

ARGE BLOCKHAUSBAU



Dafür schlägt unser Herz!



Forschungsbericht

A.Nr.: U8/103/09

Massivblock 20 + Teilprojekt Versuchshäuser

Autoren : Dipl.-Ing R. Preininger
Ing. W. Rettenegger

Anzahl der
Textseiten : 35

Anhänge : A bis F

Ausfertigung : Salzburg, 14.07.2011



Gemeinnütziger Verein für Bautechnische Versuchs- und Forschungsarbeiten Salzburg
BAUTECHNISCHE
VERSUCHS- UND FORSCHUNGSANSTALT SALZBURG
Abteilung Bauphysik & Hochbau

Auftraggeber:

ARGE Blockhausbau
p.A. Holzbau Maier GmbH
Gewerbestraße 171
5733 Bramberg

Inhalt

1. EINLEITUNG	3
2. FORSCHUNGSKONZEPT.....	4
2.1 Allgemeines	4
2.2 Aufbau der Versuchsbauten	4
3. Inhalte und Zielsetzung	7
3.1 Versuchsprogramm	7
3.2 Modul Heizenergiebedarf.....	8
3.3 Modul Auskühl- und Aufheizverhalten.....	8
3.4 Modul Sommerlicher Wärmeschutz	8
3.5 Modul Sorptionsverhalten	9
3.6 Modul Temperaturverteilung in der Außenwand	9
4. DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE	10
4.1 Instrumentierung	10
4.2 Modul Heizenergiebedarf.....	13
4.3 Modul Auskühl- und Aufheizverhalten.....	15
4.4 Modul Sommerlicher Wärmeschutz	21
4.5 Modul Thermische Behaglichkeit im Winter	24
4.6 Modul Raumlufffeuchte bei erhöhter Feuchtebelastung (Sorptionsverhalten) ...	25
4.6 Modul Temperaturverteilung in der Außenwand	26
5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.....	30
5.1 Heizwärmebedarf.....	30
5.2 Auskühlverhalten und Aufheizverhalten	31
5.3 Thermische Behaglichkeit im Sommer - Sommerlicher Wärmeschutz.....	31
5.4 Thermische Behaglichkeit im Winter	32
5.5 Sorptionsverhalten.....	32
5.6 Temperaturverteilung in der Außenwand des Blockbaues	33
6. FAZIT UND AUSBLICK	33
7. LITERATUR	35

1. EINLEITUNG

Mit 1. April 2011 ist im Bundesland Salzburg die neue Bautechnikverordnung – Energie in Kraft getreten. Neben weiteren Anforderungen an die Energieeffizienz und den Wärmeschutz sind in dieser Verordnung Mindestanforderungen an den U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) an Außenbauteile (Außenwände usw.) angegeben. Eine klassische einschalige Holzblockwand mit einer Dicke von ca. 20 cm erreicht die notwendigen Mindeststandards der derzeit gültigen Verordnung im Land Salzburg von U-Wert $\leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ nicht. Die Anforderung von $\leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ ist erst ab einer Wandstärke von 32,5 cm erreicht.

Diverse Vorversuche der ARGE Blockhausbau sowie Ergebnisse aus Forschungsprojekten und Untersuchungen externer Forschungsinstitutionen^{1,2,3} weisen darauf hin, dass die Energieeffizienz von Massivholzblockbauten ermittelt nach derzeit gültigen Verfahren und Kennzahlen nach der Salzburger Bautechnikverordnung-Energie⁴ sowie der OIB-Richtlinie 6-Energieeinsparung und Wärmeschutz⁵ im Vergleich zu anderen Bauweisen mit anderen Materialien nicht richtig abgebildet werden. Die Autoren der genannten Studien zeigen unter anderem Ansätze auf, dass bei Massivholzkonstruktionen weitere Kriterien wie z.B. das Wärme-Speichervermögen und die thermische Behaglichkeit höher zu bewerten sind, als derzeit üblich.

Um die Erkenntnisse aus diesen Aussagen zu vertiefen und zu verifizieren, wurden experimentelle Untersuchungen an einem Versuchshaus durchgeführt. Das übergeordnete Ziel der Untersuchungen ist die Analyse der Heizenergieeffizienz mit einem Vergleich von Rechnung zu Messung des Heizwärmebedarfs und der thermischen Behaglichkeit unter realen Außenklimabedingungen in der Winter- und Sommerperiode. Gleichzeitig wurde ein Versuchsgebäude in Leichtbauweise (Riegelbau) nach gleicher Vorgangsweise untersucht.

Der vorliegende Forschungsbericht dokumentiert die Ergebnisse aus dem Teilprojekt Versuchshäuser zum übergeordneten Projekt Massivblock 20+ „Aufbau eines Netzwerkes im traditionellen Salzburger Holzblockbau zur Produktentwicklung, Professio-

nalisierung, Zukunftssicherung sowie zur internationalen Vernetzung“.

2. FORSCHUNGSKONZEPT

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, Daten aus Langzeitmessungen zweier Winterperioden und einer Sommerperiode, sowie Detailuntersuchungen unter festgelegten Randbedingungen, an zwei Versuchsbauten auszuwerten und zu analysieren.

2.1 Allgemeines

Entsprechend der Zielsetzung des Forschungsprojektes wurde bei der Auswahl der Versuchsbauten besonderes Augenmerk auf die Bauart „einschalige Massivholz-Blockbohle“ gelegt. Als zweites Versuchsgebäude sollte zum Vergleich eine hochgedämmte Riegelkonstruktion errichtet werden.

Die Versuchsbauten sollten gemäß Vorgaben der Auftraggeber eine praxisnahe Raumsituation mit Zugangstüre und Fenster nachbilden. Durch Situierung der beiden Versuchsbauten auf einem gemeinsamen Versuchsgelände sollte sichergestellt werden, dass beide Objekte den identen klimatischen Einflüssen ausgesetzt sind. Die Klimabedingungen sollten überdies durch eigene Messungen erfasst werden, um die tatsächlich vor Ort vorherrschenden mikroklimatischen Randbedingungen in die Berechnungen einfließen lassen zu können.

2.2 Aufbau der Versuchsbauten

Auf dem Gelände der Bauakademie Lehrbauhof Salzburg wurden von der ARGE Blockhausbau in Abstimmung mit den Forschungspartnern Bautechnische Versuchs- und Forschungsanstalt Salzburg und Egle Engineering, Übersee, Deutschland sowie dem Projektmanagement zwei Versuchshäuser gemäß dem oben genannten Anforderungsprofil errichtet. Die Außenbauteile sind bis auf die Außenwände bei beiden Objekten ident, bzw. in der Art ausgeführt, dass ihre Konstruktionen gleiche U-Werte

aufweisen. Die Außenwände unterscheiden sich hingegen in Bauweise und rechnerischen U-Werten erheblich.

Beide Versuchsbauten wurden auf BSH-Trägern aufgeständert, um direkte Störeinflüsse durch Bodenfeuchtigkeit, bzw. Temperaturabstrahlung zu minimieren. Der Aufbau des Bodens wurde bei beiden Versuchsbauten ident ausgeführt (Siehe Bild 1). Die Deckenaufbauten weisen bei unterschiedlicher Bauweise annähernd den gleichen U-Wert auf (Siehe Bild 1). Das Dach ist hinterlüftet und hat eine Dachschräge von $1,5^\circ$ um Pfützenbildung zu vermeiden.

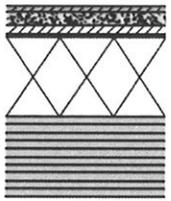
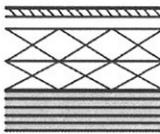
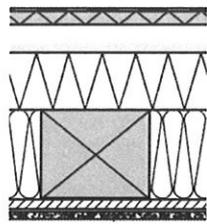
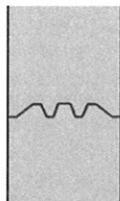
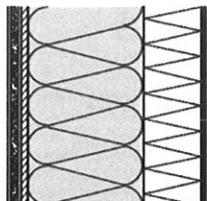
Bodenaufbau Block- & Riegelbau	Dachelement Blockbau	Dachelement Riegelbau	Wandelement Blockbau	Wandelement Riegelbau
				
Fließestrich Gipsfaserplatte OSB-Platte Luftdichtheitsbahn Pavatex Diffutherm KLH Massivholzplatte	Dachabdichtungsbahn Rauhschalung Konterlattung Pavatex Pavatherm Pavatex Diffutherm Luftdichtheitsbahn KLH Massivholzplatte	Bitumenpappe Rauhschalung Konterlattung EPS-Platte Sparren, dazw. MW-W OSB-Platte Dampfbremse Gipskartonplatte	Massivholz- Blockbohle	Silikatputz Gipskartonplatte Dampfbremse OSB-Platte Riegel, dazw. MW-W EPS-Platte Klebspachtel Putzgrund Silikatputz
U-Wert = 0,22 W/m ² K	U-Wert = 0,16 W/m ² K	U-Wert = 0,17 W/m ² K	U-Wert = 0,54 W/m ² K	U-Wert = 0,16 W/m ² K

Bild 1: Aufbau der getesteten Versuchsbauten

Beim Blockbau wurden die Außenwände mit 20 cm dicken Massivholzblockbohlen errichtet. Die Blockbohlen wurden mittels Gewindestangen verbunden. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Bohlen sind mittels Compribändern in den Nuten zusätzlich abgedichtet (siehe Werkpläne, Anhang A).

Der Riegelbau wurde mit einer für den Holzleichtbau üblichen hochgedämmten Außenwandkonstruktion versehen. Die Wände bestehen aus einer Holzriegelkonstruktion (60/200) mit 200 mm Mineralwolldämmung. Die Innenseite wurde mit 12,5 mm Gipskartonplatten mit darunter liegender Dampfbremse und 12 mm OSB-Platten

beplankt. Zusätzlich ist die Wandkonstruktion außenseitig mit einem Wärmedämm-Verbundsystem aus 100 mm Polystyrol gedämmt. Sowohl Außen- wie Innenseite wurden mit Silikatputz verputzt (Siehe Bild 1).

Werkpläne Blockbau Anhang A

Werkpläne Riegelbau Anhang B

Der U-Wert der Blockbauaußenwand beträgt $0,54 \text{ W/m}^2\text{K}$,
jener des Riegelbaus $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Bauphysikalische Berechnungsblätter Blockbau Anhang C

Bauphysikalische Berechnungsblätter Riegelbau Anhang D



Bild 2: Südansicht der beiden Versuchshäuser

Da die Versuchsbauten nicht als reine „Forschungs-Kuben“, sondern als möglichst realitätsnahe Versuchshäuser konzipiert werden sollten, wurden als Innenmaße $3,60 \text{ m} \times 4,60 \text{ m} \times 2,55 \text{ m}$ gewählt. Beide Versuchsbauten haben auf der Ostseite eine Zugangstüre gleicher Bauart, sowie auf der Südseite je 2 Fenster mit gleichen U-Werten. (Siehe Bild 2).

3. INHALTE UND ZIELSETZUNG

3.1 Versuchsprogramm

Nach Herstellung der Versuchshäuser und Installation des Heizungssystems sowie der Messsysteme und der Wetterstation wurden im Dezember 2009 nach Kalibrierung der Messsysteme erste Vorversuche durchgeführt. Von Anfang Januar 2010 bis Ende März 2011 erfolgte die Datenaufzeichnung entsprechend einem mit dem Auftraggeber und dem Projektmanagement in regelmäßigen Abständen stattfindenden Projektsitzungen festgelegtem Versuchsprogramm.

Letztendlich wurden zu folgenden Themen Versuchsreihen durchgeführt, dokumentiert und ausgewertet:

- Messtechnische Erfassung des Heizwärmebedarfs in zwei Zeiträumen im Winter 2010 und 2011
- Rechnerische Ermittlung des Heizwärmebedarfs im Messzeitraum und Vergleich der Berechnungsergebnisse mit jenen aus der Messung
- Messtechnische Erfassung des Raumklimas (Raumlufttemperatur nach Ab- bzw. Wiedereinschalten der Heizung)
- Messtechnische Erfassung von Raumklimadaten von zwei Hitzeperioden im Sommer 2010
- Messtechnische Erfassung der Raumlufftfeuchten bei kurzzeitiger erhöhter Feuchtebelastung

Die genannten Versuchsreihen wurden parallel an beiden Versuchshäusern durchgeführt. Die folgende Versuchsreihe fand nur am Versuchshaus Blockbau statt:

- Messtechnische Erfassung der Bauteiltemperaturen über den Außenwandquerschnitt

3.2 Modul Heizenergiebedarf

Ergänzend zum Teilprojekt „Vergleich rechnerischer und tatsächlicher Heizenergiebedarf von errichteten Häusern“ wurde auch im Teilprojekt Versuchshäuser das Thema Vergleich rechnerisch ermittelter und messtechnisch ermittelter Werte zum Heizenergiebedarf bearbeitet. Der Vorteil der Ermittlung an Versuchsobjekten ist jener, dass eventuell unkontrollierbare Einflussfaktoren durch genaue Definition der Versuchsrandbedingungen und deren laufender Kontrolle weitgehend ausgeschlossen werden können. So wurde z.B. in jedem Objekt eine Videokamera zur Überwachung eventueller Unregelmäßigkeiten bzw. Abweichungen vom Versuchsprogramm installiert.

Ziel des Moduls ist aufzuzeigen, ob signifikante Abweichungen zwischen den Ergebnissen aus Berechnung und Messung vorliegen.

3.3 Modul Auskühl- und Aufheizverhalten

Ein weiterer wesentlicher Punkt zur Beurteilung der energetischen Qualität und der thermischen Behaglichkeit eines Objektes sind die Veränderungen der Innenraumluft bzw. der Innenwandoberflächentemperaturen bei Abschalten bzw. Wiedereinschalten der Heizung.

Die Ergebnisse der Versuchsreihe dienen zur Darstellung der Geschwindigkeit des Absinkens bzw. Anstiegs der Raumlufttemperatur als auch der inneren Wandoberflächentemperaturen. Anhand der Ergebnisse können Aussagen zum Wärmespeicherverhalten der Außenwandkonstruktionen abgeleitet werden.

3.4 Modul Sommerlicher Wärmeschutz

Im Sinne einer effizienten Gesamtenergiebilanz eines Objektes ist im Sommer eine eventuell erforderliche Kühllast zur Erreichung behaglicher Innenraumlufttemperaturen möglichst gering zu halten. Nach allgemeinem Kenntnisstand ist

hier unter anderem die Speicherwirksame Masse der raumumschließenden Bauteile ein wesentlicher Einflussparameter. Generell ist bekannt, dass Bauteile mit einer hohen speicherwirksamen Masse zu ausgeglichenen Temperaturverhältnissen in Innenräumen mit beitragen.

In zwei ausgewählten Hitzeperioden im Sommer 2010 wurden die Innenraum-Lufttemperaturen in beiden Versuchshäusern ermittelt und gegenübergestellt. Insbesondere sollte festgestellt werden, inwieweit die speicherwirksame Masse von Holzmassiv-Außenwänden auf die Außenlufttemperatur-Spitzen eine Ausgleicheung bzw. Nivellierung bewirken.

3.5 Modul Sorptionsverhalten

Für ein behagliches Innenraumklima ist neben den thermischen Einflussparametern auch die Raumlufftfeuchte maßgebend. Als generell günstig haben sich hochabsorbierende Wand- und Deckenoberflächen erwiesen, welche eine feuchtepuffernde Wirkung nachweisen können.

In einer Versuchsreihe wurde in beiden Objekten ein erhöhter Feuchteeintrag simuliert und die Auswirkungen auf die Raumlufftfeuchte ermittelt. Aussagen zum Einfluss von Holzmassiv-Wandoberflächen auf das Innenraumklima sollen in diesem Modul erarbeitet werden.

3.6 Modul Temperaturverteilung in der Außenwand

Aufgrund der Ergebnisse aus dem Vergleich rechnerisch ermittelter zu messtechnisch ermittelter Heizwärmebedarf wurde in den begleitenden Projektsitzungen in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt, beim Blockbau Temperaturmessungen über den Querschnitt der Außenwand durchzuführen.

Da bei der rechnerischen Ermittlung der Transmissionswärmeverluste von den Außen- und Innenlufttemperaturen ausgegangen wird, werden erhöhte Oberflächen-temperaturen zufolge Sonneneinstrahlung auf die Außenseite der opaken Holzmas-

sivwand nicht berücksichtigt. Die Häufigkeit und das Ausmaß, höherer Bauteiltemperaturen zufolge Sonneneinstrahlung, wurde in einem Zeitraum im Winter bei hoher Globalstrahlungsintensität ermittelt.

4. DURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE

4.1 Instrumentierung

Mittels einer eigenen Wetterstation (Reinhardt, MWS 9-5) im Nahbereich der Versuchsbauten wurden folgende Klimaparameter erfasst:



Bild 3: Wetterstation Reinhardt MWS 9-5

- Temperatur
- Luftfeuchte
- Globalstrahlung
- Luftdruck
- Windrichtung
- Windgeschwindigkeit
- Windspitze
- Winddurchschnitt
- Windchill
- Regenmenge
- Regenstärke

In jedem der beiden Versuchsbauten wurde eine idente Konfiguration an Messfühlern installiert. Zur Ermittlung des Raumklimas wurden jeweils 2 Temperatur- / Luftfeuchte-Sensoren (System Testo Datenlogger 171 + Sensoren) eingesetzt. Diese wurde in Raummitte und im Laufe der Messzeit in unterschiedlichen Höhen positioniert. Ebenfalls mit dem System Testo 171 wurde mit Thermodrähten (Typ K, NiCr-Ni) die Temperatur der Bodenoberfläche, sowie in einer zweiten Ausbaustufe auch die Temperatur der Deckenoberfläche an jeweils 2 Messpunkten erfasst.

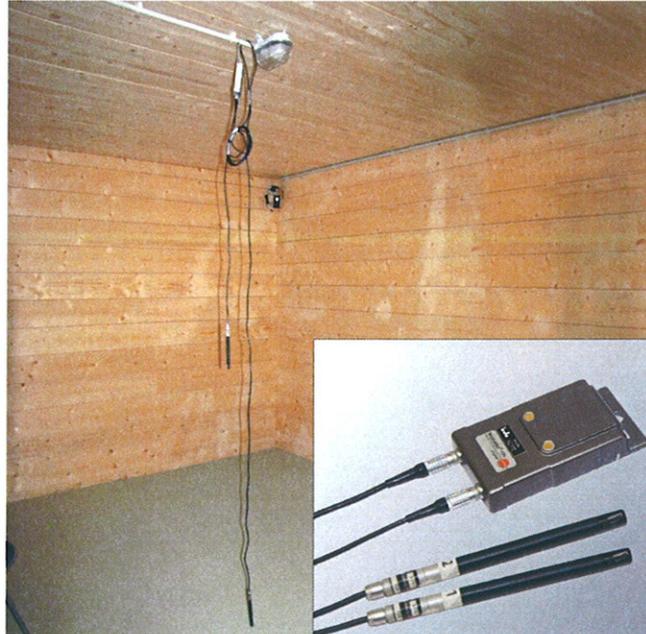


Bild 4: Messung des Innenraumklimas mit Testo 171

Sowohl im Riegel- wie auch im Blockbau wurden die Temperaturen an den inneren Wandoberflächen in einer ersten Messperiode in 4 unterschiedlichen Höhen je Wand gemessen. (Messmodule: ICP-Con 7018, 8-Kanal, mit Thermodrähten NiCr-Ni, Typ K, Software: DASyLab⁶)

(Siehe Bild 5.A)

In einer zweiten Messperiode wurden im Blockbau die Temperaturen in unterschiedlichen Tiefenstufen der Massivholzwand gemessen. Je Wand wurden dabei in einer Höhe von 1,40 m die Temperaturen der Wandinnenoberfläche, sowie die Bauteiltemperaturen in 10 cm, 16 cm und 19 cm Tiefe erfasst. (Messmodule: ICP-Con 7018, 8-Kanal, mit Thermodrähten NiCr-Ni, Typ K, Software: DASyLab⁶)

(Siehe Bild 5.B)

Übersicht der Messfühlerpositionen Anhang E

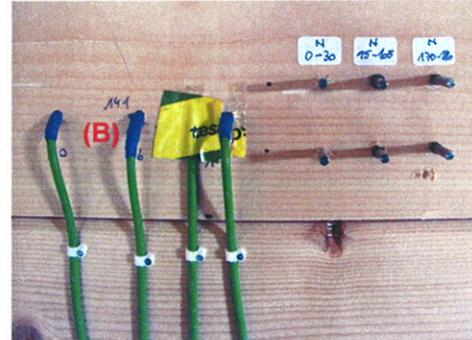
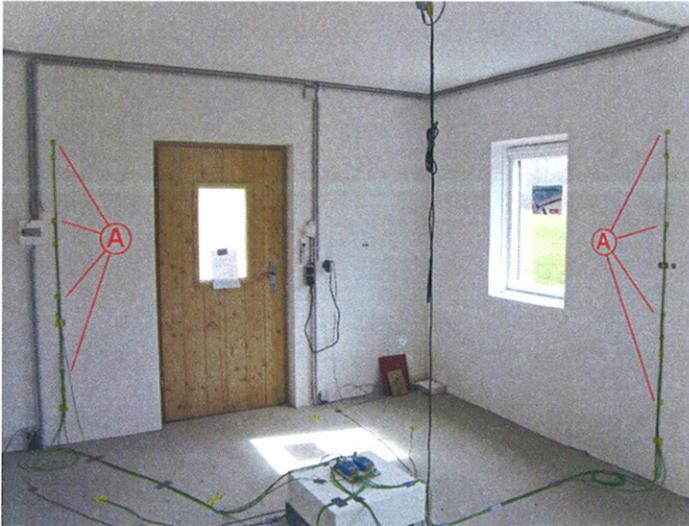


Bild 5: Messung der Oberflächen-temperaturen im Riegelbau (A), der Bauteiltemperaturen (B) im Blockbau

Zur Vermeidung von Temperatureinflüssen durch die Messelektronik wurden lediglich die Messfühler, sowie Datenlogger mit vernachlässigbarer Wärmeabstrahlung in den Versuchsbauten positioniert. Der Messcomputer wurde ins naheliegende Gebäude der BauAkademie Salzburg ausgelagert und mittels Datenleitungen sowie einem WLAN-Netzwerk mit den Versuchsbauten verbunden.

Zur Überwachung eventueller Störeinflüsse wurde in jedem Objekt eine Videokamera mit Blick auf Eingangstüre und Fenster installiert.

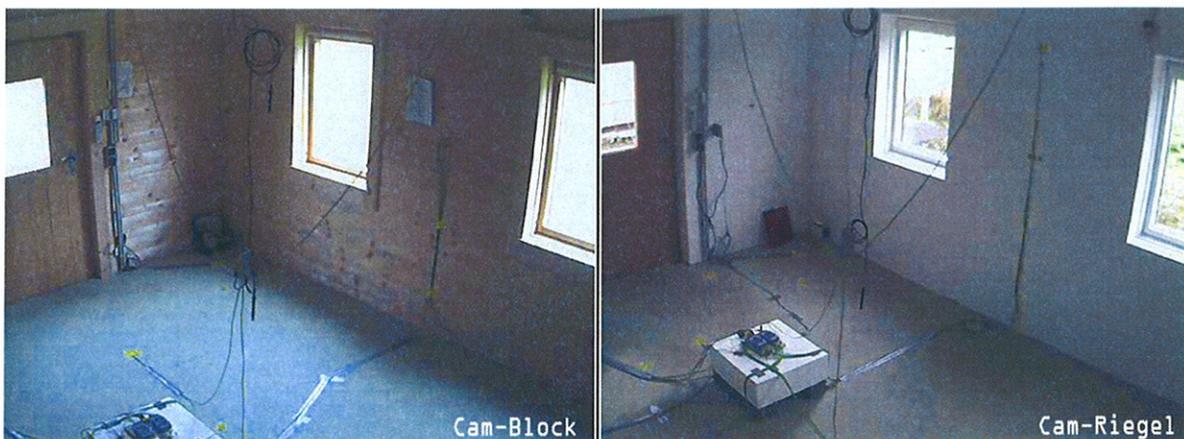


Bild 6: Bilder der Überwachungskameras im Blockbau und im Riegelbau

4.2 Modul Heizenergiebedarf

Zur Feststellung von Abweichungen zwischen rechnerisch ermitteltem und messtechnisch ermitteltem Heizenergiebedarf wurden in den Versuchshäusern Stromzähler zur Dokumentation des Verbrauchs der elektrischen Fußbodenheizung installiert. Die Zählerwerte wurden zu bestimmten Zeiten manuell abgelesen und der Heizenergiebedarf für den Differenzzeitraum ermittelt.

Die Berechnungen des Heizenergiebedarfs erfolgten auf Basis der derzeit gültigen Regelungen zur Ermittlung des Transmissionswärmeverlustes gemäß ÖNORM EN ISO 6946⁷, OIB-Richtlinie 6-Energieeinsparung und Wärmeschutz⁵ und ÖNORM B 8110, Teil 1 bis Teil 6⁸. Berücksichtigt wurden die Transmissionswärmeverlust durch die einzelnen Außenbauteile auf Basis der Angaben der Hersteller der Versuchshäuser, sowie die solaren Gewinne durch die transparenten Bauteile. Lüftungswärmeverluste wurden nicht berücksichtigt, da während der Messbeobachtungen sämtliche bewegliche Öffnungen (Türe und Fenster) nachweislich geschlossen waren und die Luftwechselrate somit vernachlässigbar ist.

Bei einer, in beiden Versuchshäusern durchgeführten Luftdichtheitsmessung durch die ARGE Blockbau (Blower-Door-Test) wurde für das Blockhaus ein n50-Wert von 0,68 1/h ermittelt, für das Riegelhaus ein n50-Wert von 1,10 1/h.

Weiters wurden in der Berechnung die, im jeweiligen Beobachtungszeitraum ermittelten Außen- und Innenklimadaten berücksichtigt. Während der beiden Beobachtungszeiträume zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs wurde das Innenklima mittels Fußbodenheizung auf +20°C Raumlufttemperatur geregelt und somit sind stationäre Innenraumluft-Temperaturverhältnisse gegeben.

Als Beobachtungszeiträume wurden 2 Heizperioden im Winter 2010, sowie im Winter 2011 gewählt. Im Winter 2009 / 2010 wurde der Heizenergieverbrauch über einen Zeitraum von 48 Tagen von Januar bis März 2010 ermittelt. (Siehe Bild 7)

Im Winter 2010 / 2011 wurde der Versuch zur Verifizierung der Daten des vorangehenden Jahres wiederholt. Als Beobachtungszeitraum wurden 74 Tage von November 2010 bis März 2011 ausgewählt. (Siehe Bild 8)

In den beiden nachfolgenden Grafiken sind die Ergebnisse der rechnerischen, sowie der messtechnischen Erfassung des Heizenergiebedarfs dargestellt. Die Abweichung der Messergebnisse zu den rechnerisch ermittelten Werten ist für beide Versuchsbauten in Prozent angegeben.

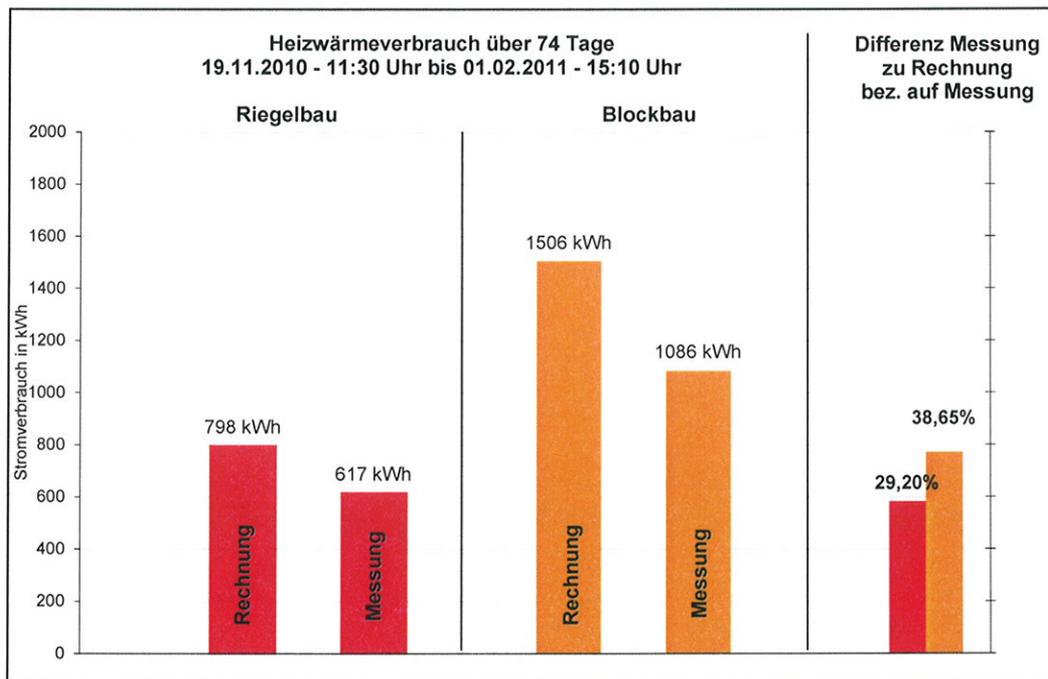


Bild 8: Vergleich Heizenergiebedarf Rechnung und Messung, Winter 2010

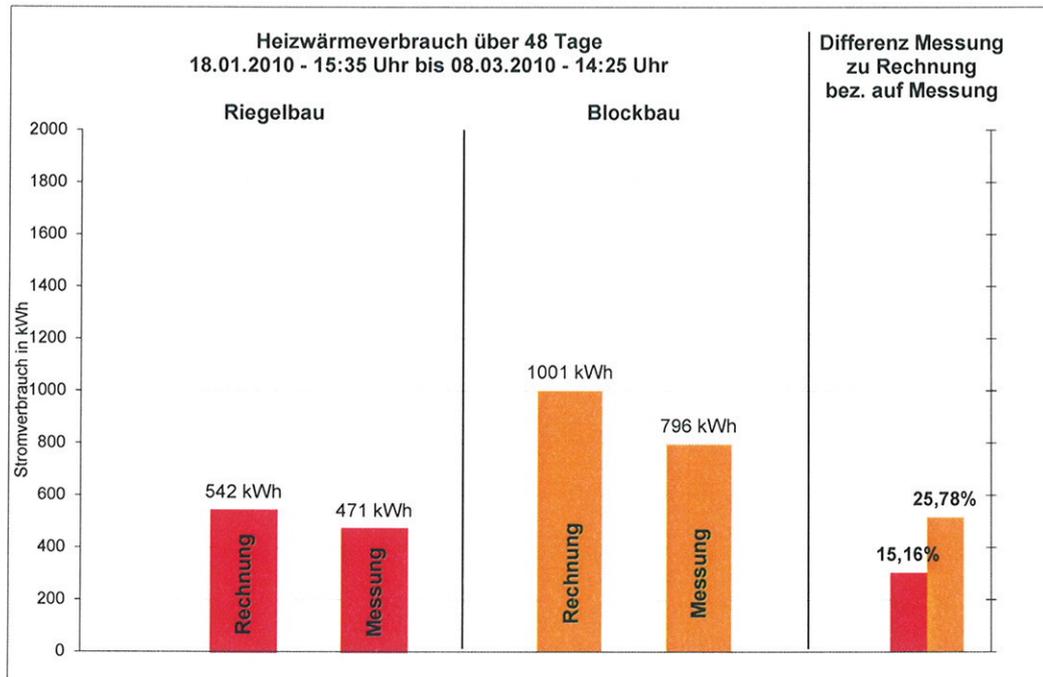


Bild 9: Vergleich Heizenergiebedarf Rechnung und Messung, Winter 2010 / 2011

4.3 Modul Auskühl- und Aufheizverhalten

Zur Feststellung des Auskühlverhaltens der Versuchsbauten wurde die elektrische Fußbodenheizung für einen bestimmten Zeitraum abgeschaltet. Anschließend wurde die Heizung wieder aktiviert um das Aufheizverhalten zu dokumentieren.

Für die einzelnen Versuchsreihen wurden Zeiträume ausgewählt, in denen die Differenz der Innenraumtemperatur zur Außentemperatur möglichst groß, also die Außenlufttemperatur über längere Zeiträume sehr niedrig war.

In einer ersten Versuchsreihe wurde das Auskühlverhalten gegen Ende der ersten Heizperiode im März 2010 dokumentiert (siehe Bild 10).

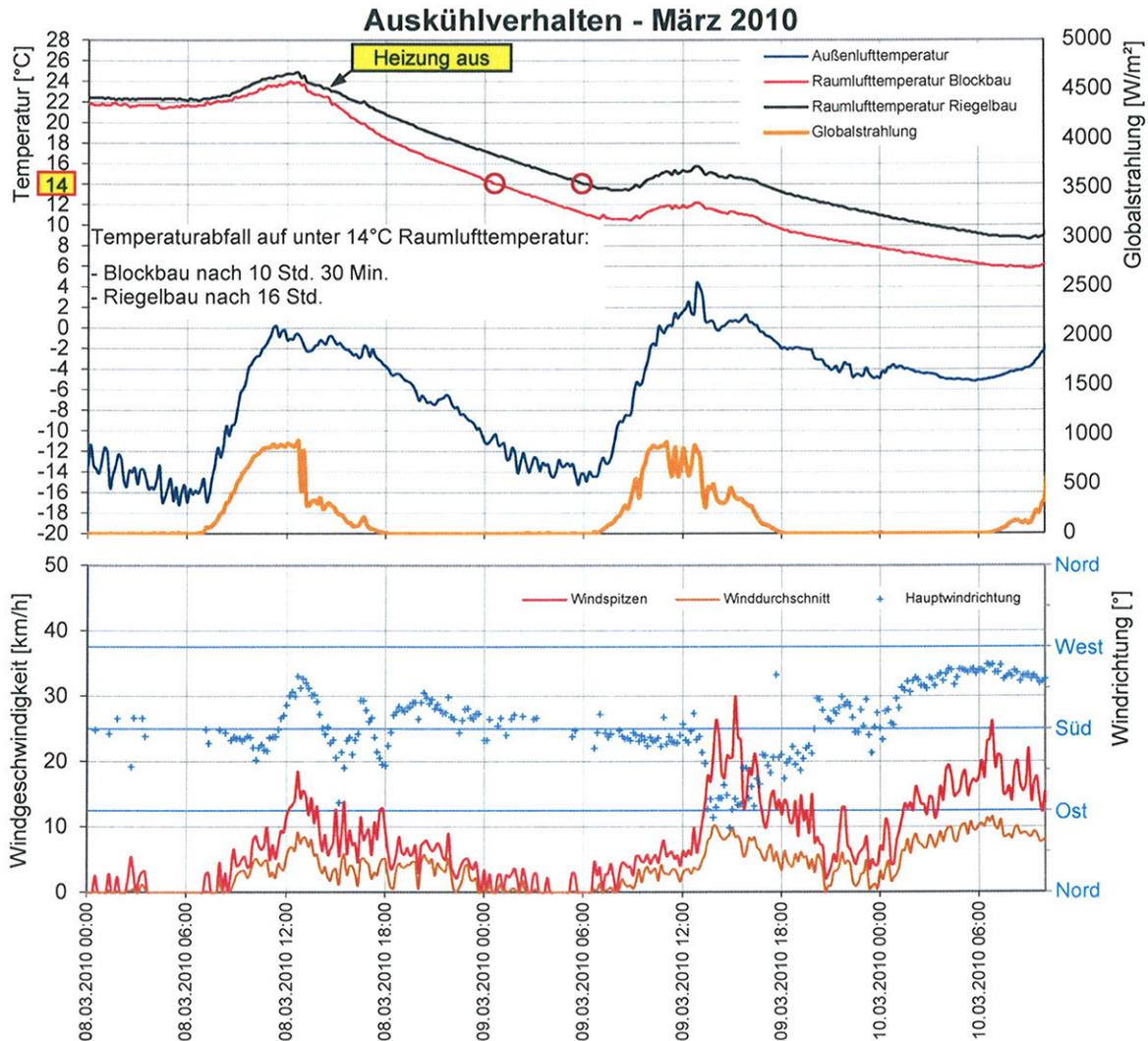


Bild 10: Auskühlverhalten März 2010

Anhand der Abklingkurven ist ersichtlich, dass die Innenraumtemperatur im Blockbau (bei 3,375-fach schlechterem U-Wert der Außenwände und 62% schlechterer Luftdichtheit lt. Blower-Door-Test) um ca. 5,5 Stunden schneller auf eine Temperatur von 14°C abfällt als die Innenraumlufttemperatur im Riegelbau.

Ursprünglich war von der ARGE Blockhausbau eine Vergleichstemperatur von 12°C, in Anlehnung an Heizgrenztemperatur festgelegt worden. Bei gegenständlichem Versuch kamen allerdings gerade vor Erreichen der 12°C Temperaturmarke solare Einstrahlungen zu tragen, wodurch das Messergebnis in diesem Bereich nicht aussagekräftig wäre.

Die Versuche zum Auskühlverhalten wurden daher zu Beginn und gegen Ende der Heizperiode Winter 2010 / 2011 wiederholt.

Nachfolgendes Diagramm (Bild 11) zeigt das Auskühlverhalten der beiden Versuchsbauten im November 2010.

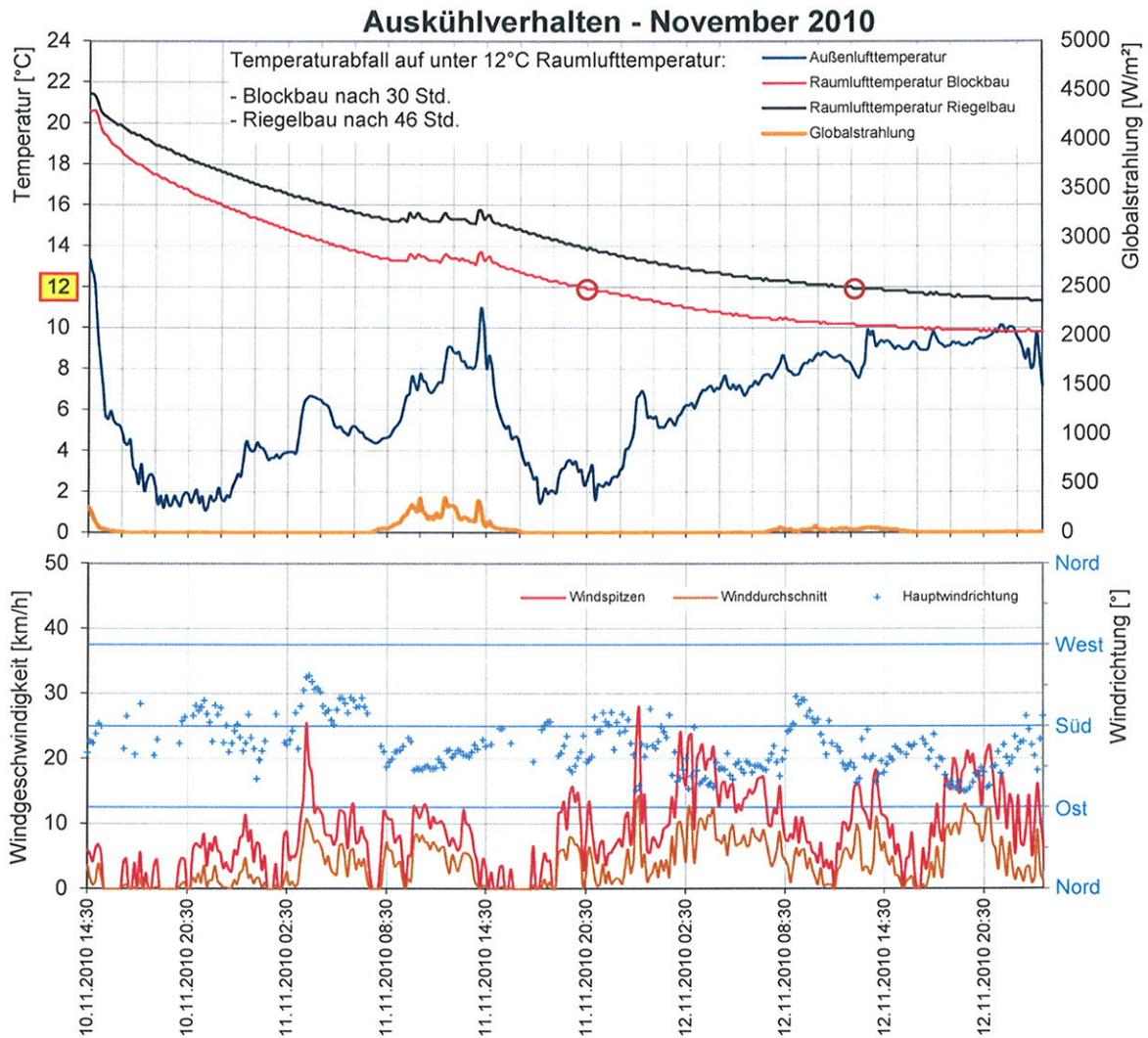


Bild 11: Auskühlverhalten November 2010

Anhand der Abklingkurven vom November 2010 konnte ermittelt werden, dass die Innenraumtemperatur im Blockbau um ca. 7 Stunden schneller auf eine Temperatur von 12°C abfällt als die Innenraumlufttemperatur im Riegelbau.

Aufgrund der großen Unterschiede der beiden Auskühlzeiten im März 2010 und November 2010 wurde der Versuch im Februar 2011 erneut wiederholt.

Ebenfalls im Februar 2011 wurde das Aufheizverhalten der beiden Versuchsbauten dokumentiert.

In Bild 12 ist der gesamte Untersuchungszeitraum im Februar 2011 als Übersicht dargestellt. Die Bilder 13 und 14 zeigen den jeweiligen Detailausschnitt des Auskühl-, bzw. Aufheizzeitraumes.

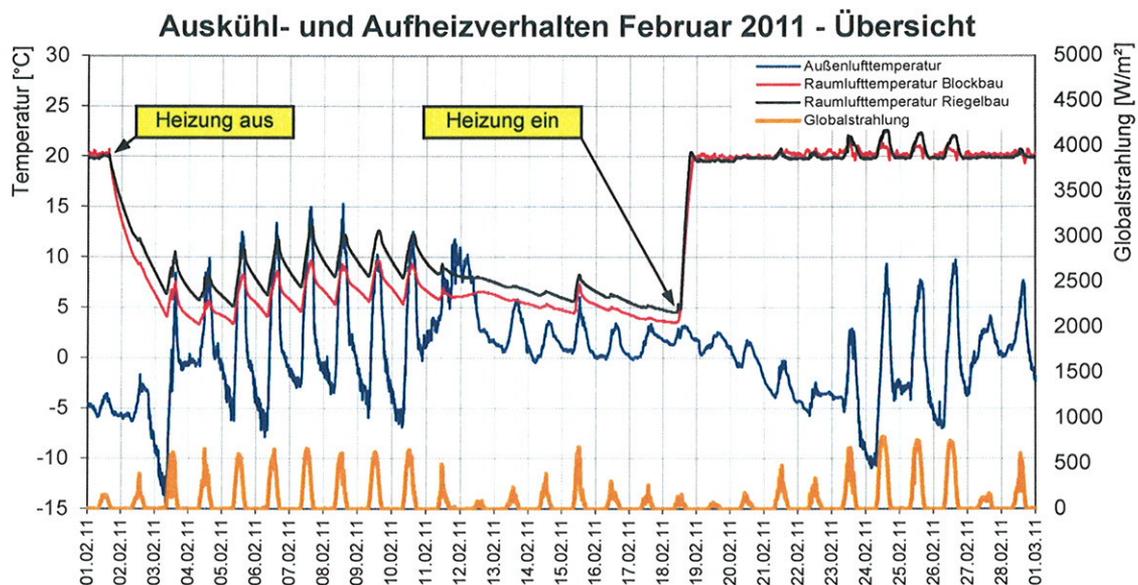


Bild 12: Auskühlverhalten und Aufheizverhalten Februar 2011

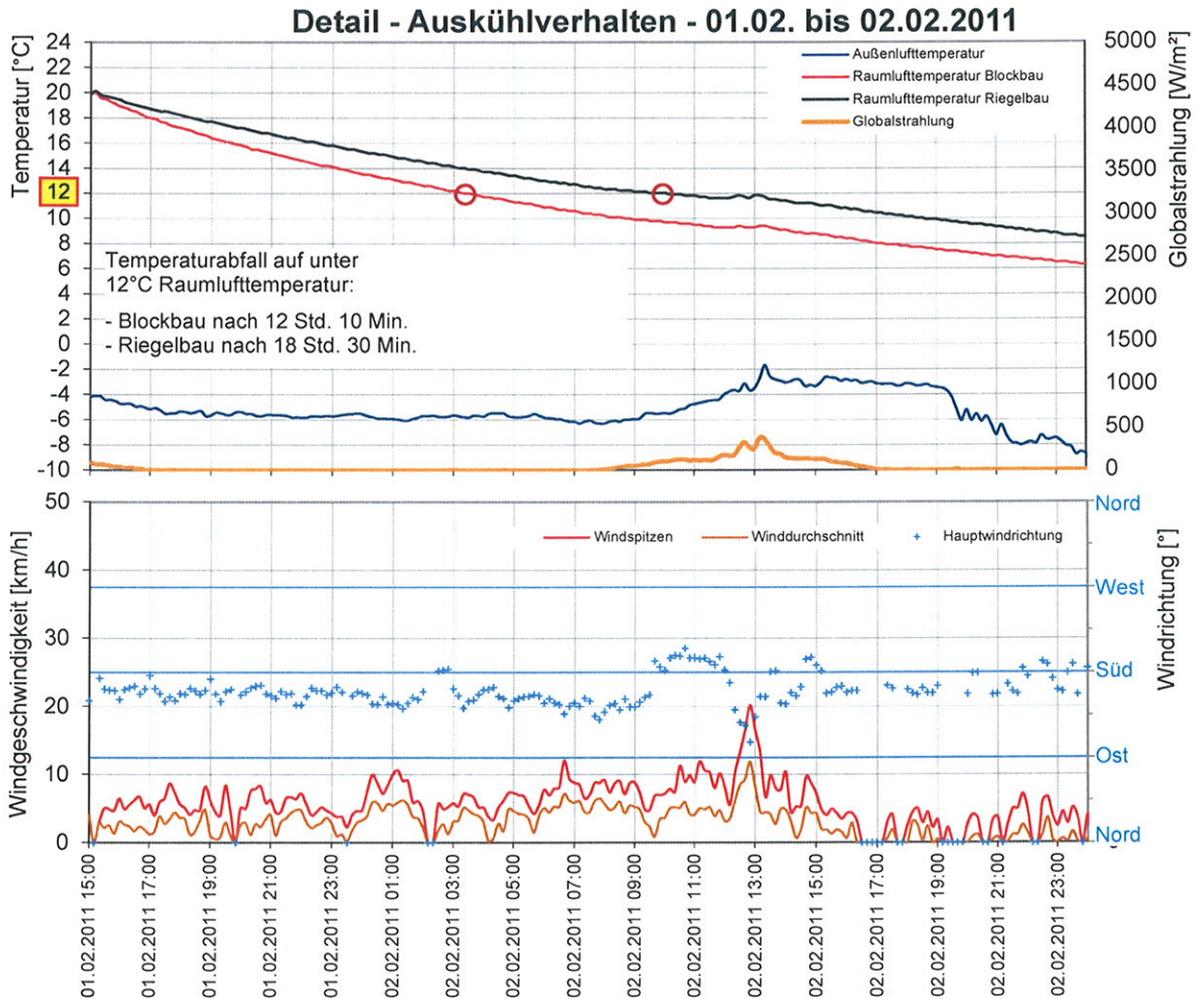


Bild 13: Auskühlverhalten Februar 2011

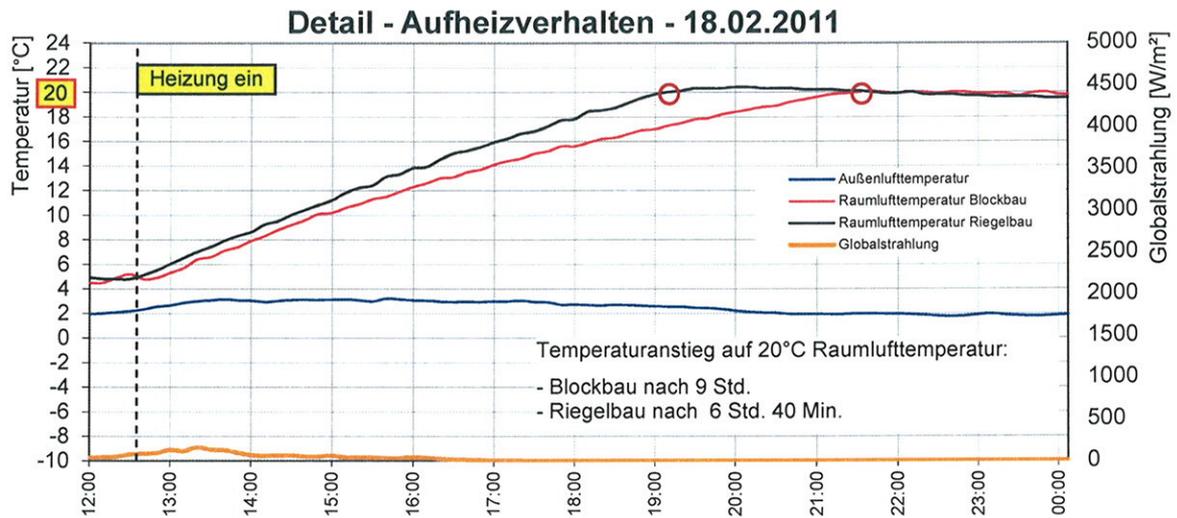


Bild 14: Aufheizverhalten Februar 2011

Anhand der Abklingkurven vom Februar 2011 ist ersichtlich, dass die Innenraumtemperatur im Blockbau (bei 3,375-fach schlechterem U-Wert der Außenwände und 62% schlechterer Luftdichtheit lt. Blower-Door-Test) um ca. 6,3 Stunden schneller auf eine Temperatur von 12°C abfällt als die Innenraumlufttemperatur im Riegelbau. Dies bestätigt die Ergebnisse der Messungen vom März 2010.

Für das Versuchsobjekt Blockbau ist die Differenz zwischen Raumlufttemperatur und dem Mittelwert aller gemessenen Wandoberflächentemperaturen in Bild 15 dargestellt.

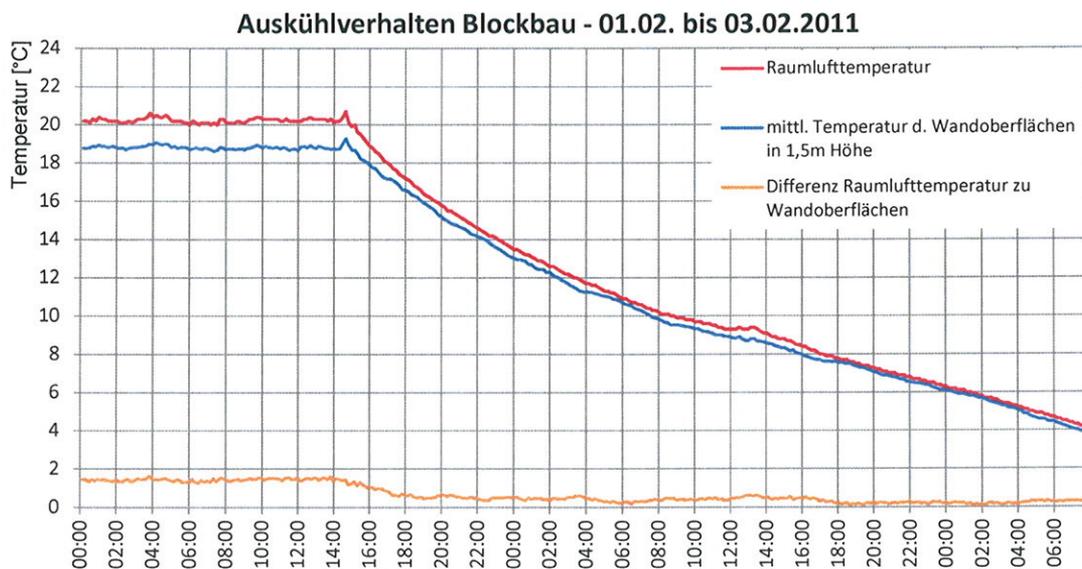


Bild 15: Vergleich der Raumlufthtemperatur zu den Wandoberflächentemperaturen im Blockbau während des Auskühlvorganges

Aus dem Verlauf des Grafen – Differenz Raumlufthtemperatur zu Wandoberflächentemperatur – ist das Speichervermögen des Holzmassivblocks erkennbar. Die Wandoberfläche kühlt nicht so rasch ab wie die Raumlufth.

4.4 Modul Sommerlicher Wärmeschutz

Während der Sommermonate 2010 wurden in den Versuchshäusern Temperatur- und Feuchtemessungen zur Untersuchung des sommerlichen Wärmeschutzes, bzw. der thermischen Behaglichkeit durchgeführt.

Aufgrund von Bauarbeiten auf dem Gelände der BauAkademie Salzburg konnte mit den Messungen während der Sommerperiode erst mit 18.06.2010 begonnen werden.

Im Zuge der Umbaumaßnahmen auf dem Versuchsgelände wurde das Blockhaus auf asphaltierten Untergrund gestellt, während das Riegelhaus auf Grasboden verblieben ist. Zur Minimierung eventueller unterschiedlicher Wärmeabstrahlungen der unterschieden Untergründe wurde beschlossen eine helle Folie unter den Versuchshäusern auszulegen. Diese Folie wurde per 11.08.2010 mit 0,5 m Überstand in jeder Richtung unter beiden Versuchsbauten verlegt, um die unterschiedliche Bodenabstrahlung zu verringern.



Bild 16: Blockbau und Riegelbau auf unterschiedlichem Untergrund, nach dem Verlegen der Folie

Zur Untersuchung des Verlaufs der Innenraumlufttemperatur wurden zwei Hitzeperioden im Sommer 2010 herangezogen. Die Ergebnisse sind in den Bildern 17 und 18 dargestellt.

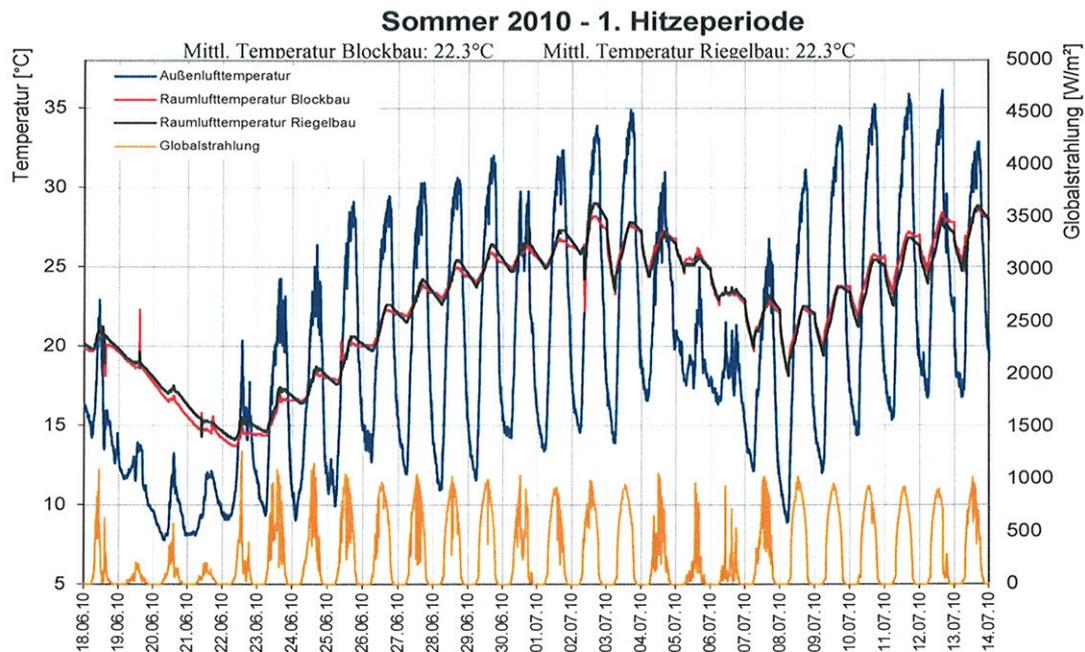


Bild 17: Temperaturverläufe in den Versuchsbauten in der 1. Hitzeperiode 2010

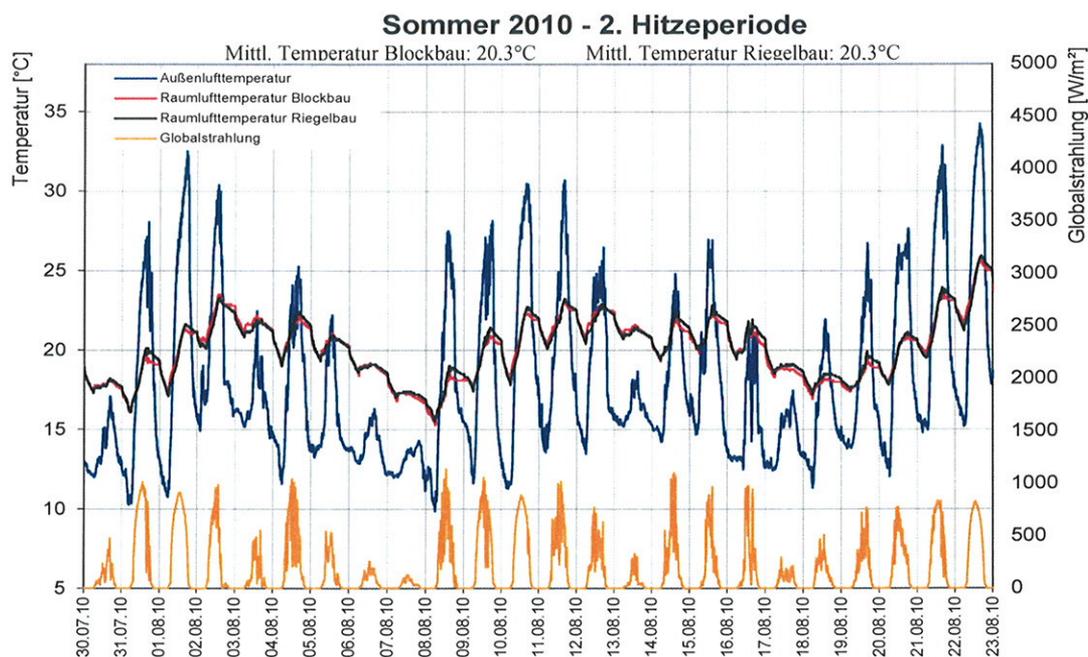


Bild 18: Temperaturverläufe in den Versuchsbauten in der 2. Hitzeperiode 2010

Während des Versuchszeitraumes war in beiden Objekten jeweils 1 Fenster auf Lüftungsstellung geöffnet. Am 2.7., 13.7. und 14.7. wurden zusätzlich in den Morgenstunden beide Bauten gleichzeitig durch Öffnung aller Fenster und Türen belüftet.

Aus den Bilder 17 und 18 ist ersichtlich, dass die Mittelwerte der Raumlufttemperaturen in beiden Versuchshäusern über den jeweils betrachteten Zeitraum gleich sind. Die Temperaturschwankungen im Tagesverlauf sind im Rauminnen jedoch im Blockbau nicht so stark ausgeprägt wie im Riegelbau, wie der nachfolgende Detailausschnitt (Bild 19) beispielhaft zeigt. Dieses Verhalten konnte innerhalb eines Beobachtungszeitraumes von 54 Tagen im Sommer 2010 an 63% der Tage festgestellt werden.

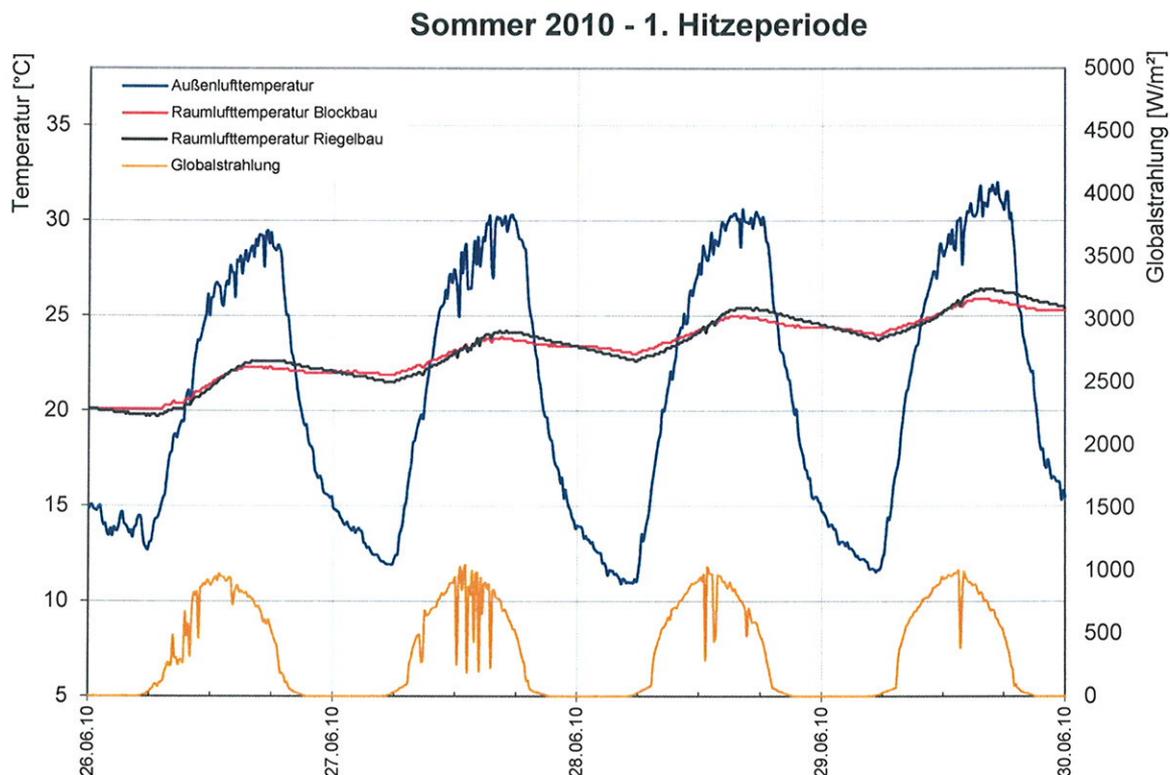


Bild 19: Detailausschnitt aus der 1. Hitzeperiode 2010

Zusätzlich zu den Verläufen der Raumlufttemperaturen wurden in der Sommerperiode die Oberflächentemperaturen an den Wandinnenseiten gemessen. Bild 20 zeigt eine Gegenüberstellung der Mittelwerte aller gemessenen Wandoberflächentemperaturen in Bezug zur jeweiligen Raumlufttemperatur.

Deutlich erkennbar ist, dass sich die Verteilung (obere und untere Grenzwerte) in beiden Objekten kaum unterscheidet.

Die blau gestrichelte Linie markiert die Grenze bei der Raumluft und Wandoberflächen die exakt gleiche Temperatur aufweisen. Werte darunter bedeuten, dass die Wandoberfläche kühler als die Raumluft ist; Werte darüber entsprechend umgekehrt.

Thermische Behaglichkeit - Sommer 2010

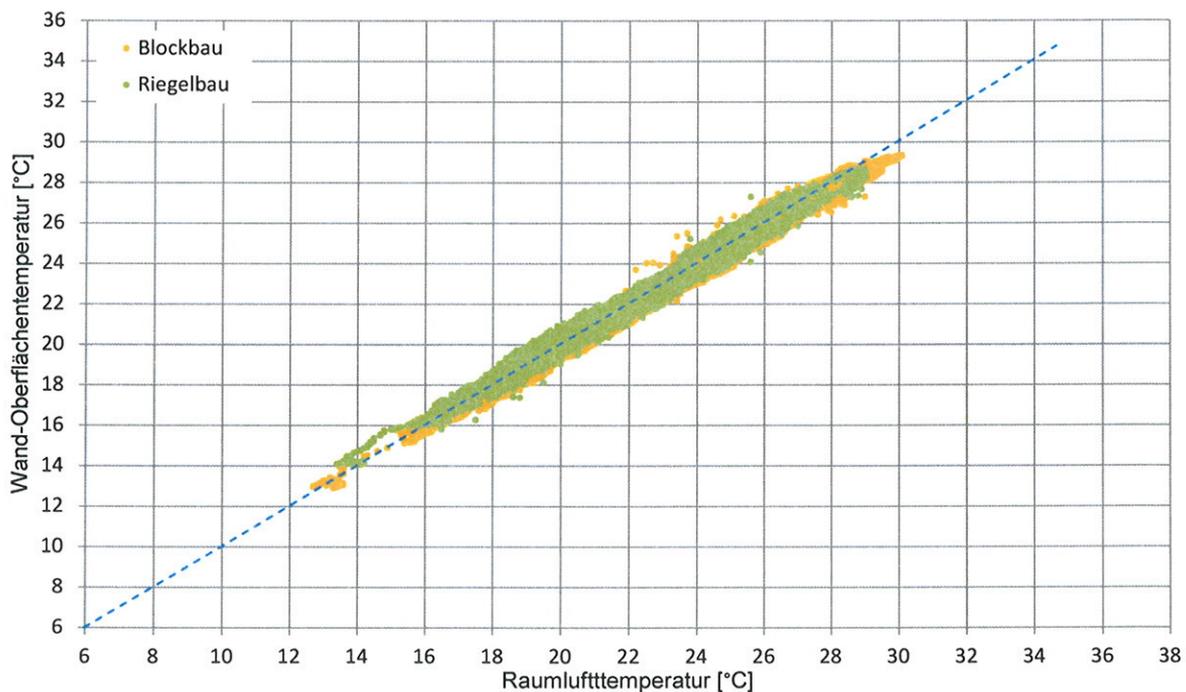


Bild 20: Verteilung der gemittelten Oberflächentemperaturen in Bezug auf die Raumlufttemperatur

4.5 Modul Thermische Behaglichkeit im Winter

Analog zu den Untersuchungen der thermischen Behaglichkeit im Sommer wurde für die Winterperiode 2010 / 2011 der Zusammenhang zwischen Raumluft- und Wandoberflächentemperatur untersucht. Bild 21 zeigt eine Gegenüberstellung der Mittelwerte aller gemessenen Wandoberflächentemperaturen in Bezug zur jeweiligen Raumlufttemperatur, wobei die blau gestrichelte Linie wiederum die Temperaturgleichheit darstellt.

Thermische Behaglichkeit - Winter 2010

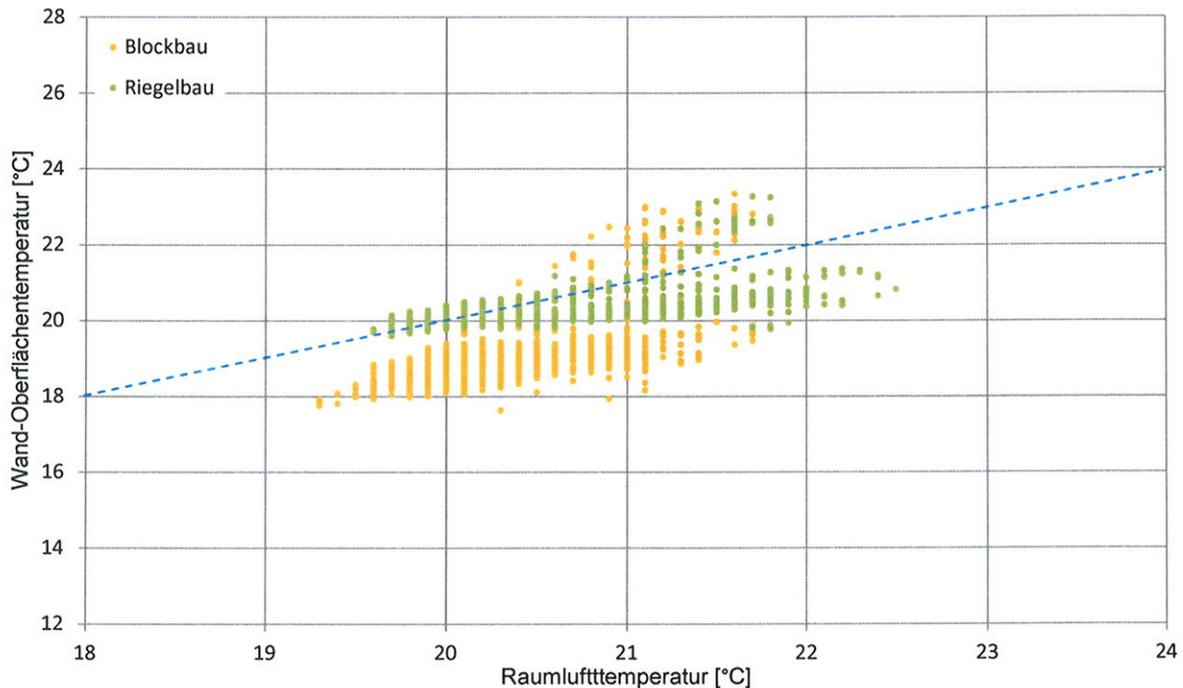


Bild 21: Verteilung der gemittelten Oberflächentemperaturen in Bezug auf die Raumlufthtemperatur

4.6 Modul Raumlufffeuchte bei erhöhter Feuchtebelastung (Sorptionsverhalten)

Neben der Betrachtung der Zusammenhänge von Oberflächentemperaturen zu Raumlufthtemperatur spielt hinsichtlich Behaglichkeit außerdem die Luftfeuchte im Raum eine wesentliche Rolle. Besonders die Fähigkeit der Bauteile starke Feuchteschwankungen auszugleichen, ist von großem Einfluss auf das empfundene Raumklima.

Im März 2011 wurde ein Versuch zu diesem Thema durchgeführt. Mittels Raumluffbefeuchter wurde in beide Versuchsbauten eine Wassermenge von jeweils ca. 0,9 Liter über einen Zeitraum von jeweils 2 Stunden eingebracht.

Bild 22 zeigt die Feuchteverläufe in den Versuchsbauten während der Feuchteeinbringung. Zur besseren Verdeutlichung der Unterschiede der beiden Kurvenverläufe wurden im Bild 23 die, in den beiden Versuchshäusern nacheinander erfolgten Feuchteinträge zeitlich zusammen gelegt.

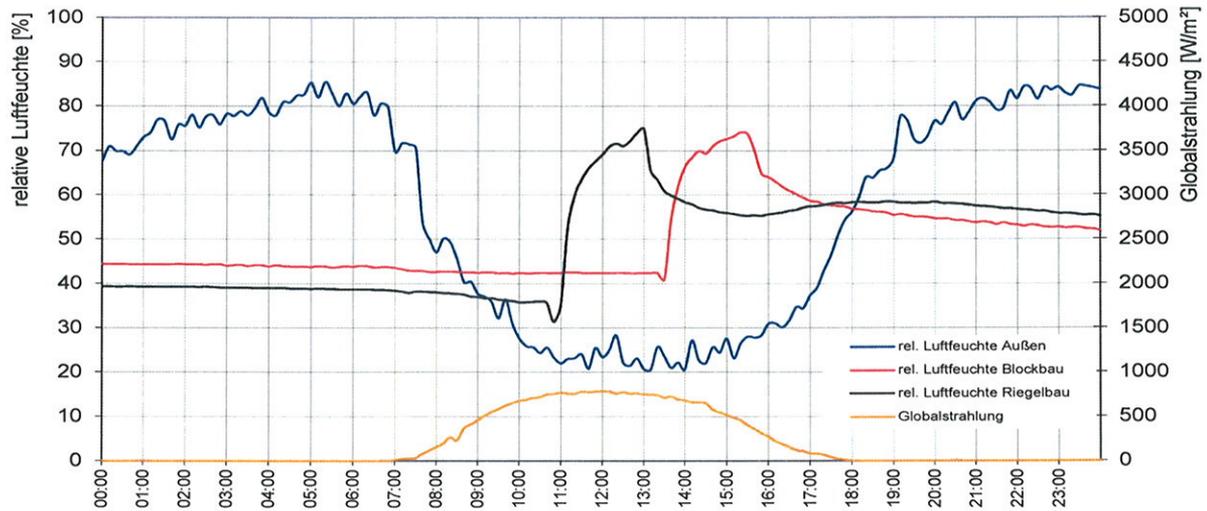


Bild 22: Verlauf der Luftfeuchten während der Feuchteinbringung am 08.03.2011

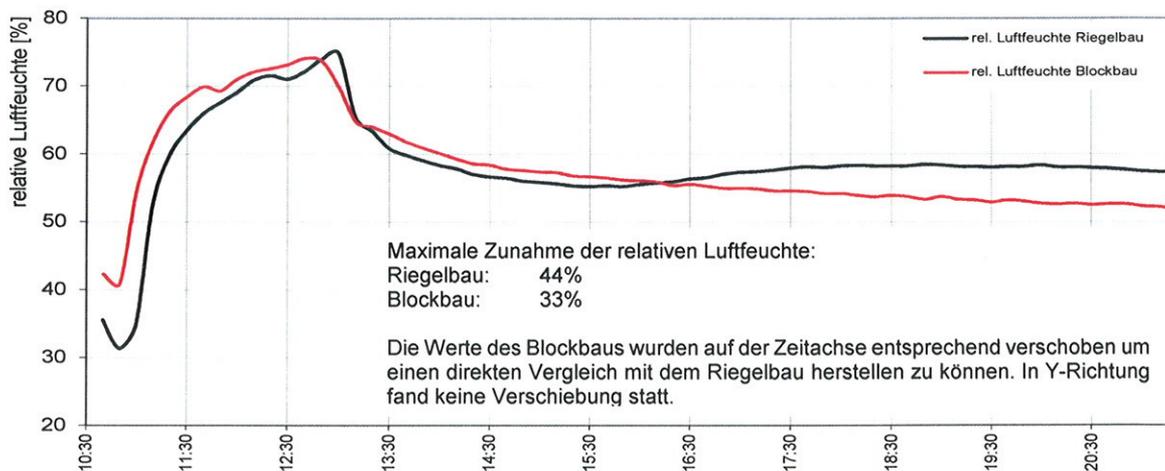


Bild 23: Detail aus Bild 22, Verschobene Feuchteverläufe

4.7 Modul Temperaturverteilung in der Außenwand

Zur Feststellung der Temperaturverteilung über den Querschnitt der Massivholz-Außenwand wurden, wie unter Pkt. 3.6 beschrieben, Temperaturmessungen durchgeführt.

Je Wand wurden in einer Höhe von 1,40 m die Temperaturen der Wandinnenoberfläche, sowie die Bauteiltemperaturen in 10 cm, 16 cm und 19 cm Tiefe (von der Innenoberfläche aus gesehen), gemessen.

Die nachfolgenden Grafiken (Bilder 24 bis 29) zeigen die Temperaturverläufe an der Gebäude-Südseite im Winter 2010 / 2011.

Bauteiltemperaturen Blockhaus Südwand Dez. 2010

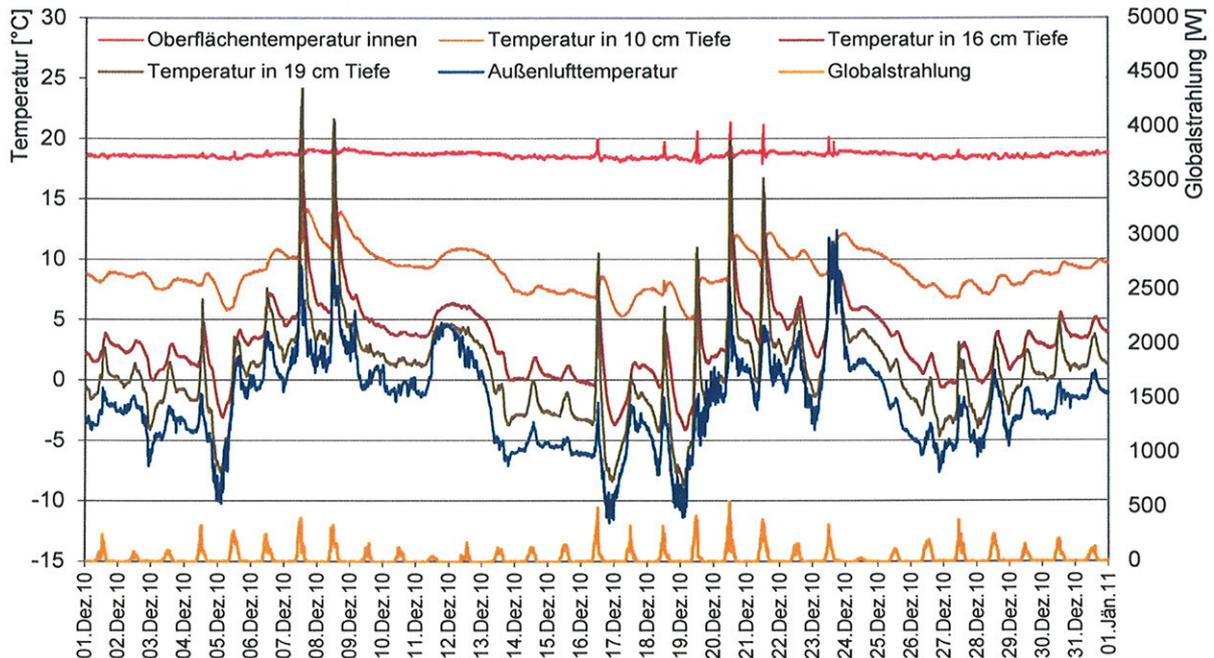


Bild 24: Bauteiltemperaturen, Südwand Blockbau, Dez. 2010

**Detail Bauteiltemperaturen Blockhaus Südwand
15.-16. Dez. 2011**

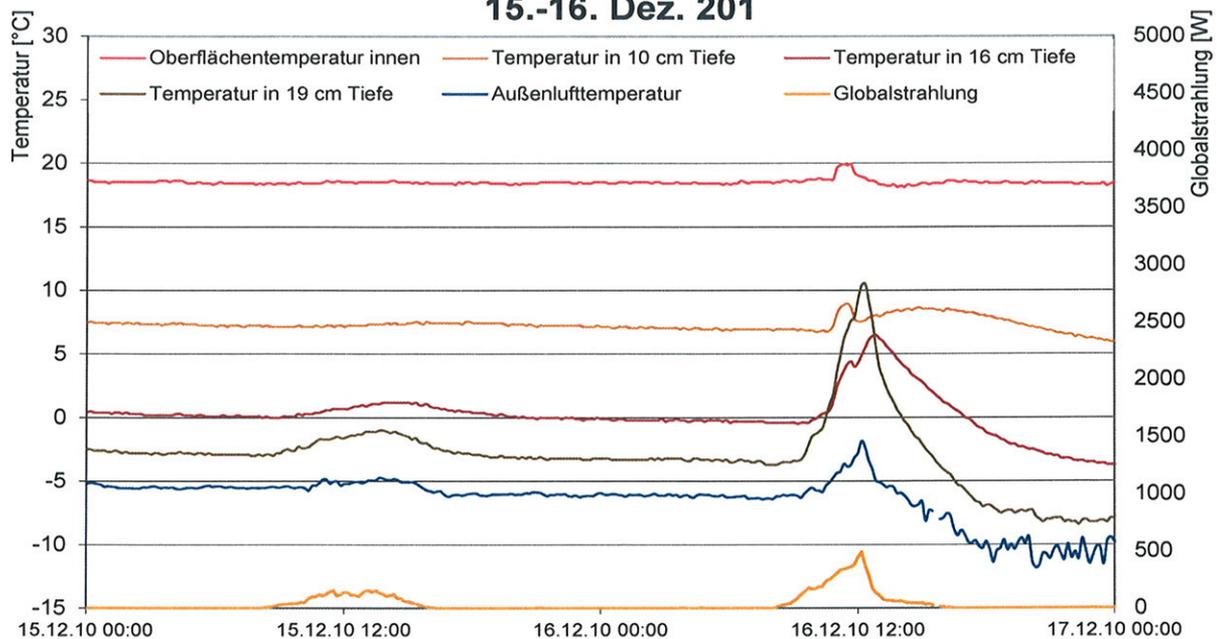


Bild 25: Detailausschnitt der Bauteiltemperaturen an zwei Tagen mit mittlerer bis hoher winterlicher Sonneneinstrahlung

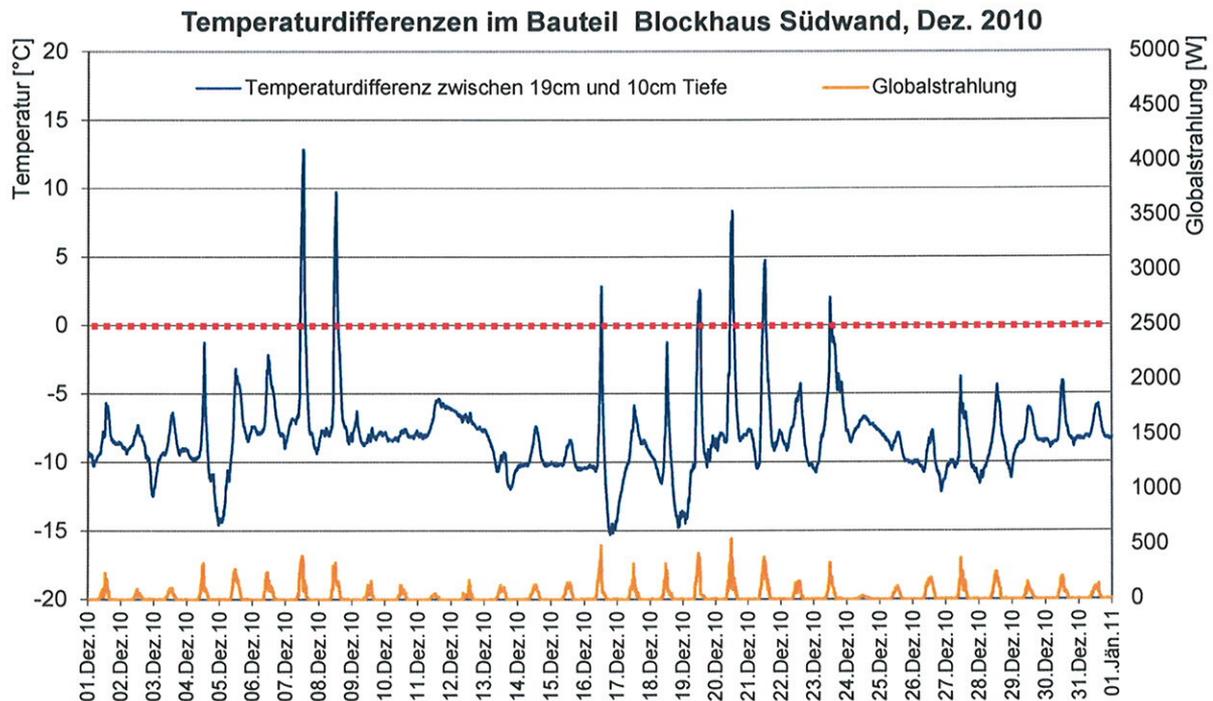


Bild 26: Darstellung der Temperaturdifferenz zwischen 19 cm und 10 cm Tiefe

In Bild 24 ist zu sehen, dass an einzelnen Wintertagen mit hoher Sonneneinstrahlung die Wandoberflächentemperatur an der Gebäudeaußenseite (südseitig) deutlich ansteigen.

Bild 26 zeigt, die Temperaturdifferenz zwischen Wandmitte (10 cm) und außen (oberflächen nahe, 19 cm). Werte oberhalb der „roten Nulllinie“ bedeuten, dass die Außenseite wärmer ist als die Wandmitte.

Die nachfolgenden Bilder 27 bis 29 zeigen die Temperaturverläufe im Messzeitraum Jänner 2011. Es konnten die Messergebnisse aus Dezember 2010 bestätigt werden.

Bauteiltemperaturen Blockhaus Südwand Jan. 2011

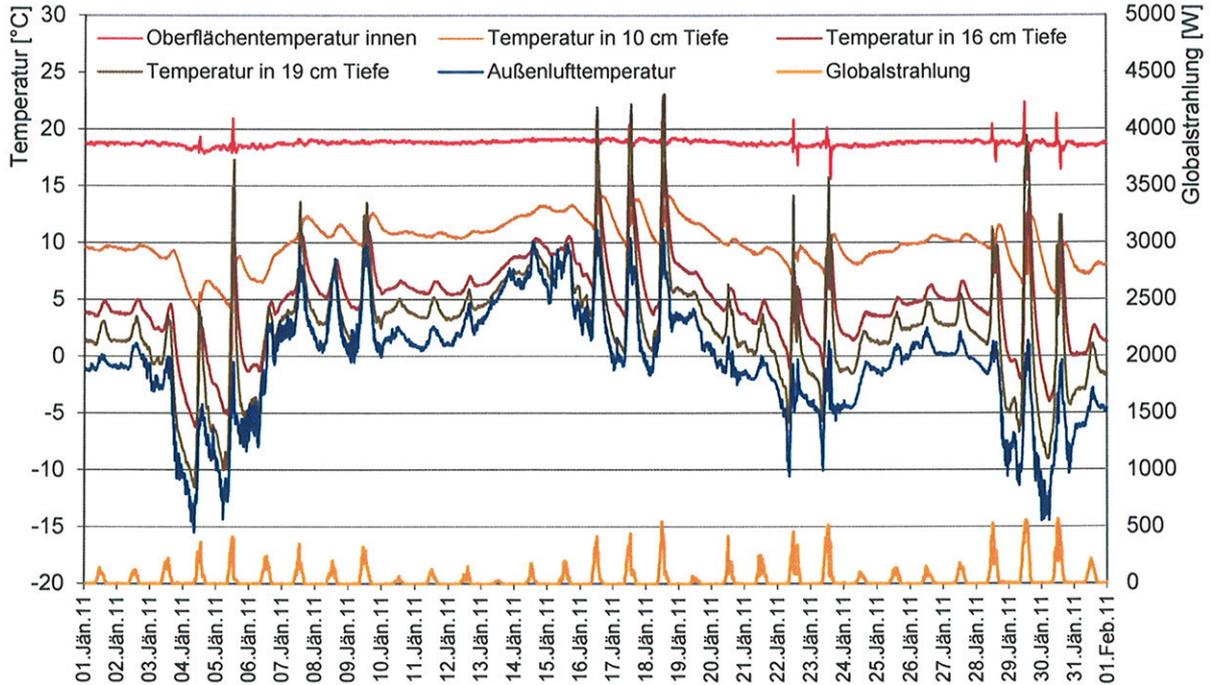


Bild 27: Bauteiltemperaturen, Südwand Blockbau, Jan. 2010

Bauteiltemperaturen Blockhaus Südwand Jan. 2011

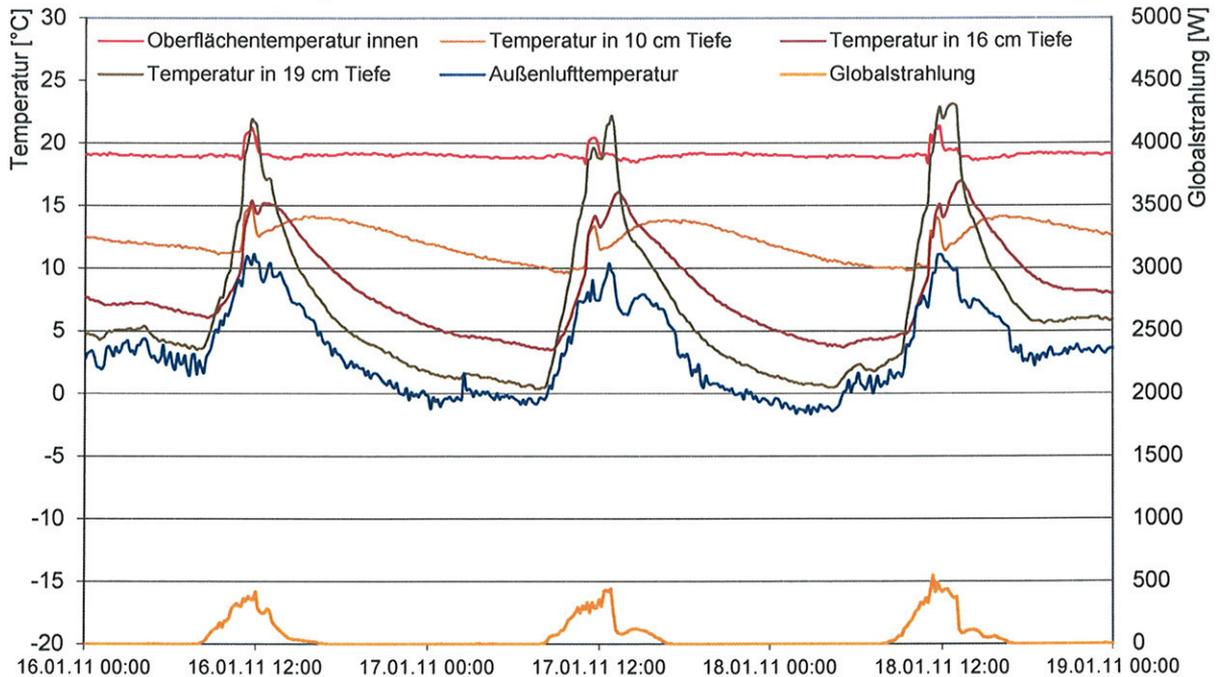


Bild 28: Detailausschnitt der Bauteiltemperaturen an zwei Tagen mit mittlerer bis hoher Sonneneinstrahlung

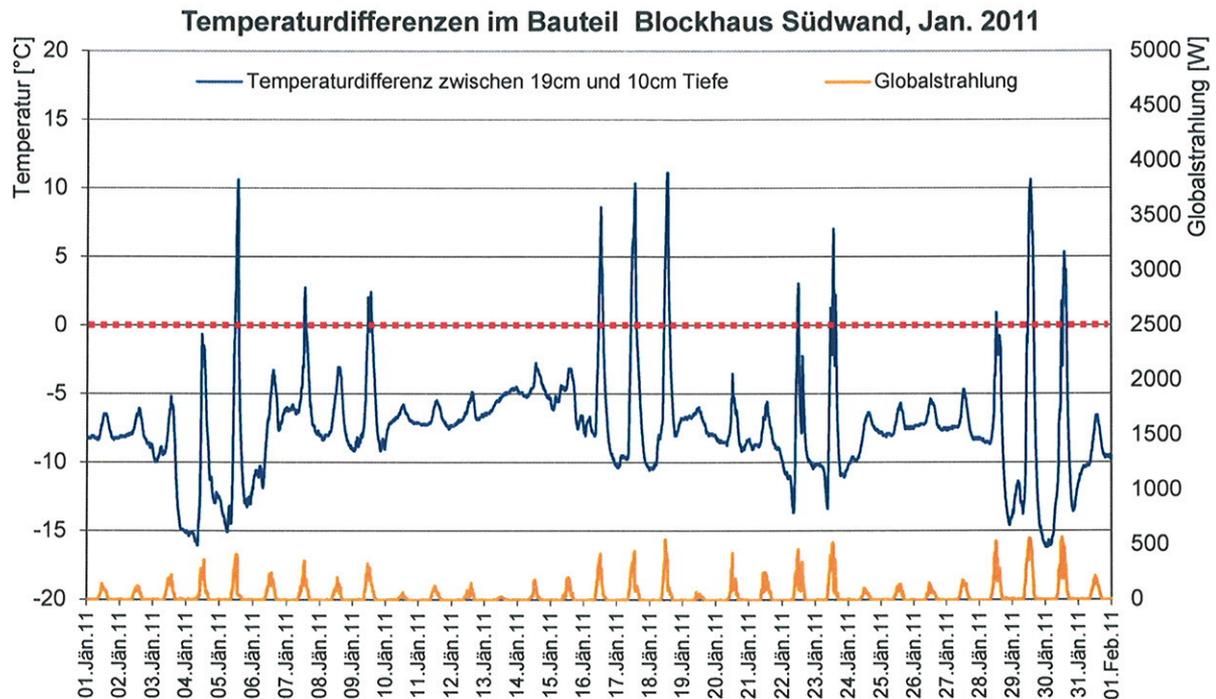


Bild 29: Darstellung der Temperaturdifferenz zwischen 19 cm und 10 cm Tiefe,

5. ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

5.1 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf wurde in der Winterperiode 2009/2010 und in der Winterperiode 2010/2011 in zwei Zeitabschnitten mit 48 bzw. 74 Tagen betrachtet. Beim winterlichen Wärmeschutz sind, wie allgemein bekannt, die Dämmeigenschaften der Gebäudehülle (Summe sämtlicher Außenbauteile) der wesentliche Einflussparameter.

Ein Vergleich der Berechnungsergebnisse mit jenen aus der Messung zeigt für den Blockbau einen bis zu 39 % höheren berechneten Heizwärmebedarf als dieser im Versuchszeitraum messtechnisch ermittelt wurde (siehe Bild 8, Pkt.4.2).

Beim Riegelbau liegt der berechnete Heizwärmebedarf um bis zu 29 % höher als der, im Versuchszeitraum messtechnisch ermittelte Wert (siehe Bild 8, Pkt.4.2).

5.2 Auskühlverhalten und Aufheizverhalten

Ein wesentlicher Parameter zur Beurteilung der Energieeffizienz und der thermischen Behaglichkeit eines Gebäudes ist, neben dem Wärmeverlust bei kontinuierlichem Heizbetrieb, das thermische Verhalten in der Aufheiz- und Abkühlphase.

Die Raumlufttemperatur sinkt nach Abschalten der Heizung entsprechend der Dämmeigenschaften der Gebäudehülle ab. Auffallend ist, dass die Differenz zwischen Raumlufttemperatur und Mittelwert aller gemessenen Wandoberflächentemperaturen beim Blockbau geringer wird (siehe Bild 14, Pkt.4.3). Dies weist auf ein höheres Wärme-Speicher-Verhalten der Massivholzblockwand hin.

In der Aufheizphase konnte prinzipiell das selbe Verhalten wie in der Auskühlphase festgestellt werden.

5.3 Thermische Behaglichkeit im Sommer - Sommerlicher Wärmeschutz

Zur Betrachtung des Verhaltens der beiden Versuchshäuser unter sommerlichen Klimaverhältnissen wurden zwei Hitzeperioden im Sommer 2010 ausgewertet. Die über die gesamte Messperiode gemittelten Raumlufttemperaturen liegen im Block- als auch im Riegelbau auf etwa gleichem Niveau. Im Blockbau sind die Temperaturspitzen in Teilzeitabschnitten jedoch nicht so stark ausgeprägt (siehe Bild 19, Pkt. 4.3). Eine Betrachtung der Wandoberflächentemperaturen in Bezug auf die zugehörige Raumlufttemperatur zeigt beim Blockbau trotz wesentlich höherem Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände (U-Wert 3,375-fach höher) in etwa die gleichen Schwankungsbreiten wie beim Riegelbau (siehe Bild 20, Pkt. 4.3).

Mit der Massivblockbauweise konnte in den Versuchsreihen trotz des deutlich höheren Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwand ein etwa gleiches Innenraumluft-Temperaturniveau bei realen Umgebungsrandbedingungen festgestellt werden.

Die dynamische Wirkung der Schwankung der Außenlufttemperaturen und der globalen Sonneneinstrahlung konnte beim Holzmassiv-Blockbau innerhalb des Beobachtungszeitraumes an 63% der Tagen der besser ausgeglichen werden.

5.4 Thermische Behaglichkeit im Winter

Im Winter ist die thermische Behaglichkeit, unter anderem, wesentlich vom Verhältnis Raumlufttemperatur zur Oberflächentemperatur der raumumschließenden Oberflächen abhängig.

Unter Einbeziehung der Erkenntnisse aus dem Teilprojekt "Thermografie und Wärmeströme" ergeben sich Ansätze, welche weitere Untersuchungen - mit detaillierter Erfassung der Oberflächentemperaturen - zur Erreichung eines Erkenntniszuwachses hinsichtlich Wärmetransport bei Holzmassivbauteilen unter instationären Verhältnissen, als sinnvoll erscheinen lassen.

Nach überschlägigen Berechnungen, auch unter Berücksichtigung der Thermografieuntersuchungen⁹ ist zu erwarten, dass die gemessene Oberflächentemperatur einiges höher liegt als laut Berechnung.

5.5 Sorptionsverhalten

In einem Versuch bei dem innerhalb kurzer Zeit eine definierte Wassermenge in Dampfform in beide Versuchshäuser eingebracht wurde, konnten Erkenntnisse zum Sorptionsverhalten der Innenoberflächenmaterialien gewonnen werden. Im Blockbau wurde eine geringere Erhöhung der relativen Luftfeuchtigkeit nach Eintrag der Feuchte gemessen. Nach Einstellung der Feuchtezufuhr kam es in beiden Versuchsräumen kurzzeitig zu einem starken und in weiterer Folge zu einem kontinuierlichen Abfall der Luftfeuchte, wobei auffallend ist, dass im Riegelbau bei Anstieg der relativen Außenluftfeuchte in den Abendstunden auch im Raum ein leichter Anstieg festgestellt wurde (Siehe Bild 22 u. 23, Pkt. 4.6). Die geringere Zunahme der Luftfeuchte im Massivholz-Blockbau weist auf ein höheres Sorptionsverhalten und somit ein ausge-

glicheneres Raumklima bei erhöhter Feuchtebelastung hin.

5.6 Temperaturverteilung in der Außenwand des Blockbaues

Die Auswertungen der Bauteiltemperaturen an den Messstellen der Südwand zeigen, dass an sonnigen Wintertagen eine Umkehr des Wärmestroms von Außen nach Innen in Teilbereichen des Bauteilquerschnittes stattfindet.

Bei hoher Globalstrahlungsintensität kommt es zu einer Erwärmung der außenliegenden Holzoberfläche, welche sich in Kombination mit der Erhöhung der Außenlufttemperatur zeitlich etwas verzögert, zumindest bis zur Mitte der Blockbohle auswirkt.

Das Ausmaß und die Häufigkeit dieses Verhaltens in den Wintermonaten Dezember 2010 und Jänner 2011 ist in einer graphischen Darstellung der Temperaturdifferenz einer Messstelle knapp unter der Außenoberfläche und einer Messstelle in Blockbohlenmitte dokumentiert (siehe Bild 24 bis 29, Pkt. 4.7). Kurzzeitig ergeben sich folgend geringere Wärmeverluste als rechnerisch ermittelt. Bei höherer Temperatur des außenliegenden Messpunktes als jenem in Blockmitte findet ein Wärmestrom von Außen nach Innen trotz Raumlufttemperaturgefälle von Innen nach Außen statt.

6. FAZIT UND AUSBLICK

Die Ergebnisse der vorliegenden Forschungsarbeit, einem Teilprojekt aus dem Forschungsprojekt Massivblock 20+, liefern einen weiteren Beitrag zur Erweiterung der Erkenntnisse zum dynamischen thermischen Verhalten dieser Bauweise und deren Vorteile.

Über Holz ist generell bekannt, dass dieser Werk- und Baustoff günstige Eigenschaften, hinsichtlich Wärmedämmung, Wärmespeicherung, sowie feuchteregulierende Sorptionseigenschaften hat.

Das instationäre thermische Verhalten wird jedoch bei der Beurteilung des Wärmeschutzes von Außenbauteilen aus Massivholz derzeit nicht ausreichend berücksichtigt. Vor allem die messtechnisch ermittelten Temperaturverteilungen über dem Bauteilquerschnitt zeigen, dass eine Bewertung des winterlichen Wärmeschutzes ausschließlich über eine Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wertes) nach den derzeit gültigen einschlägigen Rechenregeln überdacht werden sollte.

In der einschlägigen Fachliteratur wird der Einfluss der Wärmespeicherung von Gebäudehüllen auf die Energieeinsparung mit Vorsicht behandelt. Eine aktuelle Forschungsarbeit der ETH Zürich¹ weist aus, dass verdübelte Massivholzkonstruktionen und Blockhauskonstruktionen, dank ihrer Masse, eine beträchtliche Reduktion der Temperaturschwankungen durch die Wand bewirken.

Die Erkenntnisse der vorliegenden Forschungsarbeit und jene der ETH Zürich zeigen weiteren Bedarf an Arbeiten zum Thema dynamische Wirkung der Außenklimarandbedingungen auf das Innenraumklima sowohl während der Sommer- als auch der Winterperiode, welche zu einer erweiterten Bewertung der wärmetechnischen Qualität der einschaligen Massivholz-Blockbauweise führen können.

Abteilung Bauphysik & Hochbau
Salzburg, 14. Juli 2011

Projektleitung: Dipl.-Ing R. Preininger
Messtechnik: Ing. W. Rettenegger
Messbetreuung: M. R. Rumpler
Berechnungen: Ing. K. Kröll

Dieses Projekt wurde von der
EUROPÄISCHEN UNION
Europäischer Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)
sowie dem Land Salzburg aus dem
RWF-Programm kofinanziert.



EUROPÄISCHE UNION
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung
Förderungen für Salzburg



7. LITERATUR

-
- ¹ Joščák, M., Sonderegger, W., Niemz, P.: Wärme- und Feuchtetransport in Holzbauerelementen unter freier Bewitterung, Forschungsarbeit der ETH Zürich, Veröffentlicht in: Bauphysik, Heft 5, 32. Jahrgang, Oktober 2010
- ² Blumer, H.: Wärme- und Diffusionsverhalten von Massivholz – nicht nur der U-Wert zählt. Vortrag: 13. internationalen Holzbauforum 2007
- ³ Barth, R.: Salzburger Blockhausbau. Veröffentlicht in: www.blockhaus-barth.de
- ⁴ Bautechnikverordnung-Energie: 37. Verordnung der Salzburger Landesregierung vom 21. März 2011 über die energetischen Anforderungen an Bauten sowie über Inhalt und Form des Energieausweises (Bautechnikverordnung Energie – BTV-E), Inkrafttreten: 2011-04-01
- ⁵ OIB-Richtlinie 6: Energieeinsparung und Wärmeschutz / OIB-300.6-038/07, 2007-04
- ⁶ Software DASyLab (Data Acquisition System Laboratory), Version 11.0.0, National Instruments, 2009
- ⁷ ÖNORM EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, 2008-04-01
- ⁸ ÖNORM B 8110: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, 2008-01-01
- ÖNORM B 8110: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 2: Wasserdampfdiffusion und Kondensationschutz, 2003-07-01
- ÖNORM B 8110: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse, 1999-12-01
- ÖNORM B 8110: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3 / AC1: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse (Berichtigung), 2001-06-01 sowie 2001-02-15
- ÖNORM B 8110: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 4: Betriebswirtschaftliche Optimierung des Wärmeschutzes, 1998-09
- ÖNORM B 8110: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile, 2010-01-01
- ÖNORM B 8110: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf, 2010-01-01
- ⁹ Forschungsbericht Fa. Egle Engineering: Forschungsprojekt Massivblock 20+ – Thermografische Untersuchungen und näherungsweise rechnerische Ermittlung von Wärmeströmen an zwei Versuchshäusern in Holzblock- und Holztafelbauweise am Standort Lehrbauhof 5020 Salzburg, März 2011