Passivhauses. Mittels der Antworten aus der Umfrage konnte eine genauere Abschätzung der verschiedenen metabolischen körperlichen Wärmeabgaben bzgl. der thermischen Simulation gemacht werden.

Aber gibt es eine statistische Verzerrung bei der Antworten der Befragten. Die Formulare des Fragebogens wurden bei der dritten Anreise gegeben und die ausgefüllten Formulare bei der letzten Anreise genommen. Dies heißt die BewohnerInnen der Objekte A, B, C, D, und E haben die Formulare am 6.3.2010 bekommen und sie am 8.5.2010 zurückgegeben. Die BewohnerInnen des Objekts F haben sie am 21.2.2010 bekommen und sie am 2.5.2010 gegeben. Und der Direktor des Objekts G hat sie am 5.3.2010 empfangen und sie am 7.5.2010 gegeben. Die Fragen wurden für die ganze Heizperiode formuliert. Aber beziehen sich die Antworten der BewohnerInnen bzw. des Direktors wahrscheinlich auf ihr Verhalten der Tage bzw. der Wochen vor der Umfrage. Deswegen wurden diese Antworten nur als Hinweise über das Nutzerverhalten betrachtet.

5 Schluss

5.1 Konklusion

Dieser Studie entsteht aus einer Analyse des Unterschieds zwischen berechnetem Heizwärmebedarf und abgeschätztem Heizwärmebedarf von sieben zum Passivhausstandard bzw. fast Passivhausstandard sanierten Objekte aus den unterschiedlichen österreichischen Regionen. Mittels den Messungen und anhand einer Multifaktoren-Analyse wurden die Implikationen dieses Unterschieds vom Heizenergieverbrauch untersucht.

Diese Studie strebt die Erstellung einer auf empirische Daten basierten sorgfältigen Analyse an. Sie stütze sich auf die Messungen der in 24 Räumen und Zimmer zugeteilten Daten-Logger. In der vorliegenden Arbeit wurde somit mit Wetterdaten, Energieabrechnungen, einer Umfrage und dynamisch thermischen Simulationen erstellt. Dabei haben die Daten-Logger die Innenraumtemperaturen, die relativen Luftfeuchtigkeiten und die Sonneneinstrahlungen über die Heizperiode 2009-2010 gemessen. Wetterdaten wie Außentemperaturen, relative Luftfeuchtigkeiten, Globalstrahlungen, Windgeschwindigkeiten und Windausrichtungen wurden von fünf verschiedenen Wetterstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik aufgenommen. Wetterdaten wie diffuse Strahlungen und Wolkenbedeckungsgrade wurden mittels vorheriger Wetterdaten und einer Software numerisch generiert.

Diese Daten wurden bearbeitet, um die Prämisse der Studie zu bestätigen oder zu verwerfen. Diese Prämisse lautet wie folgt : die thermische Leistungen von zu einem Passivhausstandard sanierten Objekt erreichen mit Abstand ohne das angemessene Nutzerverhalten nicht ihr Optimum. Die Daten zeigen in der Regel eine Diskrepanz zwischen den erwarteten Werten und den abgeschätzten Werten auf. Bei sechs Objekten weisen der abgeschätzte Heizwärmebedarf einen

5 Schluss

überschätzten Wert auf. Beim übrigen Objekt stimmen die berechneten und abgeschätzten Werte übereinander. Eine Multifaktoren-Analyse wurde durchgeführt, um drei Ziele zu ermitteln :

- i) ob das Klima eine *entscheidende* Rolle hatte,
- ii) falls nein, welcher Faktor in Bezug auf das Nutzerverhalten den größte Einfluss hatte und
- iii) den Unterschied zwischen den homogenen Ergebnissen von sechs Objekten und den Ergebnisse des übrigen Objektes zu untersuchen, um die Ergebnisse dieses Objektes aufzuklären.

Wenn diese Analyse nicht definitiv feststellen kann, dass ein bestimmter Faktor diese Diskrepanz erklären kann, dann existiert eine Reihe von Tatsachen, die beweisen sollen, dass die Luftwechselzahl in Kombination mit dem Klima und den mittleren Raumtemperaturen eine entscheidende Rolle beim Sturz der thermischen Leistungen der Gebäude gespielt hat. Diese erhöhte Luftwechselzahl ist somit eine direkte Folge des Nutzerverhaltens.

5.2 Beitrag

Diese Studie verfolgt das Ziel, eine bessere Verständlichkeit der tatsächlichen thermischen Performance von bewohnten Passivhäuser und energiesparenden Gebäuden mittels abgeschätztem Heizwärmebedarf zu erweitern. Hauptsächlich wären zwei Merkmale dieser Studie zu nennen :

- eine zuverlässige Grunddatenquelle erteilen, um die Auswirkung des Nutzerverhaltens über den Heizenergieverbrauch von energiesparenden Gebäuden genauer abzuschätzen und
- die Genauigkeit der auf energiesparenden Gebäuden angewandten rechnerischen thermischen Simulation zu verbessern.

5.3 Entwicklungs- und Forschungsbedarf

Bezüglich des Nutzerverhaltens bei energiesparenden Gebäuden, können zumindest unterschiedlichen drei bedeutsame Forschungsansätze durchgeführt werden. Zunächst kann man eine ähnliche Studie für Nullheiz-, Null-, und Plusenergiehäuser durchführen. Die Anzahl der in diesen Baustandards gebauten Neubauten soll entwickeln. Durchaus wäre interessant eine Analyse des Umfangs des Nutzerverhalten auf solche energieeffizienten Gebäuden. Des Weiteren könnte eine Studie über ein einzelnes zum Passivhaus saniertes Objekt erfolgen. Um jedoch im Zuge dieser Studie genauere Ergebnisse, insbesondere im Bezug auf die Luftwechselzahl zu erhalten, sollte dabei die Anzahl an Messgeräten erweitert werden.

Wegen der makroökonomischen Auswirkungen des Nutzerverhaltens, könnte der Einfluss der Fachinformationen untersucht werden. Dies heißt in welchem Umfang die BewohnerInnen mittels Fachinformationen ihr Verhalten verändern, um die thermische Leistung ihrer Wohnung bzw. ihres Hauses zu verbessern. In diesem Fall soll man eine Studie mit zumindest zwei Stichproben von Gebäuden erstellen. Eine Stichprobe würde mit informierten NutzerInnen bewohnten Gebäuden entstehen. Die andere Stichprobe würde aus mit nicht besonders informierten NutzerInnen bewohnten Gebäuden bestehen.

Literatur

Literatur

ASHRAE Handbook 2005 Fundamentals (SI) – Kapitel 8 „Thermal comfort“

Biermayr P., Schriefl E., Baumann B., et al. 2005 *Maßnahmen zur Minimierung von Reboundeffekten bei der Sanierung von Wohngebäuden (MARESI)* BMVIT; Wien : 2005 - Berichte aus Energie- und Umweltforschung 6/2005

Branco G., Lachal B., Gallinelli P., et al. 2004 *Predicted versus observed heat consumption of a low energy multifamily complex in Switzerland based on long-term experimental data* Energy & Buildings 36 (2004) 543 -555

Castagna M., Schmitt Y., Troi A. 2008a *Analysis and optimization of a monitored passive house in Italy with dynamic simulation* Nuremberg : Passiv Haus Institut; 2008 – Working Group XV

Castagna M. et al. 2008b *Energy performance of buildings in the autonomous province of south Tyrol, Italy* World sustainable Building Conference, Melbourne, Australia 21st - 25th September 2008 – 7 p.

De Groot E., Spiekman M., Opstelten I. 2008 *Dutch research into user behavior in relation to energy use of residences* PLEA 2008 – 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th October 2008

Literatur

Domenig-Meisinger I., Willensdorfer A., Kraus B. et al. 2007 *Erstes Mehrfamilien-Passivhaus im Altbau : Passivhausstandard und -komfort in der Altbauanierung am Beispiel eines Großvolumigen MFH in Linz* 2007 : BMVIT; Wien - Berichte aus Energie- und Umweltforschung

EnergyWatchGroup 2007 : *Crude oil : the supply outlook*, report to the EWG October 2007

European Commission, Directorate-General for Energy and Transport 2005 *Doing more with less : Green paper on energy efficiency* Luxemburg : Office for Official Publications of the Europeans Communities, 2005 – Part B, Chapter Specific energy policy measures : Buildings, p. 21

European Environment Agency

<http://dataservice.eea.europa.eu/atlas/viewdata/viewpub.asp?id=3951>

Gieseler, U.; Heidt, F.D. 2005 *Bewertung der Energieeffizienz verschiedener Maßnahmen für Gebäude mit sehr geringem Energiebedarf – T3081* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag; 2005 – 128 p.

Guerra Santin O., Itard L., Visscher H. et al. 2009 *The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in a Dutch residential stock* Buildings & Energy 41 (2009) pp. 1223-1232

Literatur

Hens H., Parijs W., Deurink M. 2010 *Energy consumption for heating and the rebound effects* Energy and Buildings, Vol. 42, Issue 1, January 2010, pp 105-110 – International Conference on Building Energy and Environment (COBEE 2008)

Hoes P., Hansen J.L.M., Loomans M.G.L.C. et al. 2008 *User behavior in whole building simulation* Energy and Buildings 41; 2008 – p 2

HSBC Research (Hong-Kong & Shanghai Banking Corporation) 2011 *Energy in 2050 : will fuel constraints thwart our growth projections ?* London; – report Global Economics & Climate Change : p 14

Information Gemeinschaft Passivhaus Database :

<http://www.igpassivhaus.at/C3%96sterreich/DatenbankenFE/Objektdatenbank/tabid/120/language/de-DE/Default.aspx> (2010)

Internationalen Atomenergieorganisation (IAEA) ; die Nuclear Energy Agency der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD)

International Energy Agency 2006 *World Energy Outlook 2006* Head of Publications Service – Paris : IEA, 2006 - Chapter 9 : deepening the analysis by sector , p. 241

International Energy Agency 2010 *World Energy Outlook 2010* Head of

Literatur

Publications Service – Paris : IEA, 2010

Iwashita G., Akasaka H. 1997 *The effects of human behavior on natural ventilation rate and indoor air environment in summer — a field study in southern Japan* Energy & Buildings 25 (1997) pp 195-205

Kaltenegger E. Architektbüro 2009 *Ökosan die Modernisierungsinitiative – Schlußbericht zum Leistungspaket III Umsetzungsbegleitung* 2009 – 20 p

Laherrère J., Campbell C. J. 1998 *The End of Cheap Oil : Global production of conventional oil begin to decline sooner than most people think, probably within 10 years* Scientific American, March 1998, pp 78-93

Lang G. et alii 2004 *Erste Passivhaus-Schulsanierung : Ganzheitliche Faktor 10 Generalsanierung der Hauptschule II und polytechnischen Schule in Schwanenstadt mit vorgefertigten Holzwandelementen und Komfortlüftung* Wien : bmvit; 2004 – Berichte aus Energie- und Umweltforschung

Ökologischer Wohnbau 2006 *Leitfaden für die Berechnung des Heizwärmebedarfs – Berechnungsgrundlagen und Tabellen (für Berater und Berechner)* Ausgabe 15. Dez. 2006

ÖNORM 8110-5:2010, Tabelle 2 Nutzungsprofile (fortgesetzt); Seite 8

Literatur

Pusch C. et alii 2006 *Passivhaussanierung Klosterneuburg Kierling : Sanierung einer Wohnhausanlage aus den 1970er Jahren auf Passivhausqualität unter Nutzung erneuerbarer Energien* Zwischenbericht April 2006 – Haus der Zukunft, bmfv

Richter W., Ender T., Hartmann T. et. al. 2003 *Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern* Stuttgart : Fraunhofer IRB Verlag; 2003 – Bauforschung für die Praxis, Band 63 – 127 p.

Schneiders, J. 2003 *CEPHEUS : measurements results from more than 100 dwellings units in passive houses* – ECEEE 2003 Summer Study Time to turn down energy demand – pp. 341-351

Schneiders, J.; Hermelink, A. 2006 *CEPHEUS results : measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building* Energy Policy 34 (2006) p. 151-171

Streicher W. et al. 2004 *Benutzerfreundliche Heizungssysteme für Niedrigenergie- und Passivhäuser* Wien : BMVIT ; 2004 - Band 15, Berichte aus Energie- und Umweltforschung - 254 p.

United States Joint Forces Command 2008 *The Joint Operative Environment 2008* – Suffolk – p 17

Literatur

United States Joint Forces Command 2010 *The Joint Operative Environment 2010* – Suffolk – pp 28-29

Van Raaij F., Verhallen T. *Patterns of residential energy behavior* Journal of economic Psychology 4 (1983) pp 85-106

Wohngebäudesanierung mit Einspargarantie : Detailanalysen aus dem Zwischenbericht (Oktober 2000)

Yun G. Y., Tuohy P., Steemers K. 2009 *Thermal performance of a naturally ventilated building using a combined algorithm of probabilistic occupant behavior and deterministic heat and mass balance models* Building & Energy 41 (2009) pp. 489 – 499

Zentrum für Transformation der Bundeswehr 2010 *Peak Oil : Sicherheitspolitische Implikationen knapper Ressourcen Teil 1* Streitkräfte, Fähigkeiten und Technologien im 21. Jahrhundert, Umweltdimensionen der Sicherheit – Juli 2010 – Seite 6 www.zentrum-transformation.bundeswehr.de
November 2010

Zimmermann G. 2007 *Modeling and simulation of individual user behavior for building performance predictions* Proceedings of the 2007 summer computer simulation conference

Anhänge

Anhänge

1. Tabelle der Kolmogorov-Smirnov-Verteilung

Tab. 29: Tabelle der Kolmogorov-Smirnov-Verteilung

SAMPLE SIZE (N)	LEVEL OF SIGNIFICANCE FOR $D = \text{MAXIMUM} [F_0(X) - S_n(X)]$				
	.20	.15	.10	.05	.01
1	.900	.925	.950	.975	.995
2	.684	.726	.776	.842	.929
3	.565	.597	.642	.708	.828
4	.494	.525	.564	.624	.733
5	.446	.474	.510	.565	.669
6	.410	.436	.470	.521	.618
7	.381	.405	.438	.486	.577
8	.358	.381	.411	.457	.543
9	.339	.360	.388	.432	.514
10	.322	.342	.368	.410	.490
11	.307	.326	.352	.391	.468
12	.295	.313	.338	.375	.450
13	.284	.302	.325	.361	.433
14	.274	.292	.314	.349	.418
15	.266	.283	.304	.338	.404
16	.258	.274	.295	.328	.392
17	.250	.266	.286	.318	.381
18	.244	.259	.278	.309	.371
19	.237	.252	.272	.301	.363
20	.231	.246	.264	.294	.356
25	.210	.220	.240	.270	.320
30	.190	.200	.220	.240	.290
35	.180	.190	.210	.230	.270
OVER 35	<u>1.07</u> \sqrt{N}	<u>1.14</u> \sqrt{N}	<u>1.22</u> \sqrt{N}	<u>1.36</u> \sqrt{N}	<u>1.63</u> \sqrt{N}

Anhänge

2. Tabelle der t-Verteilung

Tab. 30: Tabelle der t-Verteilung

T-Tabelle									
Wahrscheinlichkeit im Mittelbereich		0,99	0,98	0,95	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
Wahrscheinlichkeit links / rechts		0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25
Wahrscheinlichkeit links + rechts		0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Freiheitsgrade	N-1:								
0	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!
1	63,65674	31,82052	12,70620	6,31375	3,07768	1,96261	1,37638	1,00000	
2	9,92484	6,96456	4,30265	2,91999	1,88562	1,38621	1,06066	0,81650	
3	5,84091	4,54070	3,18245	2,35336	1,63774	1,24978	0,97847	0,76489	
4	4,60409	3,74695	2,77645	2,13185	1,53321	1,18957	0,94096	0,74070	
5	4,03214	3,36493	2,57058	2,01505	1,47588	1,15577	0,91954	0,72669	
6	3,70743	3,14267	2,44691	1,94318	1,43976	1,13416	0,90570	0,71756	
7	3,49948	2,99795	2,36462	1,89458	1,41492	1,11916	0,89603	0,71114	
8	3,35539	2,89646	2,30600	1,85955	1,39682	1,10815	0,88889	0,70639	
9	3,24984	2,82144	2,26216	1,83311	1,38303	1,09972	0,88340	0,70272	
10	3,16927	2,76377	2,22814	1,81246	1,37218	1,09306	0,87906	0,69981	
11	3,10581	2,71808	2,20099	1,79588	1,36343	1,08767	0,87553	0,69745	
12	3,05454	2,68100	2,17881	1,78229	1,35622	1,08321	0,87261	0,69548	
13	3,01228	2,65031	2,16037	1,77093	1,35017	1,07947	0,87015	0,69383	
14	2,97684	2,62449	2,14479	1,76131	1,34503	1,07628	0,86805	0,69242	
15	2,94671	2,60248	2,13145	1,75305	1,34061	1,07353	0,86624	0,69120	
16	2,92078	2,58349	2,11991	1,74588	1,33676	1,07114	0,86467	0,69013	
17	2,89823	2,56693	2,10982	1,73961	1,33338	1,06903	0,86328	0,68920	
18	2,87844	2,55238	2,10092	1,73406	1,33039	1,06717	0,86205	0,68836	
19	2,86093	2,53948	2,09302	1,72913	1,32773	1,06551	0,86095	0,68762	
20	2,84534	2,52798	2,08596	1,72472	1,32534	1,06402	0,85996	0,68695	
21	2,83136	2,51765	2,07961	1,72074	1,32319	1,06267	0,85907	0,68635	
22	2,81876	2,50832	2,07387	1,71714	1,32124	1,06145	0,85827	0,68581	
23	2,80734	2,49987	2,06866	1,71387	1,31946	1,06034	0,85753	0,68531	
24	2,79694	2,49216	2,06390	1,71088	1,31784	1,05932	0,85686	0,68485	
25	2,78744	2,48511	2,05954	1,70814	1,31635	1,05838	0,85624	0,68443	
26	2,77871	2,47863	2,05553	1,70562	1,31497	1,05752	0,85567	0,68404	
27	2,77068	2,47266	2,05183	1,70329	1,31370	1,05673	0,85514	0,68368	
28	2,76326	2,46714	2,04841	1,70113	1,31253	1,05599	0,85465	0,68335	
29	2,75639	2,46202	2,04523	1,69913	1,31143	1,05530	0,85419	0,68304	
30	2,75000	2,45726	2,04227	1,69726	1,31042	1,05466	0,85377	0,68276	
31	2,74404	2,45282	2,03951	1,69552	1,30946	1,05406	0,85337	0,68249	
32	2,73848	2,44868	2,03693	1,69389	1,30857	1,05350	0,85300	0,68223	
33	2,73328	2,44479	2,03452	1,69236	1,30774	1,05298	0,85265	0,68200	
34	2,72839	2,44115	2,03224	1,69092	1,30695	1,05248	0,85232	0,68177	
35	2,72381	2,43772	2,03011	1,68957	1,30621	1,05202	0,85201	0,68156	
49	2,67995	2,40489	2,00958	1,67655	1,29907	1,04752	0,84902	0,67953	
99	2,62641	2,36461	1,98422	1,66039	1,29016	1,04189	0,84527	0,67698	
499	2,58572	2,33384	1,96473	1,64791	1,28325	1,03751	0,84234	0,67498	
999	2,58076	2,33009	1,96234	1,64638	1,28240	1,03697	0,84198	0,67474	
9999	2,57632	2,32672	1,96020	1,64501	1,28164	1,03649	0,84166	0,67451	
"Normalverteilung"	2,58	2,33	1,96	1,65	1,28	1,04	0,84	0,67	

Anhänge

3. Thermal Comfort – ASHRAE Handbook

Tab. 31: menschliche körperliche Wärmeabgabe nach Tätigkeit

	W/m ²	met [*]
Resting		
Sleeping	40	0.7
Reclining	45	0.8
Seated, quiet	60	1.0
Standing, relaxed	70	1.2
Walking (on level surface)		
3.2 km/h (0.9 m/s)	115	2.0
4.3 km/h (1.2 m/s)	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	220	3.8
Office Activities		
Reading, seated	55	1.0
Writing	60	1.0
Typing	65	1.1
Filing, seated	70	1.2
Filing, standing	80	1.4
Walking about	100	1.7
Lifting/packing	120	2.1
Driving/Flying		
Car	60 to 115	1.0 to 2.0
Aircraft, routine	70	1.2
Aircraft, instrument landing	105	1.8
Aircraft, combat	140	2.4
Heavy vehicle	185	3.2
Miscellaneous Occupational Activities		
Cooking	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	130	2.2
Machine work		
sawing (table saw)	105	1.8
light (electrical industry)	115 to 140	2.0 to 2.4
heavy	235	4.0
Handling 50 kg bags	235	4.0
Pick and shovel work	235 to 280	4.0 to 4.8
Miscellaneous Leisure Activities		
Dancing, social	140 to 255	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	175 to 235	3.0 to 4.0
Tennis, singles	210 to 270	3.6 to 4.0
Basketball	290 to 440	5.0 to 7.6
Wrestling, competitive	410 to 505	7.0 to 8.7

Sources: Compiled from various sources. For additional information, see Buskirk (1960), Passmore and Dumin (1967), and Webb (1964).

*1 met = 58.1 W/m²

Anhänge

4 Hobo-Logger

Das US-Unternehmen Onset stellt den Daten-Logger HOB0[®] U12 her. Die technischen Daten dieses Produkts lauten wie folgt :



Abb. 70: Hobo-Logger

Messungen-Bereich:

Temperaturen: von -20° bis 70°C

Relative Luftfeuchtigkeit (RL) : von 5% bis 95%

Lichtintensität: 1 bis 3000 lumens/ft² (typisch)

Die höchsten Werte ändern sich zwischen 1500 und 4500 lumens/ft²

Analoger Abführkanal:

0 bis 2.5 Vdc (w/CABLE-2.5-STEREO); 0 bis 5 Vdc (w/CABLE-ADAP5); 0 bis 10 Vdc (w/ CABLE-ADAP10); 4-20 mA (w/CABLE-4-20MA)

Genauigkeit:

Temperatur: $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ von 0° bis 50°C, sehen Plot A

RH: $\pm 2.5\%$ von 10% bis 90% RH (typisch), bis einem Maximum von $\pm 3.5\%$, siehe Plot B

Anhänge

Lichtintensität: Konzipiert für Innenmessungen der relativen Lichtlevels, sehen Plot D für Licht Wellenlänge Ansprechen

Außeneingabe Abführkanal (sehen sensor manual): $\pm 2 \text{ mV} \pm 2.5\%$ von absoluten Auslesen

Auflösung:

Temperatur: 0.03°C bei 25°C , sehen Plot A

RL: 0.03% RL

Stichproberate:

1 Sekunde bis 18 Stunden, von Nutzer wählbar

Drift:

Temperatur: $0.1^\circ\text{C}/\text{Jahr}$

RL: $<1\%$ per Jahr typisch; RL Hysterese 1%

Zeit-Ansprechen in Luftstrom von 1 m/s

Temperatur: 6 Minuten, typisch bis 90%

RL: 1 Minute, typisch bis 90%

Zeitgenauigkeit: ± 1 Minute per Monat bei 25°C , sehen Plot C

Betriebstemperatur:

Logging: -20° bis 70°C

Start/Auslesen: 0° bis 50°C , per USB Spezifikation

Batteriedauer: 1 Jahr typische Nutzung

Speicherkapazität: 64K bytes

Gewicht: 46 g

Dimensionen: 58 x 74 x 22 mm

5. Hoboware

Um die Daten-Logger einzustellen und auszulesen, wurde die Software Hoboware benutzt. Bei der Einstellungen der Hobo-Loggers, wurden die Zeitintervalle zwischen zwei Messungen (15 Minuten), die Bezeichnung (Ort, Wohnung und

Anhänge

Raum), das Startdatum und die Uhrzeit (Winter- bzw. Sommerzeit) festgelegt. Die Ladekapazität der Batterie wurde auch überprüft (siehe Abb. 71).

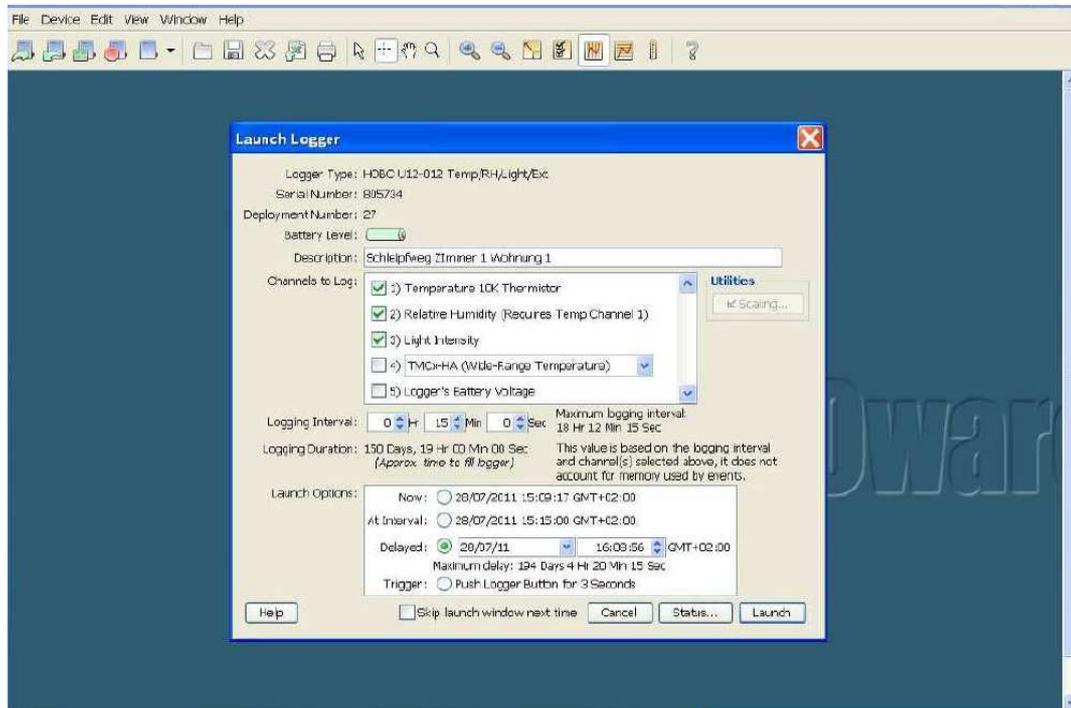


Abb. 71: Status für die Einstellungen eines Hobo-Loggers

Bei den Abspeicherungen der Daten könnten die Messungen als Kurven (siehe

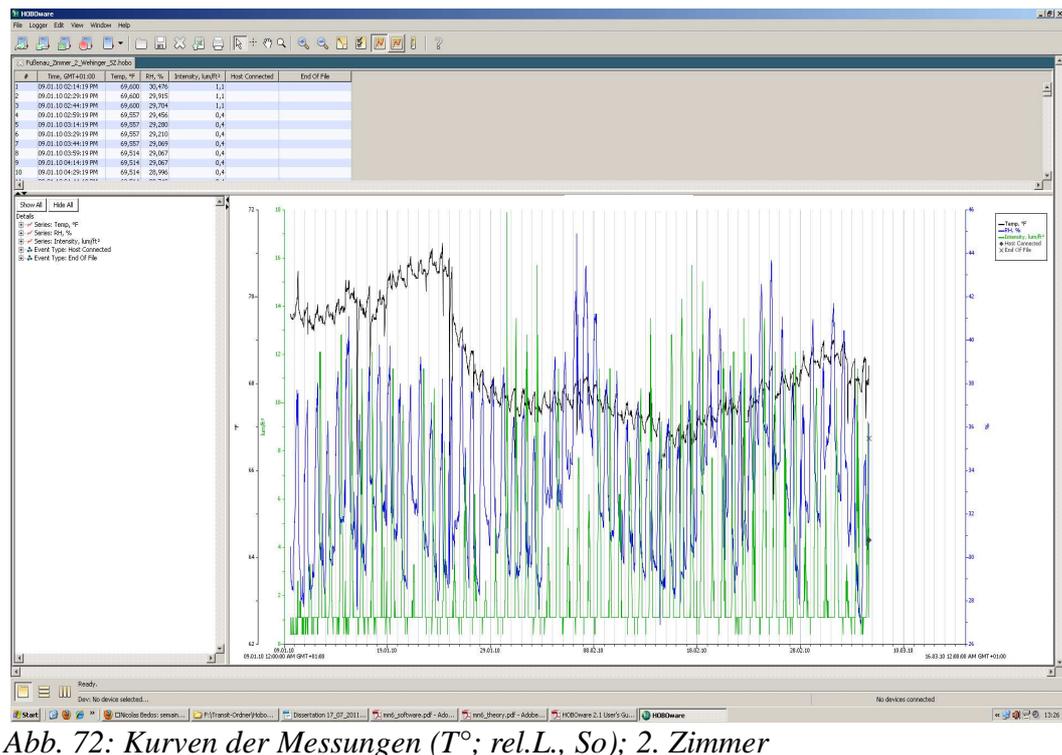


Abb. 72: Kurven der Messungen (T° ; rel.L., So); 2. Zimmer

Anhänge

Abb. 72) abgelesen werden.

6 Tas Building Designer

Die Software Tas Building Designer ist eine völlige dynamische Gebäudesimulation-Einheit und wurde von der britischen Firma EDSL entwickelt. Es gibt eine Reihe von Versionen : zwischen Jänner 2008 und April 2011 wurden elf unterschiedlichen Versionen (von der Version Tas 9.0.9e Erscheinungsdatum Jänner 2008 bis zur Version EDSL Tas 9.2.1 Erscheinungsdatum April 2011) veröffentlicht. Die Modelle dieser Studie wurden mittels der fünften Version Tas 9.1.3a (Erscheinungsdatum Mai 2009) erstellt. Tas Building Designer hat ein modulares Design und wird in drei Haupt-programme „3D Modeller“, „Building Simulator“ und „Results Viewer“ aufgeteilt. Die Programmarchitektur erläutert deutlich das Simulationablaufverfahren

3D Modeller

Der 3D-Modeller wird eigens entwickelt, um Gebäudemodell in Bezug auf Simulation zu erstellen. Damit können Gebäude, die nur bei der Stufe der groben

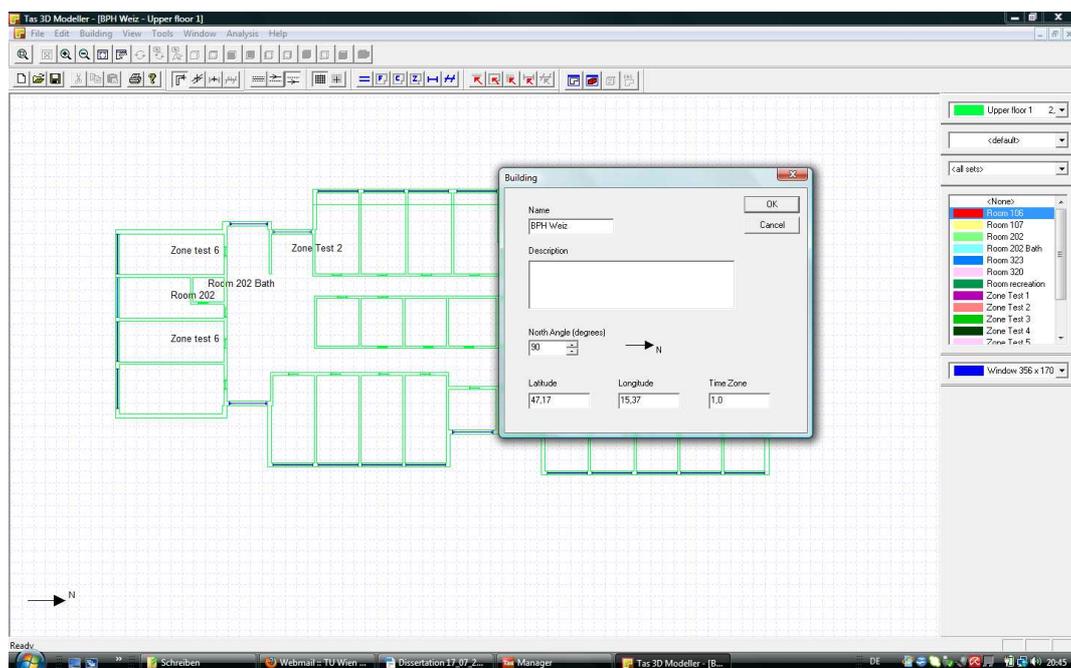


Abb. 73: 3D-Modeller

Anhänge

Außenlinienformschräge sind, gezeichnet werden. Mit Hilfe dieser Modelle können 3-D-Darstellungen, welche reichhaltigen Beschattungen zeigen, erstellt werden (siehe Abb. 73). Tas kann eben Sonnenscheineinbrandtiefe durch das Innere des Gebäudes zwischen den Räumen berechnen. Das Modell kann zu drittem Programmteil über einen Betriebsbereich exportiert werden.

Building Simulator

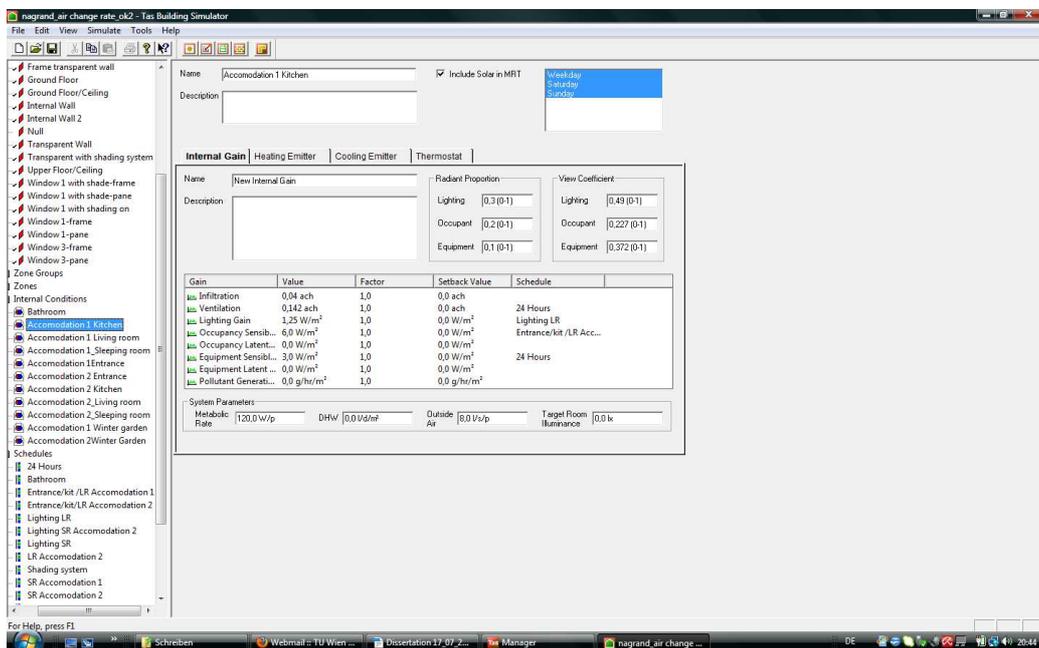


Abb. 74: Tas Simulator

Jedes Fenster, jede Tür, jede Lüftungsanlage oder jeder Durchbruch hat seine eigene relative Höhe und Ausrichtung automatisch berechnet, um ein potenzielles Netz der Luftströmung durch das Gebäude zu geben. Es bedeutet, dass die natürliche Lüftung automatisch simuliert wird (siehe Abb. 74).

Results Viewer

Jede Kombination der Parameter kann von jeder Anzahl der Zonen und Oberflächen angezeigt werden und in einem tabellarischen und grafischen Format verglichen werden (siehe Abb. 75). Die durchgehende Einheit benutzt vereinigt Datenbanksystem. Es gibt äußerlichen Datenzugriff bei jedem Automation-Kunde

Anhänge

(z.B. Word, Excel usw.) frei. Der dritte Anwendungsteil kann einfach einbinden, um beim Nutzen der Automation-Anschlüsse Daten einzuspielen und sie zu extrahieren.

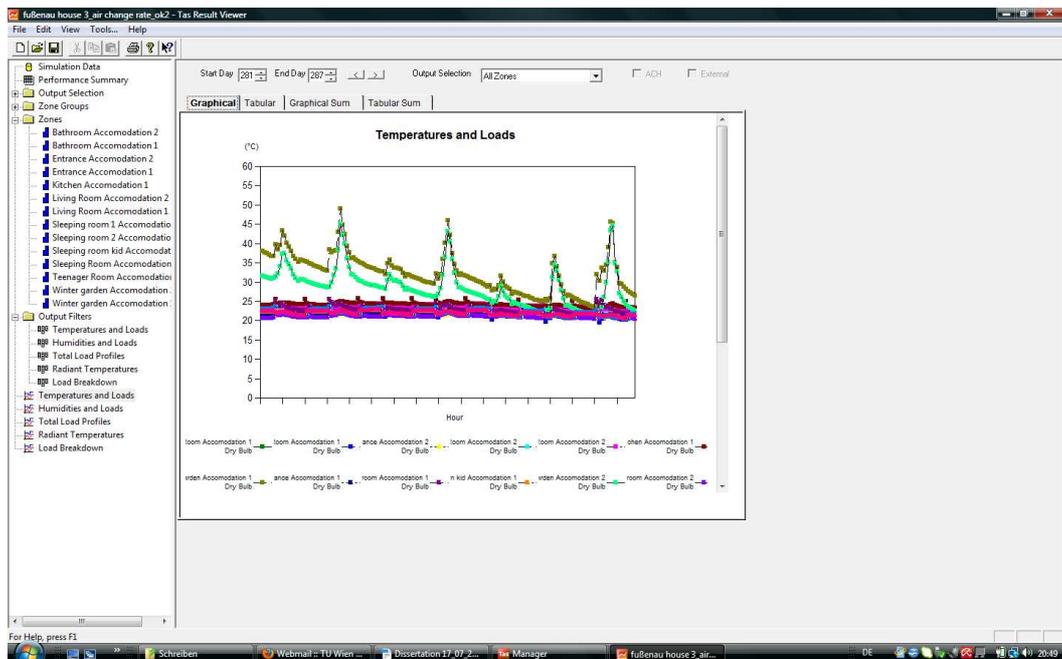


Abb. 75: Result Viewer

7 METEONORM

Die Software METEONORM Version 6 (Version 6.1.0.20) wurde bei dieser Studie benutzt (siehe Abb. 76). Diese Software ist hauptsächlich eine Methode, um die Sonnen-einstrahlung auf beliebige Oberflächen in jedem erwünschten Ort zu berechnen. Die Methode entsteht aus einer Datenbank und gekoppelten Algorithmen gemäß eines vorherbestimmten Systems. Zuerst soll die Sprache, dann ein bestimmter Ort festgelegt werden. Danach soll ein Daten-Modell determiniert werden. Unter Daten-Modell ist ein Einstrahlungs-, ein Temperatur-, ein Strahlungsneigungs- und ein Zeitmodell gemeint. Dann werden die Wetterdaten in Dateien des dat-Formates importiert. Dann soll ein das Ausgabe-Format definiert werden. Dann werden die Ergebnisse erstellt und sie stehen zur

Anhänge

Verfügung in Dateien des tmy3-Formates.

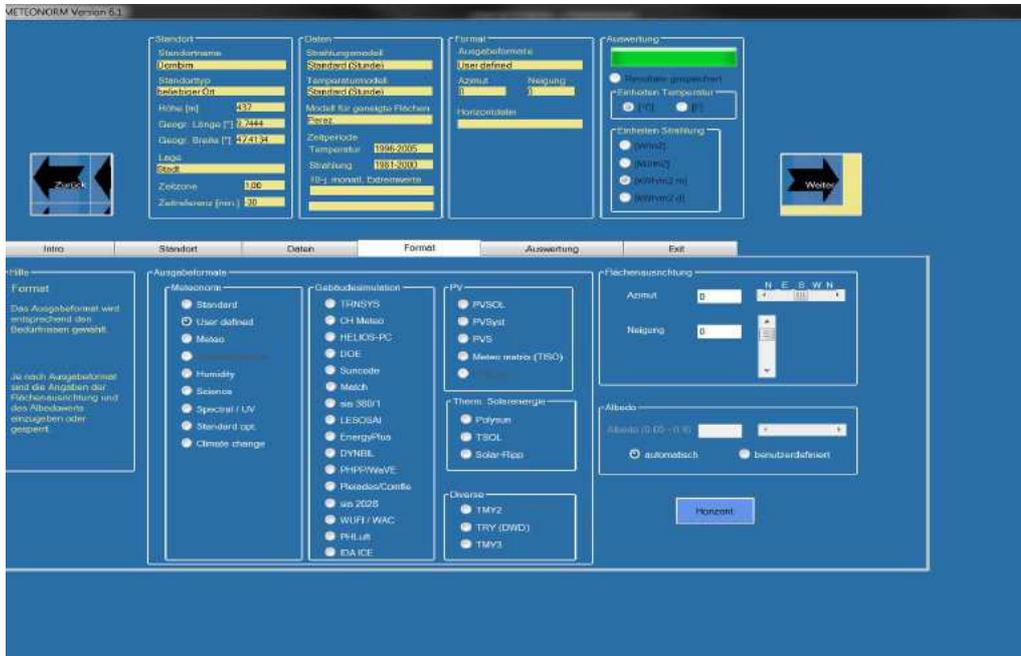


Abb. 76: METEONORM

8 Kurven der Innen- und Aussentemperaturen nach Objekt

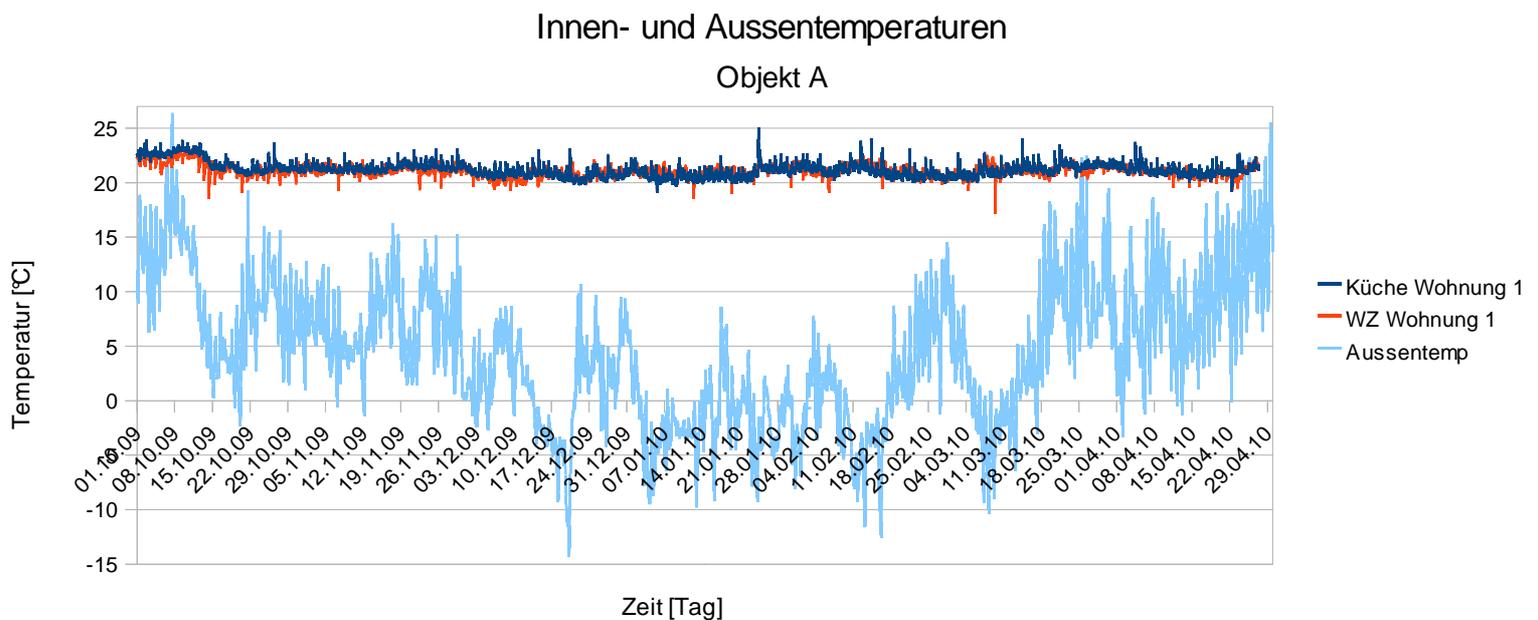


Abb. 77: Temperaturmessungen (Objekt A)

Anhänge

Innen- und Aussentemperaturen

Objekt B

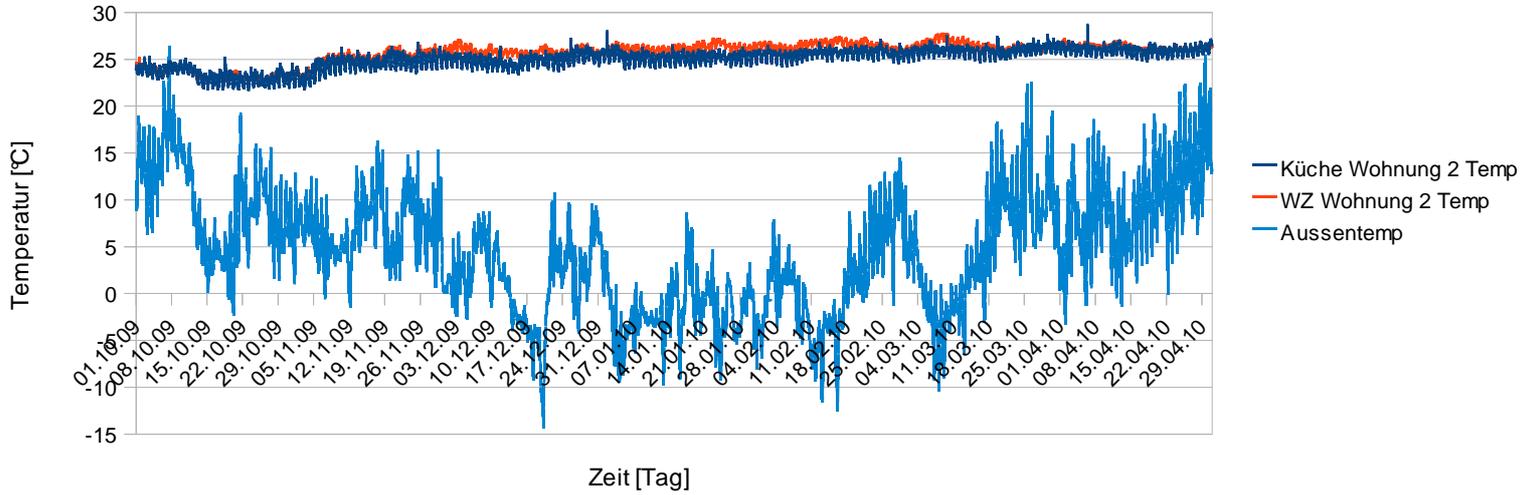


Abb. 78: Temperaturmessungen (Objekt B)

Innen- und Aussentemperaturen

Objekt C

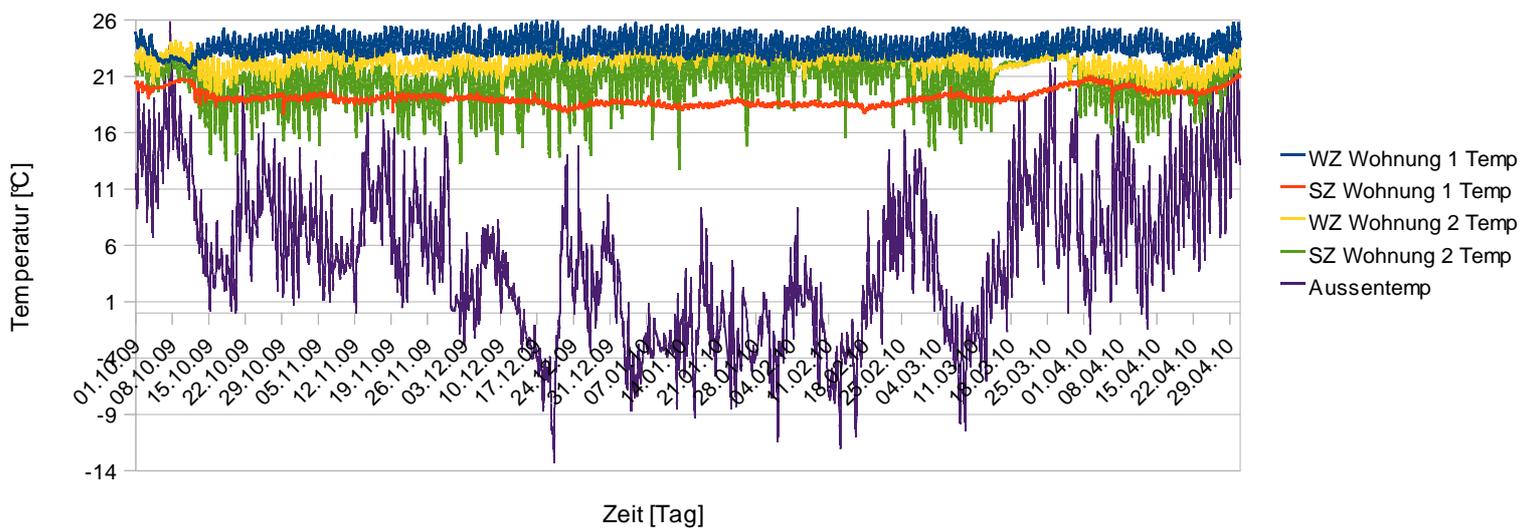


Abb. 79: Temperaturmessungen (Objekt C)

Anhänge

Innen- und Aussentemperaturen
Objekt D

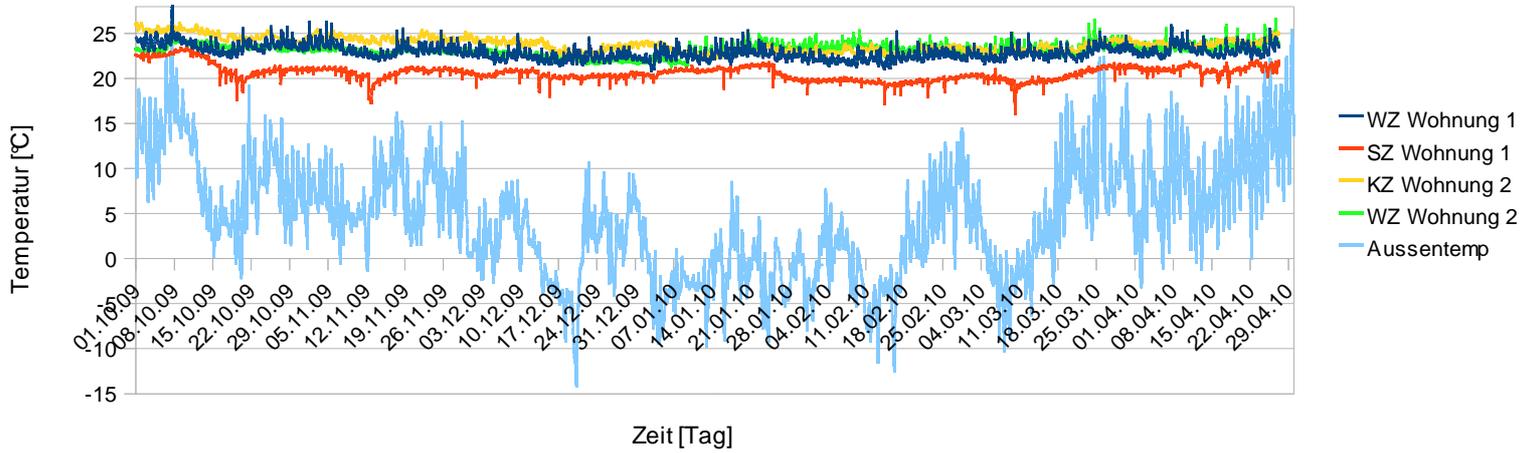


Abb. 80: Temperaturmessungen (Objekt D)

Innen- und Aussentemperaturen
Objekt E

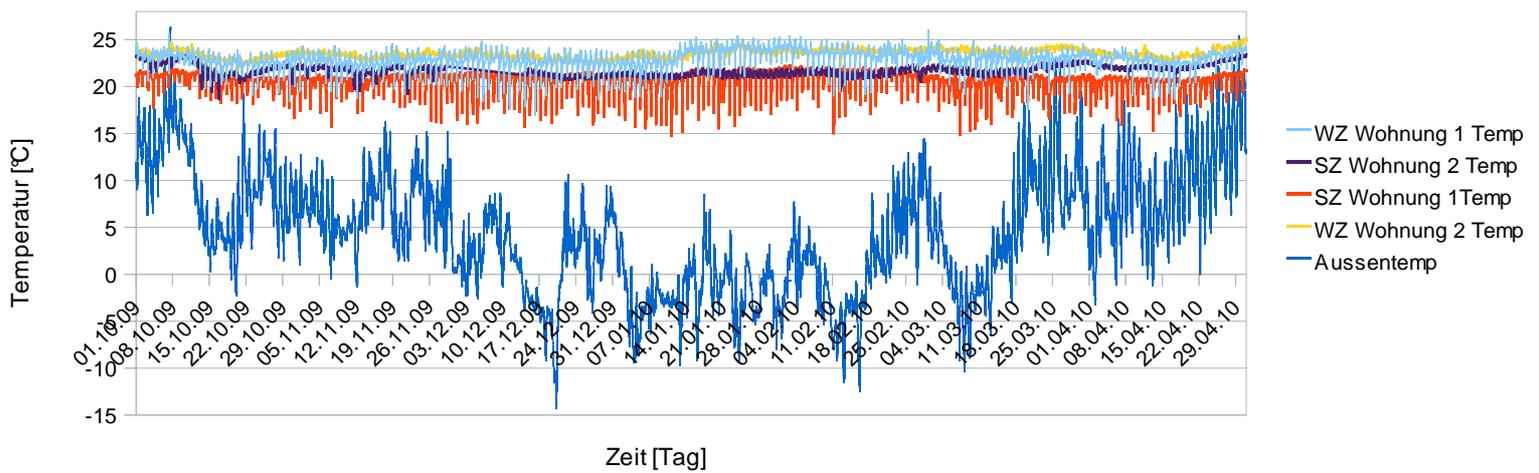


Abb. 81: Tempereturmessungen (Objekt E)

Anhänge

Innen- und Aussentemperaturen

Objekt F

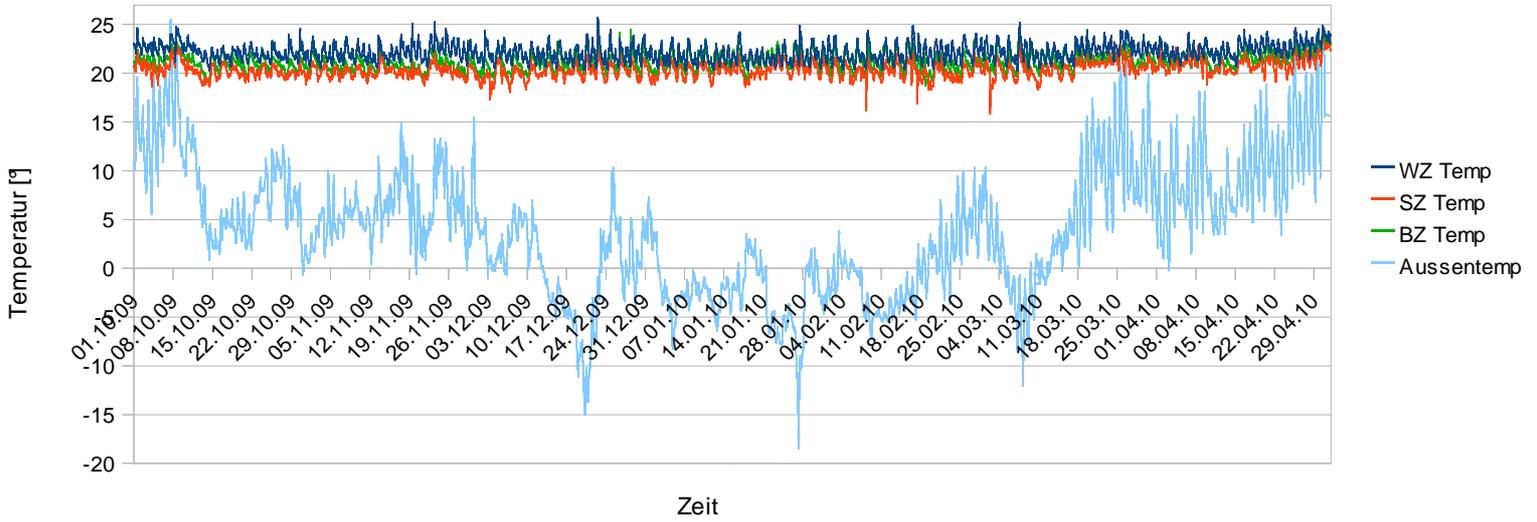


Abb. 82: Temperaturmessungen (Objekt F)

Innen- und Aussentemperaturen

Objekt G

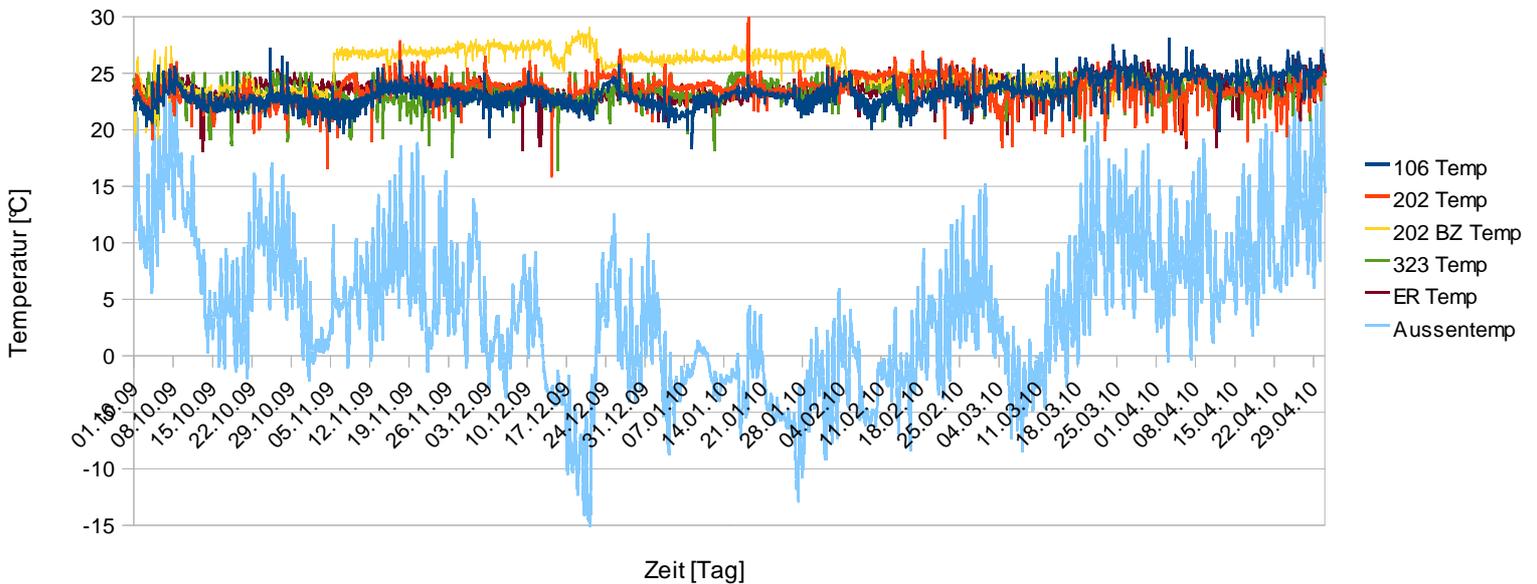


Abb. 83: Temperaturmessungen (Objekt G)

Abbildungsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Untersuchung der Wärmebrücken anhand einer Wärmebild-Kamera (Schleipfweg, vor der Sanierung).....	vii
Abb. 2: Anthropogene Treibhausgase-Emissionen	4
Abb. 3: CO ₂ -Gehalt der Luft in part per million (ppm).....	5
Abb. 4: Grafische Darstellung des Peaks Oil.....	6
Abb. 5: Ölfördermaximum im 2006	7
Abb. 6: Endenergieverbrauch pro Sektor, EU-27.....	9
Abb. 7: Best case scenario : Entwicklung der Passivhäuser in Österreich.....	11
Abb. 8: Gebrauchte bzw. ersparte Heizenergie	13
Abb. 9: Grafische Darstellung des Rebound-Effekts.....	17
Abb. 10: Untersuchte Gebäude auf der Landeskarte Österreichs mit jährlicher Globalstrahlung.....	20
Abb. 11: Auslegung der beiden untersuchten Objekte A (Blaue Stern) und B (Blaues Kreuz); GoogleMaps©.....	22
Abb. 12: Objekt A, vor der Sanierung (l.), nachher (r.).....	23
Abb. 13: Objekt A; Virtuelles Objekt	23
Abb. 14: Objekt B, virtuelles Objekt.....	24
Abb. 15: das zum Passivhausstandard sanierte Objekt C (Blaue Stern); GoogleMaps©.....	26
Abb. 16: Objekt C, virtuelles Objekt.....	27
Abb. 17: Lageplan der 5 zum Passivhausstandard sanierten Gebäuden der WHA; das untersuchte Objekt D (Blaue Stern).....	28
Abb. 18: ein Gebäude der WHA, nach der Sanierung.....	29
Abb. 19: Objekt D, virtuelles Objekt.....	30
Abb. 20: Wärmebild; Untersuchung der Wärmebrücken anhand einer Wärmebild- Kamera; vor der Sanierung	31
Abb. 21: die beiden zum Passivhausstandard sanierten Gebäude der WHA; das untersuchte Objekt E (Blaue Stern); GoogleMaps©.....	32
Abb. 22: Untersuchtes Objekt E.....	33

Abbildungsverzeichnis

Abb. 23: Objekt E, virtuelles Objekt.....	34
Abb. 24: Objekt F; Virtuelles Objekt.....	34
Abb. 25: Bungalow vor der Sanierung.....	34
Abb. 26: Selbes Haus, während der Baustelle.....	34
Abb. 27: Zweifamilienhaus am Ende der Baustelle (Nordfassade), die Wohnung der Aufstockung (hell gelb), das Stiegenhaus (rot).....	35
Abb. 28: Ausführungsplan des Objekts F.....	37
Abb. 29: Auslegungsplan des Objekts G.....	37
Abb. 30: Objekt G während der Sanierung (l.), nach der Sanierung (r.).....	38
Abb. 31: Objekt G, Virtuelles Objekt.....	38
Abb. 32: Hobo-logger U12-012	41
Abb. 33: 3-D-Darstellung des Objektes D.....	43
Abb. 34: Gasabrechnung der VEG.....	47
Abb. 35: Energieausweis des Objekts D	49
Abb. 36: Grafische Darstellung der Messungen von Daten-Logger.....	52
Abb. 37: Grafische Darstellung der Kalibrierung eines Modells.....	56
Abb. 38: HWB : Ermittlung des HWB mittels der Richtwerte der Einflussfaktoren; absolute Werte.....	65
Abb. 39: HWB : Ermittlung des HWB mittels der Richtwerte der Einflussfaktoren; prozentuale Verhältnisse.....	66
Abb. 40: Mit den Wetterdaten der Heizperiode 2009/2010.....	67
Abb. 41: Änderung des HWB nach T_i ; Objekt D.....	68
Abb. 42: Monatlichen mittleren Innentemperaturen.....	69
Abb. 43: Kastengrafik der monatlichen mittleren Temperaturen im Objekt A.....	70
Abb. 44: Kastengrafik der monatlichen mittleren Temperaturen im Objekt B.....	71
Abb. 45: Kastengrafik der monatlichen mittleren Temperaturen im Objekt C.....	72
Abb. 46: Kastengrafik der monatlichen mittleren Temperaturen im Objekt D.....	73
Abb. 47: Kastengrafik der monatlichen mittleren Temperaturen im Objekt E.....	73
Abb. 48: Kastengrafik der monatlichen mittleren Temperaturen im Objekt F.....	74
Abb. 49: Kastengrafik der monatlichen mittleren Temperaturen im Objekt G.....	75

Abbildungsverzeichnis

Abb. 50: Kumulative Darstellung der Innentemperaturen bei den Objekte A bis F während der Heizperiode.....	76
Abb. 51: Kumulierte Prozent der Innentemperaturen beim Objekt G.....	77
Abb. 52: Vergleich HWB mit T_{mi}	78
Abb. 53: HWB nach Verfahren mit dem aktuellen Richtwert von q_i	79
Abb. 54: HWB nach n für das Objekt B.....	80
Abb. 55: HWB nach Verfahren mit den ermittelten Werte der LWZ.....	82
Abb. 56: HWB nach Verfahren mit 3 angepassten Einflussfaktoren	83
Abb. 57: HWB nach Verfahren mit allen 4 angepassten Einflussfaktoren	85
Abb. 58: An- und Abwesenheitsrate an den Arbeitstage.....	89
Abb. 59: An- und Abwesenheitsrate an den Wochenenden.....	89
Abb. 60: An- und Abwesenheitsrate während der Ferien.....	90
Abb. 61: Lüftungsarten nach Bewohner-Antworten.....	90
Abb. 62: Fenster, die meistens geöffnet sind	91
Abb. 63: Häufigkeit der Fensterlüftung.....	91
Abb. 64: Beurteilung der Änderungen.....	93
Abb. 65: Faktoren der Behaglichkeit.....	94
Abb. 66: Änderungen des Verhaltens	94
Abb. 67: Bedeutung vom Begriff "Passivhaus"	95
Abb. 68: Messungen der Innen- und Außentemperatur, der Globalstrahlung.....	97
Abb. 69: Vergleich HWB nach n.....	104
Abb. 70: Hobo-Logger.....	119
Abb. 71: Status für die Einstellungen eines Hobo-Loggers.....	121
Abb. 72: Kurven der Messungen (T° ; rel.L., S_o); 2. Zimmer	121
Abb. 73: 3D-Modeller.....	122
Abb. 74: Tas Simulator.....	123
Abb. 75: Result Viewer.....	124
Abb. 76: METEONORM.....	125
Abb. 77: Temperaturmessungen (Objekt A).....	125
Abb. 78: Temperaturmessungen (Objekt B).....	126

Abbildungsverzeichnis

Abb. 79: Temperaturmessungen (Objekt C).....	126
Abb. 80: Temperaturmessungen (Objekt D).....	127
Abb. 81: Temperaturmessungen (Objekt E).....	127
Abb. 82: Temperaturmessungen (Objekt F).....	128
Abb. 83: Temperaturmessungen (Objekt G).....	128

Tabellenverzeichnis

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vergleich Neubau u. Sanierung	10
Tab. 2: Hauptkenndaten der Objekte der Stichprobe; Teil 1.....	20
Tab. 3: Hauptkenndaten der Gebäuden der Stichprobe; Teil 2.....	21
Tab. 4: Kenndaten des Objekts A.....	24
Tab. 5: Kenndaten des Objekts B.....	25
Tab. 6: Kenndaten des Objekts C	26
Tab. 7: Kenndaten des Objekts D.....	30
Tab. 8: Kenndaten des Objekts E.....	32
Tab. 9: Kenndaten des Objekts F.....	36
Tab. 10: Kenndaten des Objekts G	39
Tab. 11: Wetterdaten der Wetterstation Nr. 11102 (Bludenz).....	44
Tab. 12: Rohdaten vom Hobo-Logger; Objekt C.....	51
Tab. 13: Ermittlung der stündlichen Windausrichtungen.....	53
Tab. 14: Wetterdaten mit den von METEONORM erstellten diffusen Strahlung und Wolkenbedeckungsgrad.....	54
Tab. 15: Stündliche t-Tests von 1:00 bis 12:00; Objekt A.....	57
Tab. 16: Stündliche t-Tests von 13:00 bis 24:00; Objekt A.....	58
Tab. 17: Verbrauchte Wärmemenge nach Wärmeerzeuger	59
Tab. 18: Ermittlung des Heizungsenergieverbrauchs (gemäß ÖNORM).....	59
Tab. 19: Ermittlung des Heizwärmebedarfs.....	60
Tab. 20: Solarertrag nach Nutzung.....	60
Tab. 21: Anteil des Netto-Solarertrags bei der gesamten Heizwärmebedarf [%].	61
Tab. 22: Benötigte LWZ (in h ⁻¹) um dem abgeschätzten HWB zu erreichen.....	81
Tab. 23: Benötigte LWZ (in h ⁻¹) um dem abgeschätzten HWB zu erreichen.....	84
Tab. 24: Sammeltabelle der Ergebnisse aller unterschiedlichen Methoden.....	86
Tab. 25: Analyse der Innentemperaturmessungen.....	99
Tab. 26: Kennwerte aller Objekte 1.....	101
Tab. 27: Kennwerte aller Objekte 2.....	102
Tab. 28: Vergleich mit der Studie von Richter et al.....	105

Tabellenverzeichnis

Tab. 29: Tabelle der Kolmogorov-Smirnov-Verteilung.....	116
Tab. 30: Tabelle der t-Verteilung.....	117
Tab. 31: menschliche körperliche Wärmeabgabe nach Tätigkeit.....	118

Lebenslauf

Lebenslauf

Pierre Pascal Housez
Geboren am 20.12.1970 in Frankreich
email : pierre.housez@gmx.at

Ausbildung

- Ab September 2011 : Berufsbegleitendes Masterstudium „Gebäudetechnik und -management“ an der Fachhochschule Pinkafeld
- Sept. 2008 bis Nov. 2011 : Doktorand bei der Abteilung „Bauphysik und Bauökologie“ des Instituts für Architekturwissenschaften der Fakultät für Architektur und Raumplanung, Technische Universität Wien
Thema der Doktorarbeit: **Methodenvergleich zur Abschätzung des Heizwärmebedarfs von Gebäuden infolge thermischer Sanierung**
4. Nov. bis 11. Dez. 2010 : Absolvent der Energieberaterausbildung (F-Kurs) der Energieberatung Land Salzburg (Prüfung am 26.2.2011 bestanden)
11. bis 24. August 2010: Absolvent der Energieberaterausbildung (A-Kurs) der Energieberatung Niederösterreich
- Sept. 2006 bis Aug. 2008 : Master-Studiengang «Energie- und Umwelttechnik» am Umwelt Campus Birkenfeld, Fachhochschule Trier, Deutschland, Gesamtnote : 2,3
Thema der Masterarbeit: **Vergleich des gesamten Primärenergiebedarfs (einschließlich grauer Energie) zwischen einem Bürogebäude im Passivhausstandard, einem Bürogebäude im Nullenergiehausstandard und einem konventionellen Bürogebäude**, Note : 1,7
- Sept. 2005 bis Juni 2006: Bachelor-Studiengang « Umwelt », Spezialität «Verfahrenstechnik» am Institut Universitaire Professionnalis  «Umwelt, Technologie und Gesellschaft», Universit  de Provence, Marseille, Frankreich, Guter Erfolg
- Okt. 1988 bis Juni 1992: Grundstudium in Physik, Mathematik und Chemie, Universit  des Sciences et Technologies de Lille (USTL), Frankreich
- Juni 1988 : Matura in Mathematik, Physik und Technologie, Roubaix, Frankreich

Lebenslauf

EDV-Kenntnisse

MS-Office (Word, Excel, PowerPoint, Access, MS-Project, Visio), OpenOffice, Matlab, Simulink, C++, Photoshop, Illustrator, TAS, Dialux 4.6, Odeon, Energieausweis-GEQ, ArchiPHYSIK, Meteonorm, ArchiCAD, AutoCAD, Sketchup, Rhino V 4.0

Weitere Tätigkeiten

- Dez. 2009 bis heute: Nachhilfer für Mathematik, Französisch, u. Physik bei der TOP LEARNING OG, Gerasdorf bei Wien
- Okt. 2009 bis heute: Nachhilfer für Mathematik, Optimierungsverfahren, Quantitative Methoden der BWL beim athenachilfe Wien Institut

Sprachenkenntnisse

- Deutsch: sehr gute Kenntnisse (Masterthesis auf Deutsch geschrieben)
Englisch: sehr gut in Wort und Schrift (Fachliche Literatur, Präsentationen)
Französisch: Muttersprache

Berufs- und Praktische Erfahrungen

- Ab Okt. 2010: Ersteller der Workshops „energiesparsame Baustandards“ und „Altbau & Sanieren“, für A-Null Bausoftware GmbH, Wien
- Juli bis Sept. 2007: Praktikum im Institut für angewandtes Stoffstrommanagement, FH Trier, Deutschland
Thema der Studie : **Machbarkeitsstudie mit Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für eine nachhaltige und effiziente Wärmeversorgung einer Stätte auf Basis Erneuerbarer Energien**
- Juli und August 2006: Praktikum im Bundesministerium für Umwelt, Bonn, Deutschland
- Juli 2003 bis heute: Beamter, Verantwortlicher für die Umfragen und die Volkszählung im INSEE (staatliche statistische Institut), Amiens, Frankreich
- Jan. bis Juni 2003: Verantwortlicher für den Doktorarbeitendienst an der Universitätsbibliothek der USTL, Frankreich
- Nov. 2001 bis Sept. 2002: Bibliothekar, Bibliothek von der reinen und angewandten Mathematik vom CNRS (staatliche Forschungseinrichtung), USTL, Frankreich

Wien, den 7.11.2011