



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN  
Vienna University of Technology

## ENDBERICHT

### Thermische Behaglichkeit mit Ziegel und Beton AP40 AP50

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Thomas Bednar  
DI DI Simon Handler  
DI Sabine Wolny  
BSC Ralf Mayrer

E 206-2  
Forschungsbereich für Bauphysik und Schallschutz  
Institut für Hochbau und Technologie  
Fakultät für Bauingenieurwesen  
Technische Universität Wien

Wien, März 2015

mit Unterstützung von:



EUROPÄISCHE UNION  
Europäischer Fonds  
für regionale Entwicklung  
Förderungen für Salzburg



Auftraggeber:

BAU Akademie Lehrbauhof Salzburg

Moosstraße 197

5020 Salzburg

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>	
<b>1</b>	<b>Beschreibung der Messanlage an der Bauakademie Salzburg</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Messperiode Sep2012 - Sep2014</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>Modellbildung</b>	<b>14</b>
3.1	Fensterluftwechsel	14
3.2	Bauteile	15
<b>4</b>	<b>Vergleich zwischen Simulation und Messung</b>	<b>16</b>
4.1	Operative Temperatur	16
<b>5</b>	<b>Ganzjahresbetrachtung durch Simulation</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>Außenwände bei solarer Einstrahlung</b>	<b>19</b>
6.1	Ziegelhaus 1	20
6.2	Ziegelhaus 2	23
<b>7</b>	<b>Analyse eines Modelleinfamilienhauses</b>	<b>24</b>
7.1	Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden	25
7.2	Strahlungseinflüsse auf Wärmedurchgang	27
7.3	Einfluss Regelung auf Wärmebedarf für Raumheizung	29
<b>8</b>	<b>Schlußfolgerungen</b>	<b>31</b>
<b>9</b>	<b>Quellen</b>	<b>32</b>

## Zusammenfassung

Auf Basis einer zweijährigen Messung des thermischen Verhaltens von Räumen in Ziegelbauweisen sollte die Güte der numerischen Simulationsmodelle für das thermische Gebäudeverhalten überprüft werden. Die Simulationsräume Ziegel1 und Ziegel2 sind auf dem Gelände der Bauakademie Salzburg errichtet worden. Der Betrieb der Gebäudetechnik und Regelungstechnik hat leider zu keinem zweijährigen erfolgreichen Betrieb geführt. Bis dato konnten keine vollständigen Unterlagen von den Unternehmen vorgelegt werden, die die korrekte Einregulierung der Anlage und den Algorithmus der Regelung nachvollziehbar darstellen. Dadurch konnte nur ein Bruchteil der angedachten Analysen durchgeführt werden.

Die Modellierung der Bautechnik und Gebäudetechnik erfolgte im Rahmen des Haus der Zukunft Projektes „Thermische Bauteilaktivierung - Entwicklung eines Rechenkerns (TBA-CALC)“. Die Ergebnisse sind unter <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id6864> veröffentlicht.

Die Messungen im Juni und Juli 2014 konnten verwendet werden um eine Validierung der Modelle zur Fensterlüftung und zum thermischen Bauteilverhalten durchzuführen. Es konnte eine sehr gute Übereinstimmung gezeigt werden.

Ein Teil der Aufgabe war es auch die Auswirkung der solaren Einstrahlung und des Infrarotaustausches mit der Umgebung an der Außenseite der Wände darzustellen und einen Vergleich mit den Rechenverfahren durchzuführen. Es zeigt sich, dass im Rahmen der vereinfachten Verfahren die ISO 13790 im Wesentlichen den Einfluss der Strahlungsvorgänge an der Außenseite zur Bestimmung des Heizwärme- und Kühlbedarfs abbilden kann.

Abschließend kann auf Basis der Modelle der Einfluss der Wärmeabgabe durch Bauteilaktivierung auf den Wärmebedarf für Raumheizung gezeigt werden. Für das untersuchte Einfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von 34kWh/m<sup>2</sup> wird der Wärmebedarf für Raumheizung um ca. 6% erhöht. Bei einer verbesserten Gebäudequalität mit einem Heizwärmebedarf von 15kWh/m<sup>2</sup> um 12%.

Wie auch in den Simulationsräumen sichtbar wurde, ist der Regelungsalgorithmus und der Betrieb der Regelung ein wesentlicher Aspekt für eine zufriedenstellende Realisierung eines Gebäudekonzeptes. Nach der vollständigen Inbetriebnahme der Simulationsräume erscheinen vertiefte Analysen zum Wärmebedarf auch über längere Zeiträume sinnvoll.

Eine weitere Verallgemeinerung und Integration des Rechenkerns in die bauphysikalischen/gebäudetechnischen Softwaretools wäre zielführend um eine treffsichere Planung von hocheffizienten Gebäuden zu ermöglichen.

# 1 Beschreibung der Messanlage an der Bauakademie Salzburg

## Allgemeine Beschreibung

Der Simulationsraum ist ein von der Geometrie her einfach gestalteter Baukörper. Die massiven Bauteile des Simulationsraums sind thermisch aktiviert und werden über eine Solaranlage gespeist. Der Raum verfügt über eine Messanlage zur Aufzeichnung der Temperaturen und Energieflüsse. Die Messanlage ist in die Mess-/Steuer-/Regeltechnik der verbauten haustechnischen Anlage integriert.

Abbildung 1 zeigt im Vordergrund den Simulationsraum. Im Hintergrund ist die Bauakademie Salzburg zu erkennen.



Abbildung 1: Darstellung der Simulationsräume Ziegel1 und Ziegel2 Quelle: Bauakademie

Im Zuge der Errichtung wurde in Boden und Decke der Räume die Leitungen zur Aktivierung integriert. In Abbildung 2 ist der Einbau der Rohrleitungen in die Bodenplatte, der Decke und die Ausbildung der Attika erkennbar.



Abbildung 2: Darstellung der Simulationsräume Ziegel1 und Ziegel2 Quelle: Bauakademie

## Lage

Der Simulationsraum wurde auf dem Gelände der Bauakademie Salzburg errichtet. Diese befindet sich am Rande von Salzburg und liegt nahe dem Untersberg (siehe Abbildung 3) Der Untersberg befindet sich südlich des Simulationsraums und trägt mit seiner Höhe von ca. 1900 m zu dessen Verschattung im Winter bei.

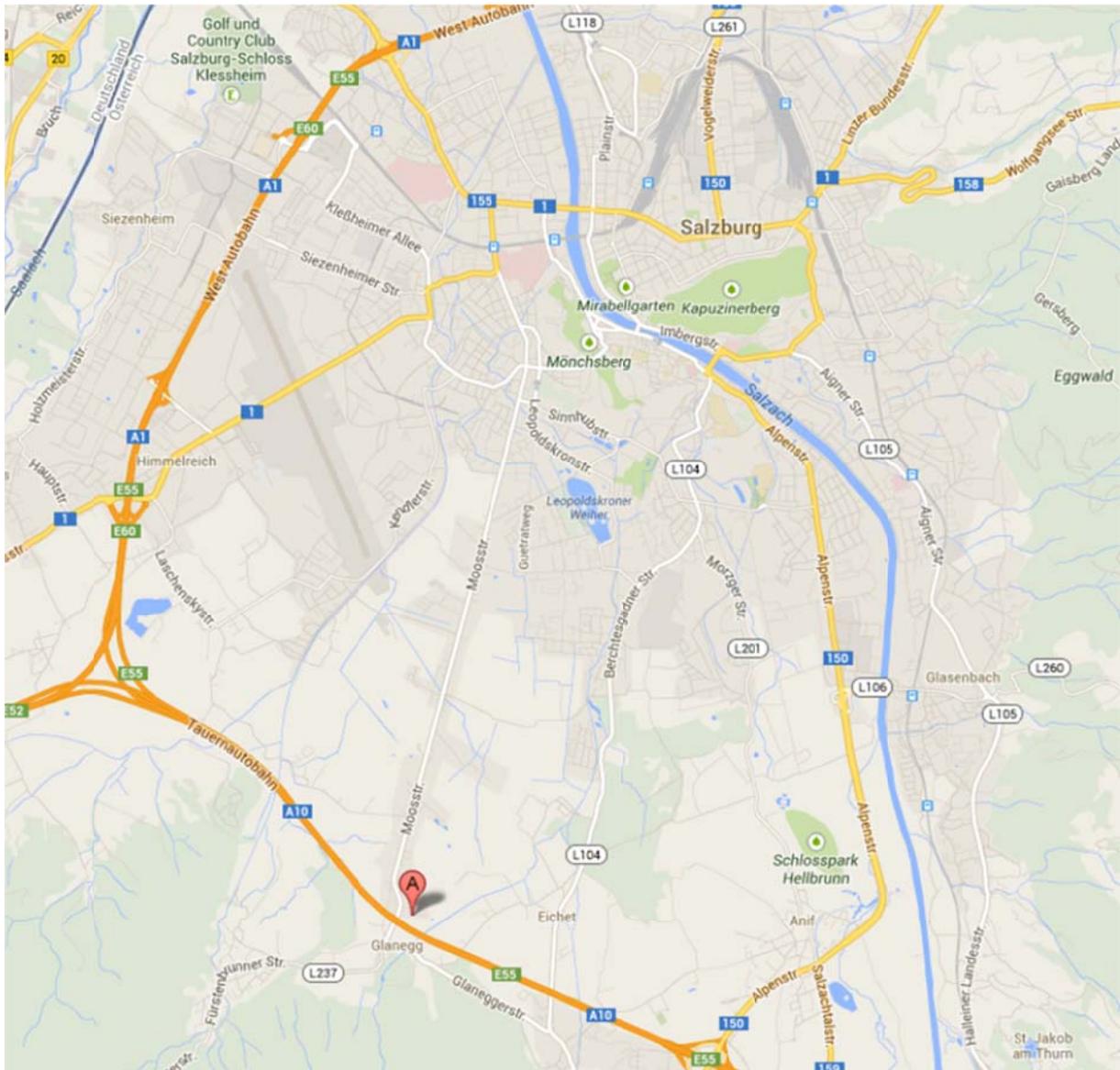


Abbildung 3: Geografische Lage des Simulationsraumes (gekennzeichnet mit „A“) [MAP13b]

## Geometrie

Die Simulationsräume (**Ziegel1** und **Ziegel2**), sind von ihrer Bausubstanz und technischer Ausstattung komplett ident errichtet worden. Die gesamte rechteckige Fläche beträgt 25,76m<sup>2</sup>, die Seitenlängen betragen 5,60m auf 4,60m und haben eine Raumhöhe von 2,55m. Jeder Raum hat eine Bruttogrundfläche von 23,4 m<sup>2</sup> und eine Raumhöhe von 2,55 m. Die Fenster der Räume sind nach Norden (93 cm x 116 cm) bzw. nach Süden (311 cm x 116 cm) orientiert. In östlicher Richtung ist zusätzlich eine verglaste Türe (90 cm x 205 cm) verbaut.

Jeder Simulationsraum hat ein Flachdach mit einer Attika. Ein Grundriss und ein Schnitt durch den Simulationsraum sind folgend dargestellt.

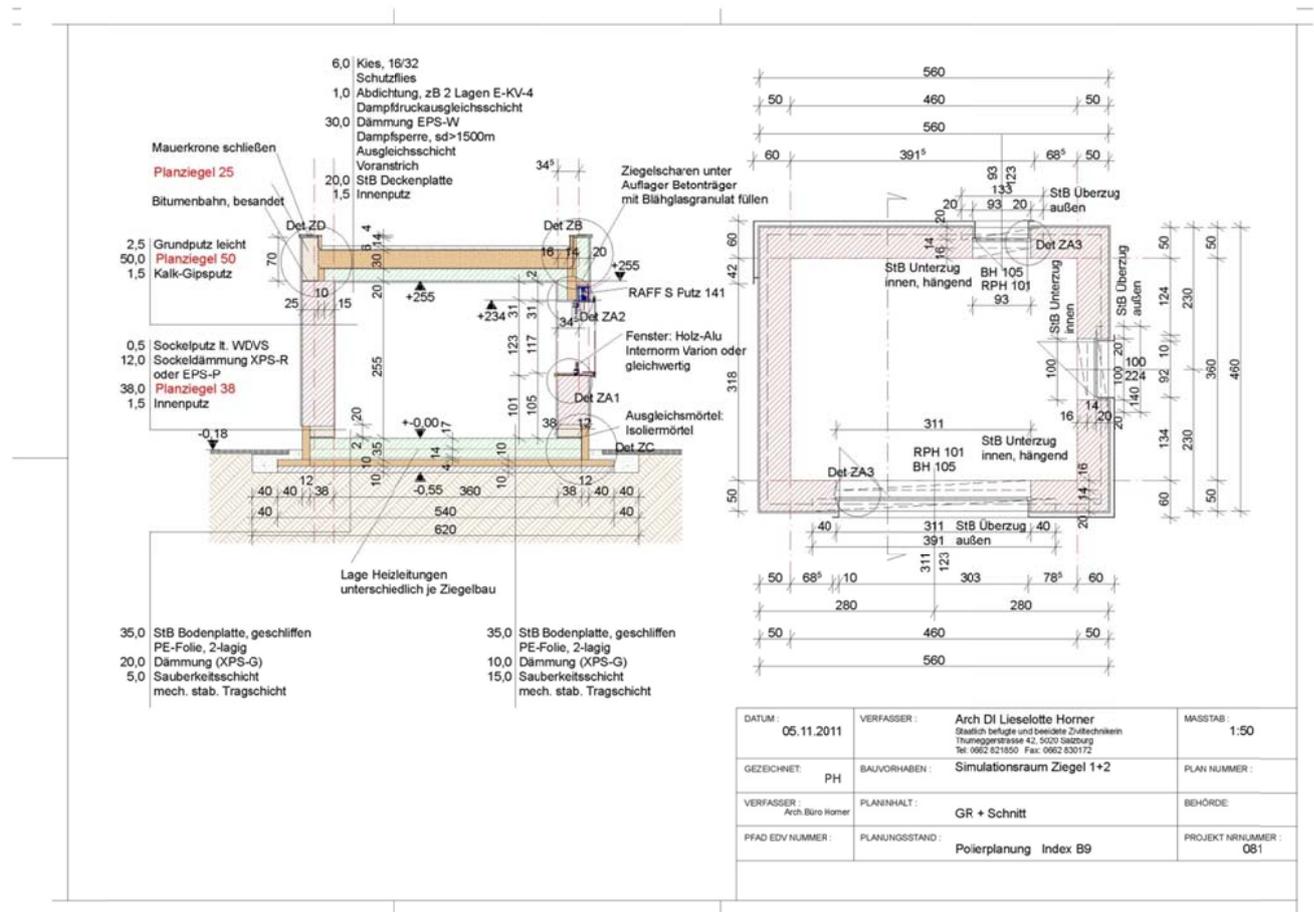


Abbildung 4: Grundriss und Schnitt der Simulationsräume Ziegel1 und Ziegel2 Quelle: Bauakademie

## Bauteilbauten:

### ◆ Wände

- 2,5cm Grundputz leicht
- 50,0cm Eder Trionic XP50
- 1,5cm Kalk-Gipsputz

### ◆ Decke

- 6,0cm Kies 16/32
- Schutzflies
- 1,0cm Abdichtung, 2-lagig
- Dampfdruckausgleichsschicht
- 30,0cm Dämmung EPS-W
- Dampfsperre  $s_d > 1500\text{m}$
- Ausgleichschicht
- Voranstrich
- 20,0cm Stahlbeton Deckenplatte
- 1,5cm Innenputz

### ◆ Bodenplatte

- 35,0cm Stahlbeton Bodenplatte, geschliffen
- PE-Folie, 2-lagig
- 10,0cm Dämmung XPS-G
- 15,0cm Sauberkeitsschicht

### ◆ Fenster/Tür

- 1 x Fenster 93/12, nach Norden ausgerichtet
- 1 x Fenster 311/123, nach Süden ausgerichtet
- 1 x Glastür 100/224, nach Osten ausgerichtet

#### ◆ Technische Ausstattung

- Lüftung Pichler, System VENTECH ERG 80
- Fußboden und Deckenheizung, Betrieb über Solarenergie
- 2 parallel geschaltete automatische Fensteröffner
- 58 Watt Leuchtstofflampe, extern steuerbar als innere Last
- Extern geschaltete Schuko-Steckdose für zusätzliche innere Lasten
- Wand-, Decken- und Fußbodentemperatur-Messsensoren
- Bodentemperatur-Messsonde
- Innraumtemperatur-Messsonde
- Operative Temperatur-Messkugel mit Messsensor
- Extern steuerbare, außenliegende Jalousien

#### Wärmeversorgung der Ziegelhäuser

Die aktivierten Bauteile des Simulationsraums werden über eine Solaranlage mit einer Aperturfläche von ca. 20 m<sup>2</sup> mit Wärme versorgt. Es werden Flachkollektoren mit selektiver Beschichtung verwendet. Die Kollektordaten sind in Abbildung 5 ausgewiesen. Ausgeführt wurden zwei Kollektorreihen mit je 10,6 m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche welche in Serie geschaltet sind. Die Kollektorverschaltung ist in Abbildung 6 dargestellt. Der Anstellwinkel der Kollektoren beträgt 60° (ausgehend von der Horizontalen gemessen).

### Datenblatt ökoTech GS / ökoTech GS - Großflächenkollektor mit Sunstrip-Absorber

Kollektor-Typ		indach																			
		1x3	1x4	1x5	1x6	1x7	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	7,2	9,6	12,0	14,3	16,7	3x3	3x4	3x5	3x6	3x7
Konstruktionshöhe	cm	13					13					13					13				
Breite	cm	105					205					233					302				
Länge	cm	310	411	513	615	717	310	411	513	615	717	310	411	513	615	717	310	411	513	615	717
Bruttofläche	m²	3,3	4,3	5,4	6,5	7,5	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	7,2	9,6	12,0	14,3	16,7	9,4	12,4	15,5	18,6	21,7
Aperturfläche	m²	2,8	3,8	4,7	5,6	6,6	5,7	7,7	9,6	11,5	13,4	6,8	8,8	11,0	13,1	15,3	8,6	11,5	14,3	17,2	20,1
Wärmeträgerinhalt	l	2,3	3,0	3,8	4,5	5,3	4,4	5,9	7,3	8,8	10,3	5,0	6,7	8,4	10,0	11,7	6,6	8,7	10,9	13,0	15,2
Kollektor-Typ		frei																			
		1x3	1x4	1x5	1x6	1x7	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	7,2	9,6	12,0	14,3	16,7	3x3	3x4	3x5	3x6	3x7
Konstruktionshöhe	cm	13					13					13					13				
Breite	cm	105					205					233					302				
Länge	cm	310	411	513	615	717	310	411	513	615	717	310	411	513	615	717	310	411	513	615	717
Bruttofläche	m²	3,3	4,3	5,4	6,5	7,5	6,3	8,4	10,5	12,6	14,7	7,2	9,6	12,0	14,3	16,7	9,4	12,4	15,5	18,6	21,7
Aperturfläche	m²	2,8	3,8	4,7	5,6	6,6	5,7	7,7	9,6	11,5	13,4	6,8	8,8	11,0	13,1	15,3	8,6	11,5	14,3	17,2	20,1
Wärmeträgerinhalt	l	2,3	3,0	3,8	4,5	5,3	4,4	5,9	7,3	8,8	10,3	5,0	6,7	8,4	10,0	11,7	6,6	8,7	10,9	13,0	15,2
Durchflußmenge		min. 10 l/m²h - max. 80 l/m²h																			
Wärmeträger-Medium		Wasser- Propylen glykol Gemisch, (Der Frostschutzmittel-Anteil ist nach lokaler Tiefsttemperatur abzustimmen)																			
Betriebsdruck		maximal zulässiger Druck im Kollektor: 6 bar (auf Anfrage auch Ausführung für max. 10 bar erhältlich .)																			
Konversionsfaktor *)		$\eta_0 = 0,79$																			
Wärmeverlustkoeffizient *)		$a_1 = 3,979 \text{ W/m}^2\text{K}$ $a_2 = 0,014$ (bei $v = 3,0 \text{ m/s}$ )																			
Stillstandtemperatur *)		170,7 °C (bei 1000W Einstrahlung, 30°C Umgebungstemperatur)																			
Absorber		Sunstrip® - gesputterte Absorber mit selektiver Beschichtung Absorption $\alpha = 96\% \pm 2\%$ , Emission: $\epsilon = 7\%$																			
Dämmung		Steinwolle 70 mm																			
Abdeckung		eisenarmes Solarsicherheitsglas 4mm (Lichtdurchlässigkeit > 90%)																			
Dichtsystem		Aluminiumprofile mit EPDM- Dichtungen																			
Rahmen		Holzwarne										Alu-Holzwarne									
Gewicht		ca. 24 kg / m²																			
Befestigung		auf Dachlatten befestigt										ökoTech - Aufständerung									
Anschluß		22 / 28 mm Kupferrohre																			
Verbindungstechnik		Weichlöten mit hochtemperaturbeständigem Solar-Weichlot (bis 250°C) oder solar geeignete Verschraubungen - Hartlöten ist nicht erlaubt.																			
max. Wärmedehnung		3 mm / m Absorberlänge. Die Verrohrung ist so auszuführen, dass freie Dehnung des Absorbers gewährleistet bleibt.																			
Feuchtschutz		Holzrahmen vor Nässe zu schützen; ökoTech- Eindeckrahmen empfohlen										volleingespengelt									
Montage		Bei der Montage sind die entsprechenden bzw. gesetzlich vorgeschriebenen Sicherheitsvorkehrungen für Monteure und Passanten zu treffen. Montage und Verspengelungsarbeiten sind von befugten Personen nach den technischen Regeln der Berufsgruppen durchzuführen. Kollektorneigung zwischen min. 20° und max. 90° siehe ökoTech Montageanweisung.																			

\*) Prüfzusammen Nr.: 2.04.00667.1.0-1-LT bzw. Nr.: 2.04.00667.1.0-1-QT(1) nach ÖNORM EN 12975, (Leistungs- und Zuverlässigkeitstest)  
Österreichisches Forschungs- und Prüfzentrum Arsenal Research GmbH, 2009



Abbildung 5: Kollektordaten (Simulationsraum) [OEK13]



Das Kollektorfeld ist über einen externen Wärmetauscher mit einem 2000 Liter fassenden Pufferspeicher verbunden. Die Beladung des Speichers erfolgt über ein Dreiwegeventil in zwei verschiedenen Speicherhöhen. Neben der Raumheizung wird die Energie im Pufferspeicher auch für die Warmwasserversorgung der Bauakademie verwendet.

Der Raum verfügt über eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und einem Sommerbypass.

### Regelungstechnik

Es sind zwei Möglichkeiten zur Beladung der Bauteile vorgesehen. Dabei wird bewusst auf aufwendige Regelalgorithmen (wie sie z.B. bei prädiktiver Regelung benötigt werden) verzichtet. Die Vorlauftemperatur wird generell nicht geregelt. D.h. jene Temperatur die im Speicher vorhanden ist, wird zur Beladung der Bauteile herangezogen. Für eine Begrenzung der Vorlauftemperatur ist durch eine Beimischschaltung mit Dreiwegeventil gesorgt. Diese begrenzt die Temperatur in den Bauteilen auf eine definierte Höchsttemperatur.

#### Zwei-Punkt-Regelung (Heizfall):

Fällt die operative Temperatur im Raum unter einen festgelegten Wert ab, startet die Beladung der Bauteile solange bis ein oberer Grenzwert der operativen Temperatur erreicht wird. Die Hysterese kann manuell festgelegt werden. Regelungstechnisch ist diese Art der Regelung als äußerst unkompliziert zu betrachten.

#### Regelung der Beladung in Abhängigkeit der Rücklauftemperatur (Heizfall):

Um eine definierte Uhrzeit startet die Beladung der Bauteile falls die operative Temperatur im Raum unter der Solltemperatur liegt. Die Pumpe läuft dann bis die Temperaturdifferenz zwischen dem Eintritt in das Bauteil und dem Austritt aus dem Bauteil einen gewissen Wert unterschreitet. Der nächste Beladevorgang beginnt am darauffolgenden Tag zu der definierten Uhrzeit.

Die Simulationsräume können über einen Webclient gesteuert werden, genauer gesagt können folgende Funktionen eingestellt und gesteuert werden.

- ◆ Heiztemperaturen und –perioden können eingestellt werden
- ◆ Lüftungseinstellungen mechanisch und Fensterlüftung
- ◆ Zeitperiode für Innerelasten
- ◆ Zeitperiode für Verschattung

Die gemessenen Daten werden im fünf Minuten Takt gespeichert und auf einem Server hinterlegt. Dieser übermittelt der TU Wien einmal täglich die Daten.

## **2 Messperiode Sep2012 - Sep2014**

Die Messanlage im Simulationsraum in Salzburg ist seit September 2012 in Betrieb. Die Messungen dienen einerseits dazu ein dynamisches Raum- bzw. Gebäude- und Anlagensimulationsprogramm, welches an der TU Wien entwickelt wurde, zu validieren, andererseits sollen die Messungen Aufschluss über den Energieverbrauch und das dynamische Verhalten von Gebäuden mit Bauteilaktivierung geben.

Ein kontinuierlicher Messbetrieb war aufgrund der unvollständigen Programmierung der Gebäudetechniksteuerung und der Ausfälle der Anlage nicht möglich.

Zur Validierung der Modelle waren daher nur kurze Perioden verwendbar.

## 3 Modellbildung

### 3.1 Fensterluftwechsel



Abbildung 7: Öffenbare Fenster in den Ziegelhäusern. Im Foto ist die größte Öffnung des Fensters zu sehen. Erkennbar ist auch der außenliegende Sonnenschutz in der Stellung geschlossen.

In den Simulationsräumen waren öffenbare Fenster vorhanden. Mithilfe eines Antriebes konnten sie über die Gebäudeleittechnik zu bestimmten Zeitpunkte geöffnet werden.

Die Modellierung des Fensterluftwechsels erfolgte nach ÖNORM B 8110-3: Anhang D. Details dazu sind in Rosenberger et.al 2013 und Friembichler et.al. 2014 enthalten.



Abbildung 8: Einstellung der Zeitpunkte zu denen Fenster geöffnet bzw. geschlossen werden bzw. ob der Sonnenschutz in der Stellung oben oder unten ist.

## 3.2 Bauteile

Die Modellierung der Bauteile ist in Friembichler et.al. 2014 ausführlich dargestellt.

## 4 Vergleich zwischen Simulation und Messung

Im Zeitraum 1.Juni bis 1.Juli 2014 wurde in den Räumen Ziegel1 und Ziegel2 weder geheizt noch gekühlt. Da in dieser Zeit die Aufzeichnung und Datenübermittlung kontinuierlich erfolgt war, ist ein Vergleich der simulierten und der gemessenen operativen Temperaturen möglich. Der Betrieb der Räume erfolgte nicht mit dem Ziel der Optimierung der thermischen Behaglichkeit. Da dafür keine Regelalgorithmen von der Regelungstechnikfirma implementiert worden sind war dies nicht möglich. Für einen qualitativen Vergleich der Simulation und der Messung war der Messzyklus aber ausreichend.

### 4.1 Operative Temperatur

In den folgenden Abbildungen ist der Vergleich zwischen der simulierten und der gemessenen operativen Temperatur in den beide Räumen dargestellt. Zwischen 1.Juni und 15.Juni 2014 (=350 Stunden) waren die Fenster geschlossen. Danach waren sie für einige Tage nachts geöffnet. Ab 21.Juni 2014 (=500 Stunden) waren sie wieder geschlossen.

#### Ziegelhaus 1

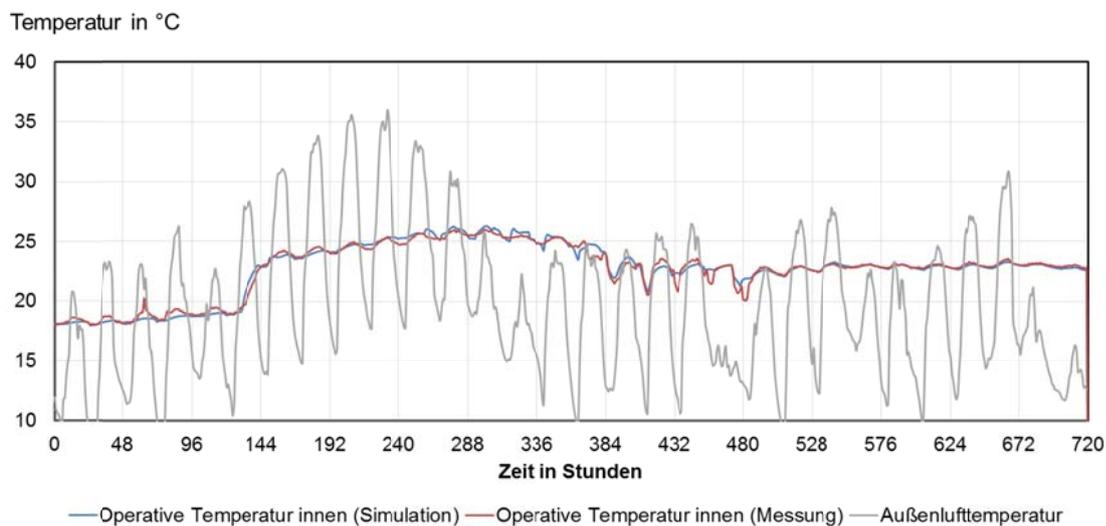


Abbildung 9: Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Verlauf der operativen Temperatur für Ziegelhaus 1 im Juni 2014

## Ziegelhaus2

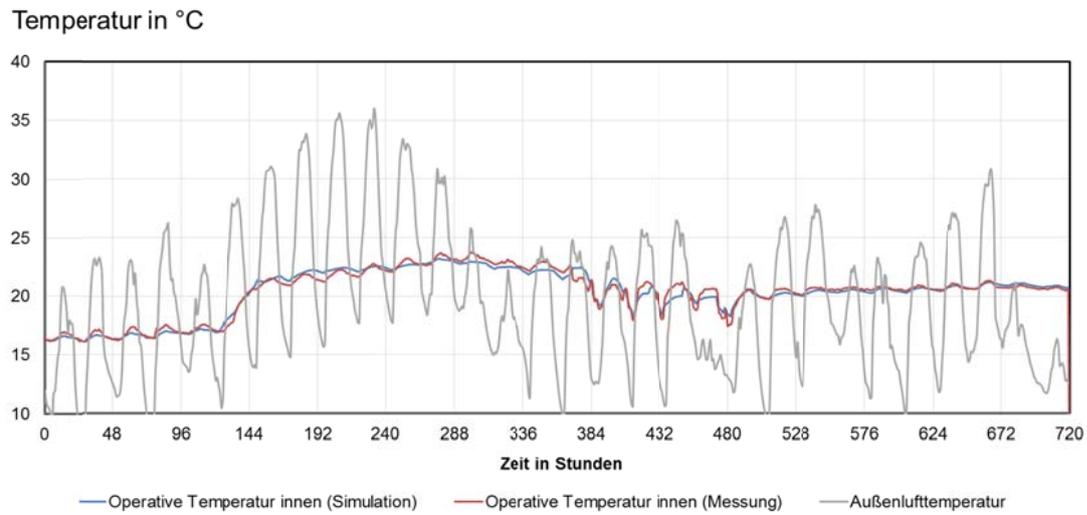


Abbildung 10: Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Verlauf der operativen Temperatur für Ziegelhaus 2 im Juni 2014

Der Vergleich zeigt eine qualitativ gute Übereinstimmung für die thermische Dynamik mit und ohne Lüftung über Fenster.

## 5 Ganzjahresbetrachtung durch Simulation

Um einen Eindruck zu bekommen, wie die sich einstellende operative Temperatur von den bautechnischen Eigenschaften der Außenhülle abhängt ist mit Hilfe der validierten Simulation folgendes Szenario berechnet worden:

16m<sup>2</sup> 2-Personenbüro Variante1: hohe innere Lasten Variante 2: geringe innere Lasten durch Geräte  
Außenliegender Sonnenschutz  
Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung  
Keine Fensterlüftung  
Optimale Regelung  
Außenklima: Linz Halbsynthetisches Referenzjahr

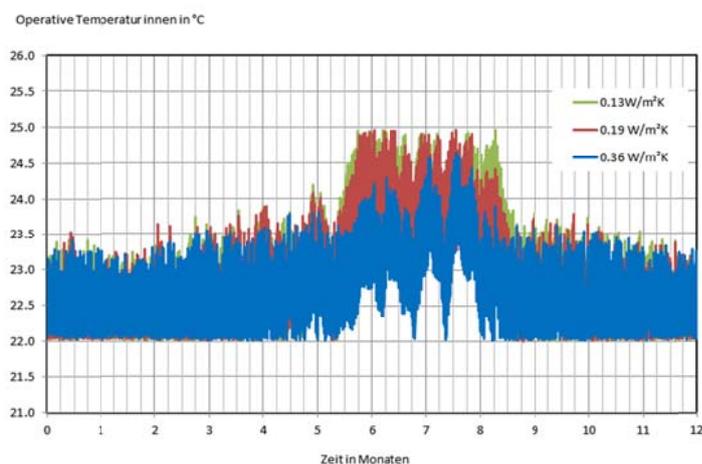


Abbildung 11: Operative Temperatur über ein Jahr für ein optimal geregeltes 2-Personenbüros mit hohem Stromverbrauch für IT (150W pro Arbeitsplatz) für verschiedene U-Werte der Außenwände.

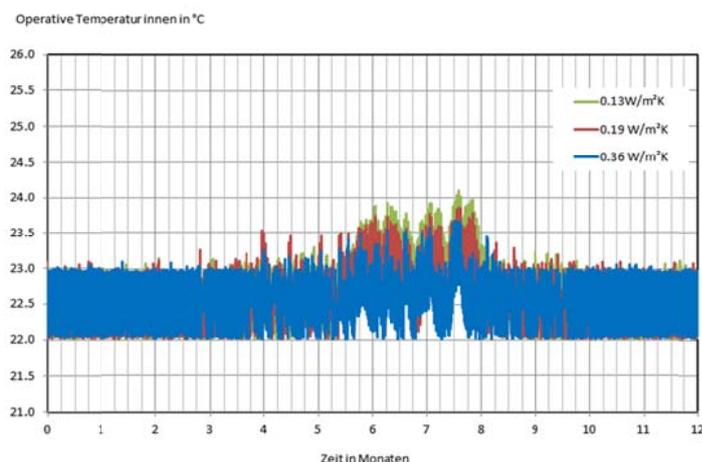


Abbildung 12: Operative Temperatur über ein Jahr für ein optimal geregeltes 2-Personenbüros mit geringem Stromverbrauch für IT (35W pro Arbeitsplatz) für verschiedene U-Werte der Außenwände.

In den beiden Abbildungen ist erkennbar, dass die inneren Lasten auf die thermische Dynamik im Winter wie im Sommer einen hohen Einfluss haben. Eine Verringerung der Verluste an den Außenbauteilen führt zu einem früheren Anstieg der operativen Temperaturen bei höheren Außentemperaturen.

## 6 Außenwände bei solarer Einstrahlung

Aufgrund der in den Hochlöchern des Ziegelmauerwerks eingebauten Temperatursensoren war eine Analyse des dynamischen Verhaltens von Hochlochziegelmauerwerk bei solarer Einstrahlung möglich. Im März 2014 konnte eine Messperiode aufgezeichnet werden in der die Außentemperaturen im Mittel bei 15°C lagen und sowohl geringe als auch hohe solare Einstrahlung auftraten. In diesen Perioden konnten die Simulationsergebnisse für die Temperaturen im Bauteilaufbau und die gemessenen Temperaturen verglichen werden.

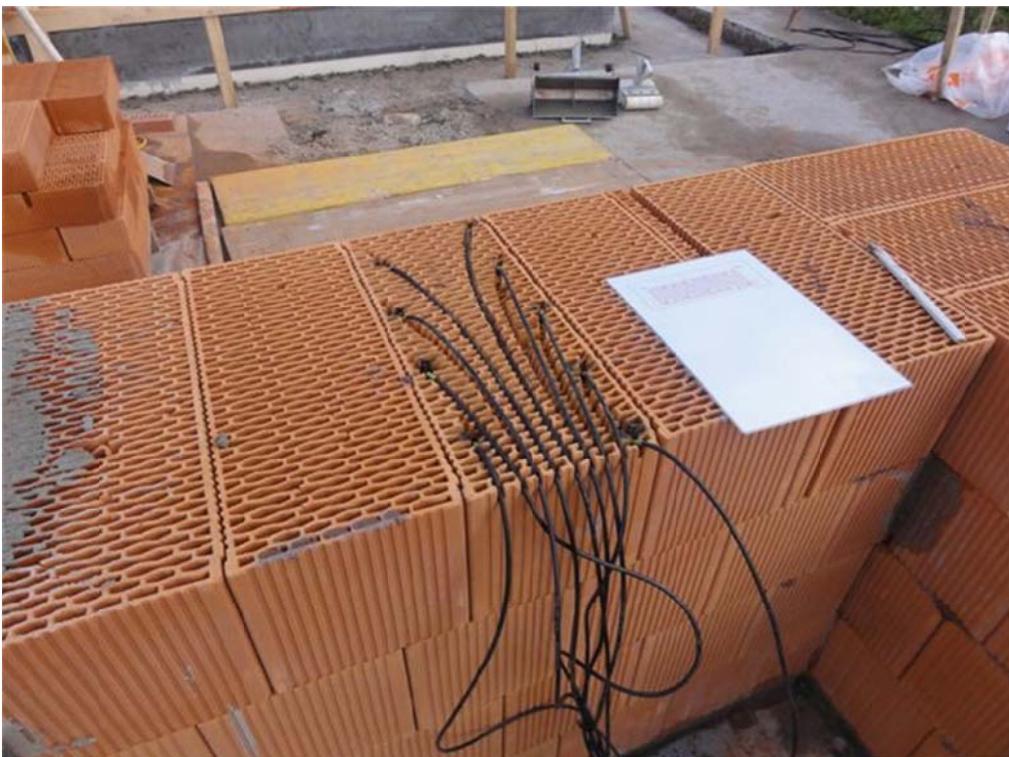


Abbildung 13: Lage der Temperaturfühler im Mauerwerk

## 6.1 Ziegelhaus 1

In den folgenden Abbildungen sind das Außenklima und die Temperaturverläufe in der Wand für den Ziegelraum1 dargestellt.

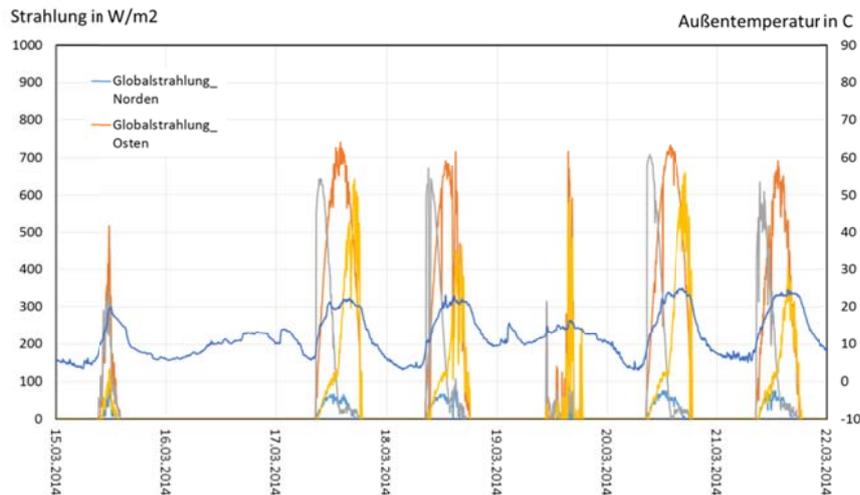


Abbildung 14: Außentemperatur und solare Einstrahlung in einer Märzwoche 2014 mit hoher Solareinstrahlung

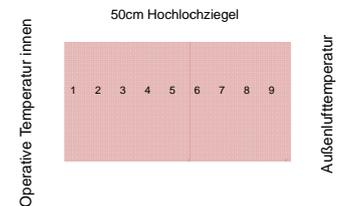
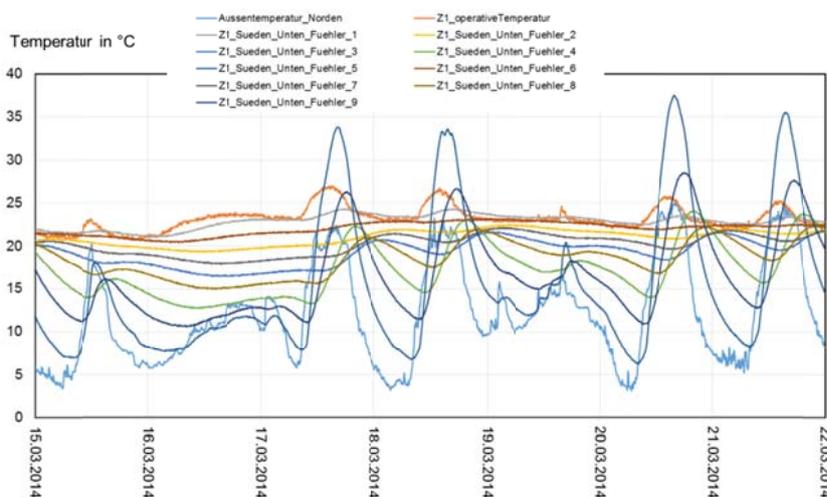


Abbildung 15: Temperaturverlauf in einer Märzwoche 2014 mit hoher Solareinstrahlung für Südwand unten bei Ziegelhaus 1

Folgende Daten konnten der Dokumentation der Ziegelräume entnommen werden, die in der Masterarbeit Sumeder 2013 zusammengestellt wurde:

<b>Aufbau Außenwand</b>					
Material	d [cm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$c_p$ [J/kgK]
Kalk-Gips Putz [Baubook, 2012]	1,5	0,7	0,021	1300	900
Trionic XP50 [Eder, 2013]	50	0,079	6,329	640	1000
Grundputz leicht [Baubook, 2012]	2,5	0,35	0,071	900	1116

*Tabelle 37: Hellbezugswerte verschiedener Außenputze [Röfix, online, 2013]*

Putzfarbe	Farbmuster	HBW
Weiß		98%
Gelb		67%
Orange		46%
Rot		18%
Blau		15%
Schwarz		0%

Quelle: Evelyn Sumereder; Vergleichende dynamische und statische Untersuchung in monolithischer Ziegelbauweise; Masterarbeit FH Wels; 2013

Aus der Zusammenstellung der Daten ist erkennbar, dass nicht für alle verwendeten Materialien die thermischen Kenndaten vorhanden sind. Daher wurden typische Daten aus der Literatur/Datenbanken genommen. Auch der Absorptionsgrad für Solarstrahlung ist für die Beschichtung der Außenoberfläche nicht vorhanden. Er wurde aus dem Hellbezugswert abgeschätzt.

Um einen qualitativen Vergleich zwischen der Simulation des Bauteilverhaltens und den gemessenen Temperaturen durchzuführen wurde mit Hilfe von Bagda 1991 der solare Absorptionsgrad geschätzt.

Das Modell für den Bauteilaufbau ist in Friembichler et.al. 2014 in Kapitel 7.2.3 ausführlich dokumentiert. Um das Temperaturfeld im Bauteil zu ermitteln wurde der Bauteilaufbau als Schichtenfolge gerechnet.

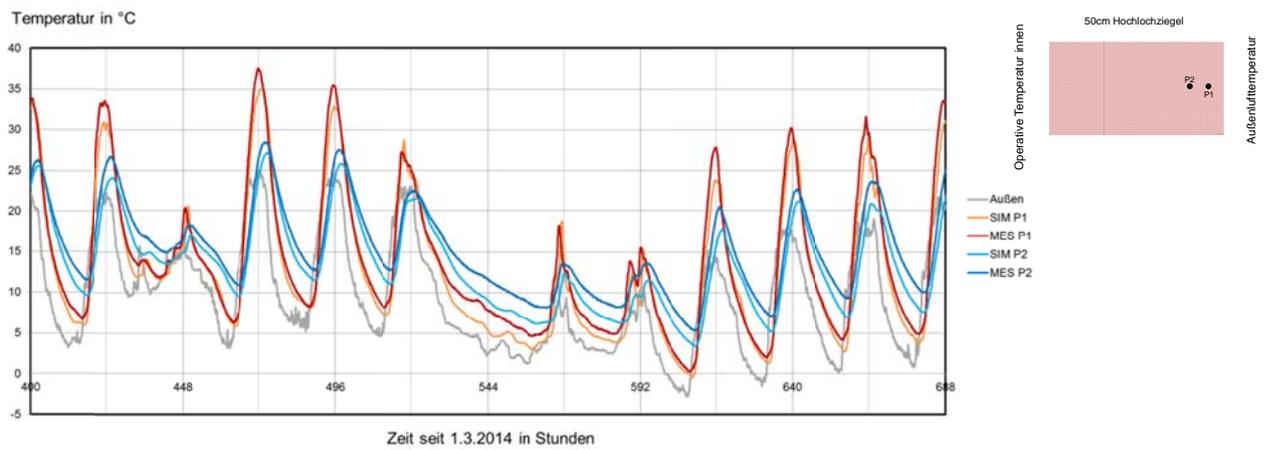
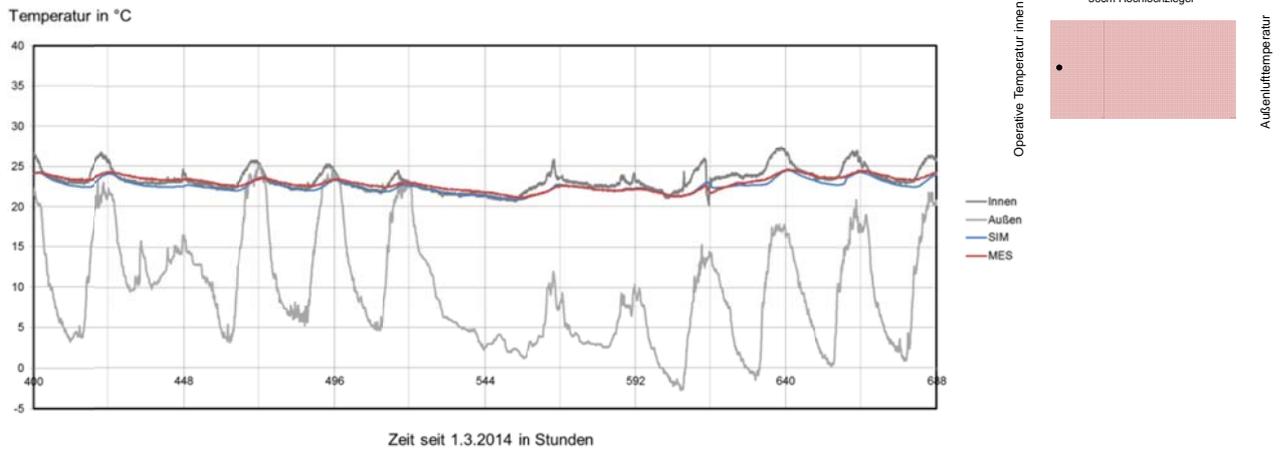


Abbildung 16: Vergleich zwischen berechneten und gemessenen Temperaturverlauf Ziegelhaus 1 (besont). In der oberen Abbildung ist der innerste Messpunkt dargestellt. In den unteren Abbildungen sind die

## 6.2 Ziegelhaus 2

In den folgenden Abbildungen sind das Außenklima und die Temperaturverläufe in der Wand für den Ziegelraum2 dargestellt. Die Ergebnisse entsprechen den Messdaten von Ziegelraum1.

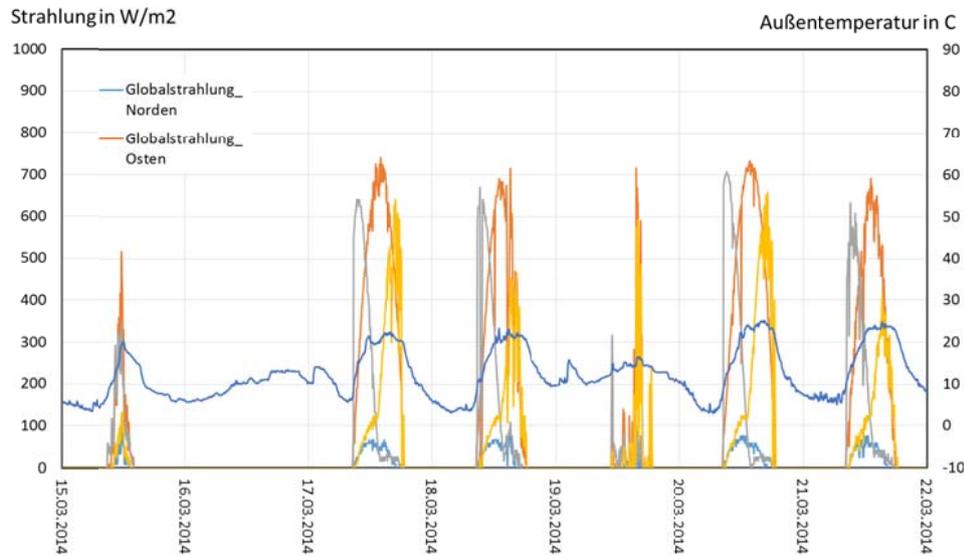


Abbildung 17: Außentemperatur und solare Einstrahlung in einer Märzwoche 2014 mit hoher Solareinstrahlung

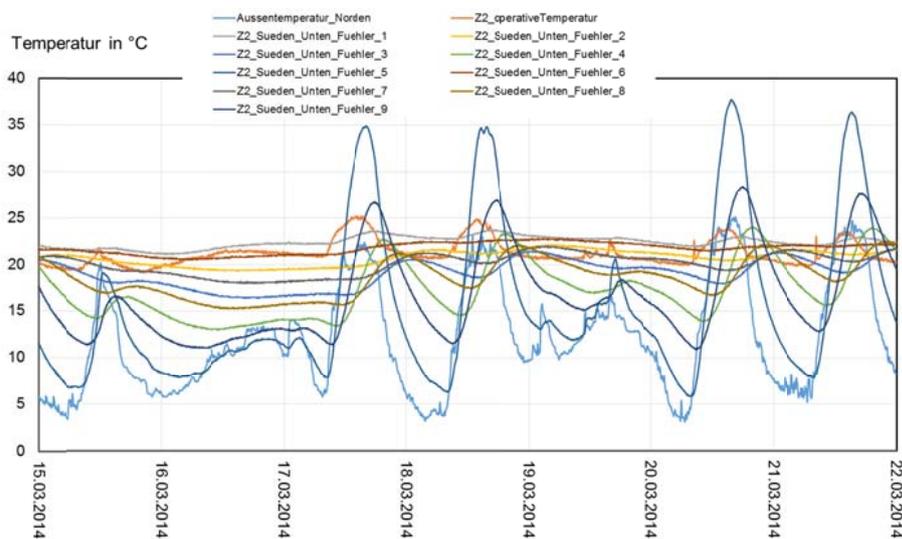


Abbildung 18: Temperaturverlauf in einer Märzwoche 2014 mit hoher Solareinstrahlung für Südwand unten bei Ziegelhaus 2

## 7 Analyse eines Modelleinfamilienhauses

Um den Einfluss der Wärmeabgabe über Bauteile auf den Energiebedarf zur Raumheizung zu ermitteln wird das in der folgenden Abbildung schematisch dargestellte Einfamilienhaus verwendet. Die Wärmeabgabe an die Räume erfolgt über aktivierte Decken.

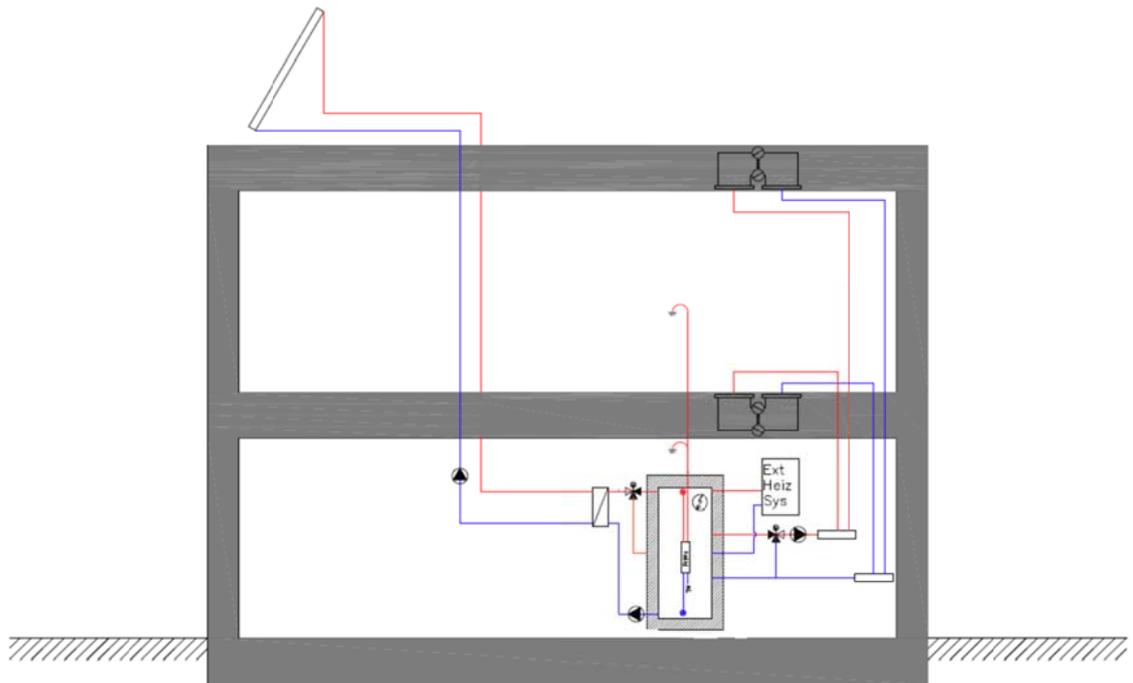


Abbildung 19: Schematische Darstellung des Gebäudes, das für die Analyse des Einflusses der Bautechnik auf den Heizwärmebedarf verwendet wird.

Die Annahmen zur Nutzung und die Details zur Modellierung der Nutzung sind in Handler 2014 enthalten.

## 7.1 Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden

Um die Analysen im Anschluss zu verstehen ist es wichtig, die Bilanzgrenzen für den Energiebedarf eindeutig zu definieren. Im Rahmen von IEA Annex 53 „Total energy use in buildings“ wurden die Bilanzgrenzen  $E_b$  und  $E_t$  definiert. Diese Bilanzgrenzen werden auch in den Entwürfen der ISO Normen für die Rechenregeln im Energieausweis für Gebäude klar unterschieden. In der Bilanzgrenze  $E_b$  gibt es keinen Einfluss der Anlagentechnik.

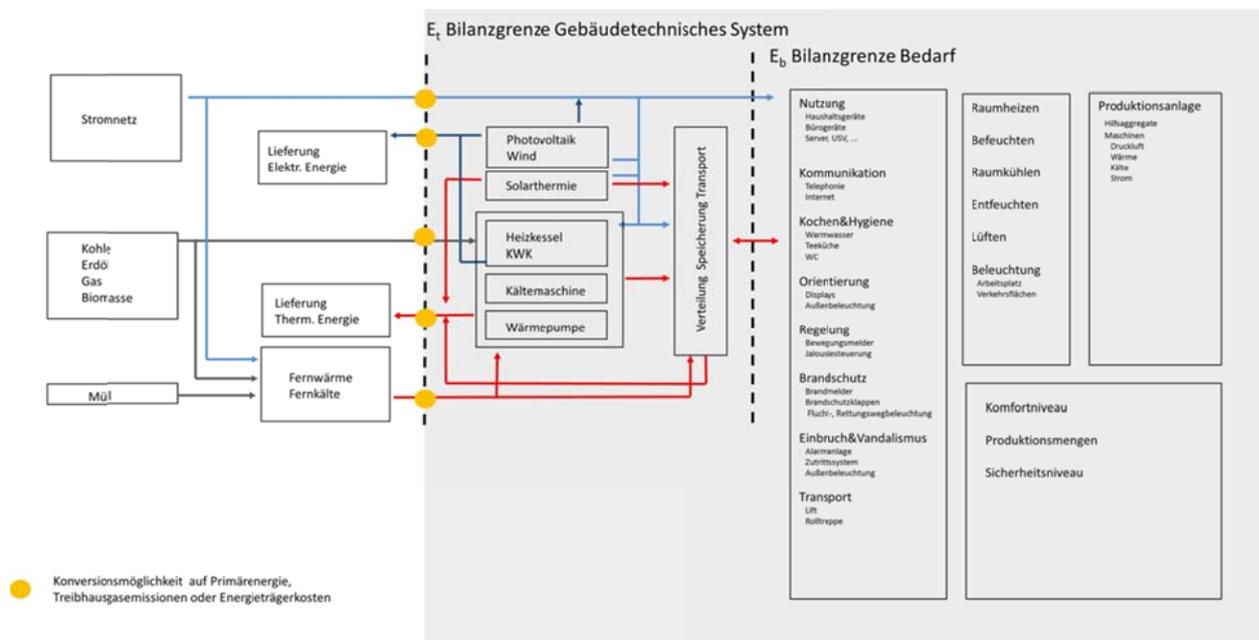


Abbildung 20: Darstellung der Bilanzgrenzen für die Bestimmung energetischer Kenngrößen von Gebäuden. An der Bilanzgrenze  $E_b$  wird nur die Bautechnik und die Nutzung berücksichtigt. An der Bilanzgrenze  $E_t$  werden die Nutzung, die Bautechnik und die Gebäudetechnik berücksichtigt.

In den folgenden Abbildungen sind die Größen des Energieausweises verortet. Der Heizwärmebedarf wird nur durch die das Außenklima, die Bautechnik und die Nutzung bestimmt. Der Primärenergiebedarf, die Treibhausgasemissionen und der Faktor für die Gesamtenergieeffizienz sind auch zusätzlich durch die Abgabesysteme, Verteilsysteme, Bereitstellungssysteme und deren Regelung bestimmt.

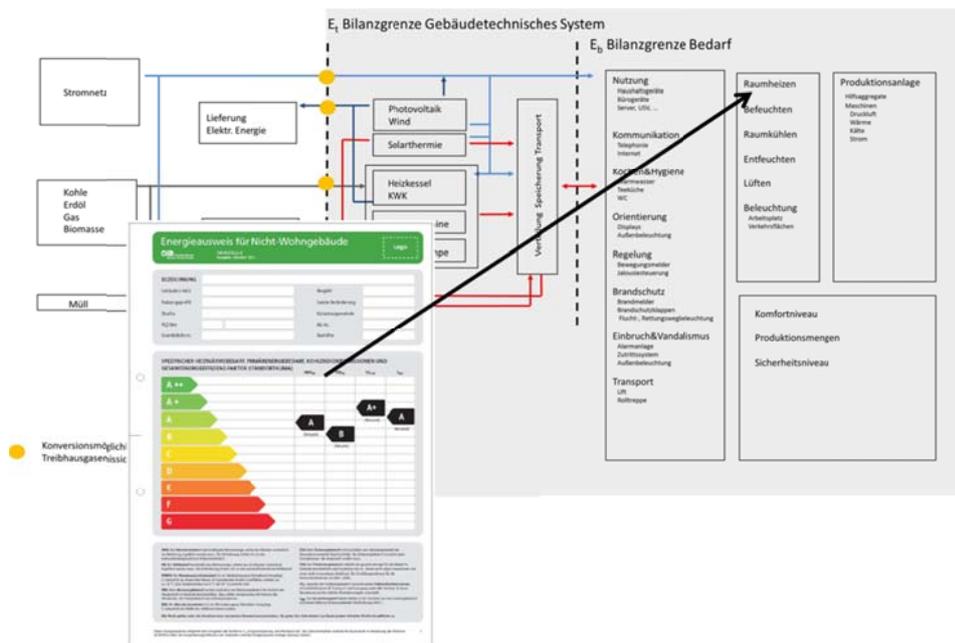


Abbildung 21: Der Heizwärmebedarf ist eine Kenngröße für Gebäude die nur die Bautechnik und die Nutzung enthält. Die Wärmeverluste der Anlage sind darin nicht enthalten.

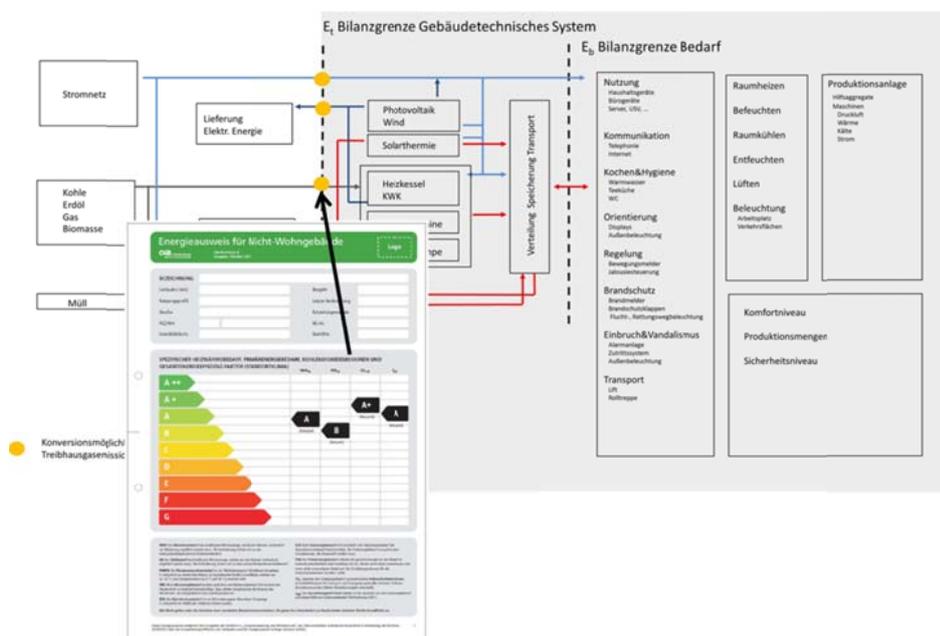


Abbildung 22: Der Heizenergiebedarf ist eine Kenngröße für Gebäude die sowohl die Bautechnik, die Nutzung als auch die Gebäudetechnik enthält.

## 7.2 Strahlungseinflüsse auf Wärmedurchgang

Bereits zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs sind die thermischen Eigenschaften der Bauteile entscheidend. In der vereinfachten Berechnung des Energieausweises (ÖNORM B 8110-6) ist es erlaubt, die solare Einstrahlung auf die opaken Bauteile für den Heizwärmebedarf zu vernachlässigen. Beim Kühlbedarf müssen sie berücksichtigt werden. In der folgenden Abbildung sind die effektiven U-Werte dargestellt, die sich für die Außenwand der Ziegelräume am Standort Linz ergeben würde. Der effektive U-Wert ist die Kenngröße, die den Wärmeverlust von innen nach außen aufgrund Transmission, solarer Einstrahlung und Infrarotstrahlungsaustausch mit der Umgebung berücksichtigt. Er hängt daher vom Standort, der Orientierung, der Verschattung und der Farbe der Außenwand ab.

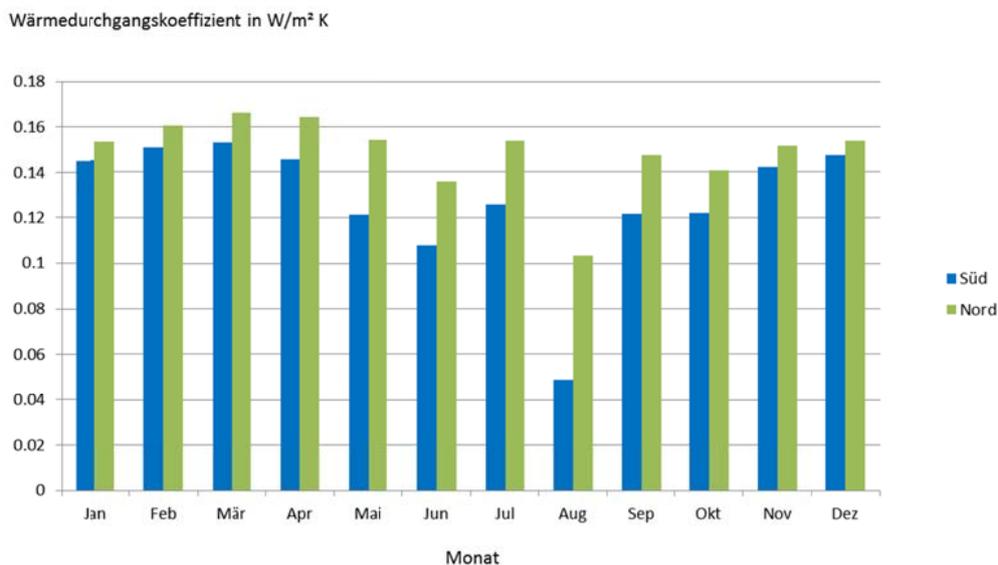


Abbildung 23: Vergleich des effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten für die Nord- und Südausrichtung der Außenwand.

In der obigen Abbildung ist erkennbar, dass im Tiefwinter der Wärmeverlust nur wenig von der Orientierung abhängt. Im Hochsommer aufgrund der Einstrahlung eine wesentliche Reduktion der Wärmeverluste eintritt.

Zur Berücksichtigung des Strahlungstransportes an der Außenseite von Bauteilen gibt es ein vereinfachtes Verfahren in EN ISO 13790, um für eine Monatsbilanz den Betrag der Reduktion der Wärmeverluste zu ermitteln.

In der folgenden Abbildung werden die Ergebnisse für den Wärmedurchgangskoeffizienten aus der Simulation (mit Solarer Einstrahlung und Infrarotaustausch), der Berechnung nach ISO 6946 (stationär ohne Strahlungseinflüsse) und der ISO 13790 (stationär mit Strahlungseinflüssen) verglichen.

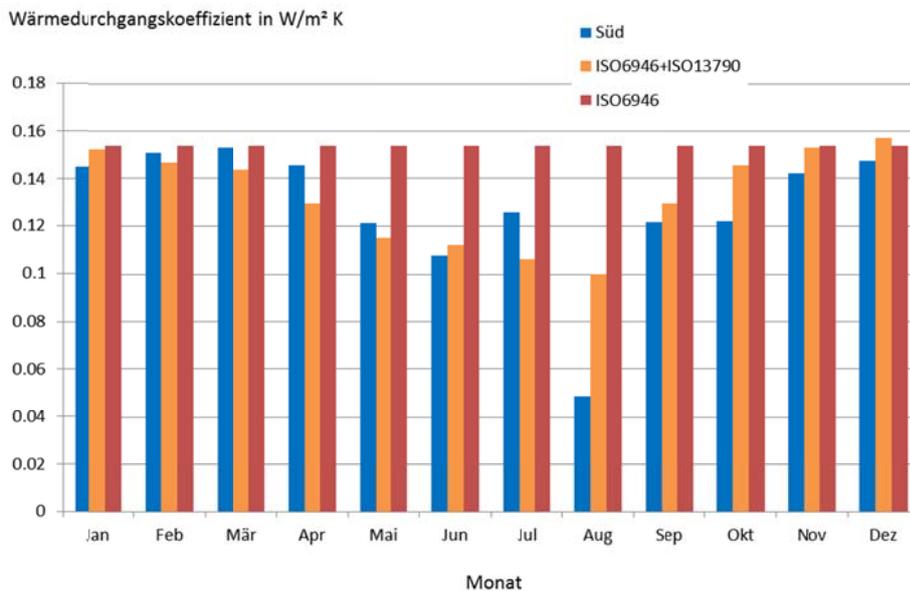


Abbildung 24: Vergleich der Ergebnisse für den effektiven Wärmedurchgangskoeffizienten für die Südausrichtung der Außenwand aus verschiedenen Berechnungsverfahren. Stationäre Berechnung nach ISO6946, Stationäre Berechnung nach ISO6946 mit Berücksichtigung der solaren Einstrahlung unter des Infrarotstrahlungsaustausches nach ISO13790. Instationäre Berechnung mit Hilfe einer Simulation.

In der obigen Abbildung ist erkennbar, dass bei Verwendung von ISO 13790 der Beitrag der solaren Einstrahlung und des Infrarotaustausches im wesentlichen berücksichtigt werden kann.

### 7.3 Einfluss Regelung auf Wärmebedarf für Raumheizung

Um den Einfluss von Bauteilaktivierung auf den Heizwärmebedarf zu verstehen wird im Folgenden für verschiedene Gebäudehüllenqualitäten auf Basis einer validierten Simulation die notwendige Wärme berechnet, die notwendig ist, damit die operative Temperatur über einem minimalen Wert bleibt. Wesentlich dabei ist, die operative Temperatur bei der angenommen wird, dass Maßnahmen zur Vermeidung der Überwärmung durch die Nutzer durchgeführt werden. Maßnahmen zur Vermeidung der Überwärmung sind einerseits die Verwendung eines Sonnenschutzes und andererseits die zusätzliche Lüftung über Fenster, die nicht nur den hygienischen Luftwechsel abdeckt.

Die Analysen werden für zwei verschiedene Gebäudequalitäten durchgeführt. In der folgenden Abbildung ist erkennbar, dass die untersuchten Gebäude G1 und G4 sich durch verbesserte Bauteile aber besonders durch eine Reduktion der Lüftungswärmeverluste entsteht. Technisch kann die Reduktion der Lüftungsverluste durch die Verwendung einer mechanischen Lüftung mit Wärmerückgewinnung entstehen.

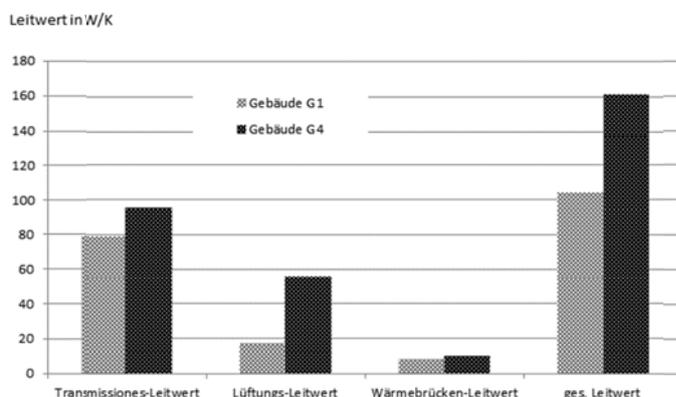


Abbildung 25: Zusammenstellung der Transmissions- und Lüftungsleitwerte für die beiden Varianten G1 und G4 des Gebäudes.

In der folgenden Abbildung und Tabelle ist der Wärmebedarf für Raumheizung einerseits mit Hilfe des Monatsbilanzverfahrens und andererseits mit Hilfe einer dynamischen Simulation ermittelt worden.

In der Monatsbilanz wurde eine operative Temperatur innen von 21°C angenommen. In der dynamischen Simulation wurde eine Einschaltpunkt der Heizung von 21°C und eine obere Grenztemperatur von 25°C angenommen. Die Wärmeabgabe an den Raum erfolgte dabei einerseits direkt an den Raum und andererseits an die Bauteilaktivierung. Aufgrund der thermischen Kapazität der Bauteilaktivierung und er damit verbundenen zeitlichen Verzögerung ergibt sich im Fall der Berücksichtigung der Bauteilaktivierung ein etwas erhöhter Wärmebedarf.

### Heizwärmebedarf in kWh/m<sup>2</sup>

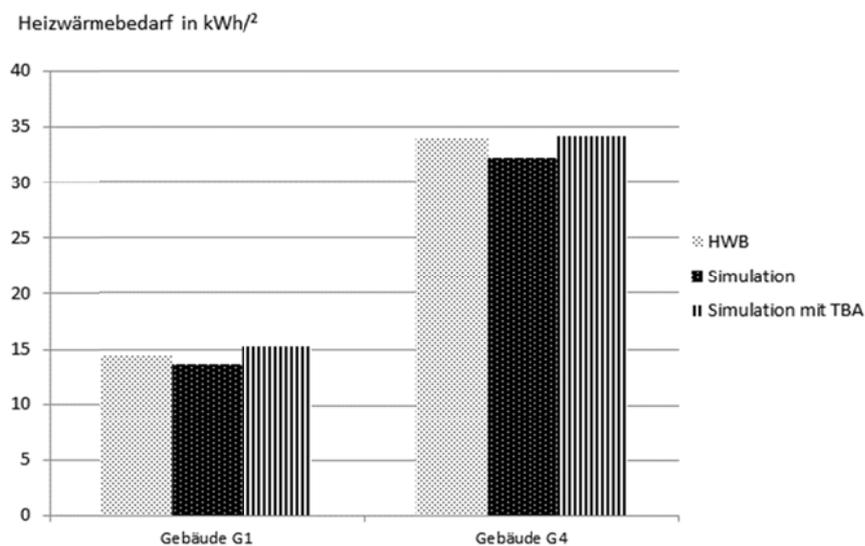


Abbildung 26: Vergleich des Heizwärmebedarfs nach dem Monatsbilanzverfahren mit dem an das Heizsystem abgegebenen Wärmemengen aus einer Simulation bei idealer Heizungssteuerung (Simulation) und bei Berücksichtigung der Bauteilaktivierung (Simulation TBA)

Tabelle 1: Vergleich des Heizwärmebedarfs nach dem Monatsbilanzverfahren mit dem an das Heizsystem abgegebenen Wärmemengen aus einer Simulation bei idealer Heizungssteuerung (Simulation) und bei Berücksichtigung der Bauteilaktivierung (Simulation TBA)

	Gebäude G1		Gebäude G4	
	kWh/m <sup>2</sup>	%	kWh/m <sup>2</sup>	%
HWB	14.4	6	33.9	6
Simulation	13.6	0	32.1	0
Simulation mit TBA	15.2	12	34.0	6

## 8 Schlußfolgerungen

Durch die Messungen im Juni und Juli 2014 konnte die Güte der Modelle für das thermische Bauteilverhalten ohne Aktivierung und die Modelle zum Fensterluftwechsel überprüft werden. Es ergab sich eine gute Übereinstimmung. Eine Verbesserung der Modelle zur Lüftung könnte durch Berücksichtigung des Windes am Standort erfolgen. Für das sommerliche Verhalten und damit für den nächtlichen Luftwechsel ergibt sich bei Modellen ohne Berücksichtigung des Windes eine operative Temperatur die auf der sicheren Seite liegt.

Durch den Vergleich der gemessenen und der berechneten Temperaturverläufe mit und ohne solarer Einstrahlung konnte eine zufriedenstellende Übereinstimmung festgestellt werden. Eine vollständige Übereinstimmung war nicht zu erwarten da vom Messobjekt nur die Baustoffparameter des 50cm dicken Hochlochziegels bekannt waren und es keine Messung der Temperatur der Umgebung vorhanden waren.

Auf Basis der validierten Simulationen konnte gezeigt werden, dass der Heizwärmebedarf aus der Monatsbilanz und der Simulation um weniger als 10% differieren.

Bei Berücksichtigung der Bauteilaktivierung ergibt sich für ein Einfamilienhaus mit einem Heizwärmebedarf von ca. 35kWh/m<sup>2</sup> ein um 6% höherer Wärmebedarf zur Raumheizung und für ein Gebäude mit einem Heizwärmebedarf von ca. 15kWh/m<sup>2</sup> ein um 12% erhöhter Wärmebedarf für Raumheizung. Dieser Erhöhungen hängen stark von der Güte der Regelung ab. In der Simulation wurde direkt die operative Temperatur im Raum als Regelgröße verwendet. In der Realität weichen die Messwerte je nach Lage des Raumfühlers von der operativen Temperaturen an den Aufenthaltsbereichen ab.

## 9 Quellen

- BAG91 Bagda, Bestimmung der Absorptionszahl der Sonnenstrahlung; Bauphysik 13 (1991) Heft 6
- BOI12 Bointner, Raphael, et al. Gebäude maximaler Energieeffizienz mit integrierter erneuerbarer Energieerschließung. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. 2012.
- FRI14 F. Friembichler, T. Bednar, S. Handler, M. Gladt, M. Neusser, R. Hofer, H. Schöberl; Thermische Bauteilaktivierung.- Entwicklung eines Rechenkerns; Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. 2014
- HAN14 Handler, Simon; Steigerung der Energieeffizienz von kleinvolumigen Wohnbauten durch solarthermische Aktivierung von Betondecken- Simulationsbasierte Entwicklung eines Gebäudekonzepts und einer neuen Methode zur Vordimensionierung; Dissertation TU Wien 2014
- KUS13 Kuster, Harald (FIN – Future is Now – Kuster Energielösungen GmbH): Plan über die Verschaltung der Kollektoren. [Übermittelt: 8.4.2013, 14:00 Uhr].
- OEK13 Ökotech - Großflächenkollektor mit Sunstrip- Absorber - ökoTech GS. URL: [http://www.oekotech.biz/UserFiles/File/DownloadFiles/Datenblatt\\_oekoTech\\_GS.pdf](http://www.oekotech.biz/UserFiles/File/DownloadFiles/Datenblatt_oekoTech_GS.pdf) [Datum des Zugriffs: 9.10.2013, 13:00 Uhr].
- ROS12 R. Rosenberger, T. Bednar, H. Schöberl, K. Ponweiser, C. Pöhn, A. Storch, W. Wagner, J. Schnieders; Entwicklung des ersten rechtssicheren Nachweisverfahrens für Plusenergiegebäude durch komplette Überarbeitung der ÖNORMEN. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie. 2012.