



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**

# PARAMETERUNTERSUNG DES SOMMERLICHEN RAUMKLIMAS VON WOHNGEBAÜDEN

## SOMMERLICHES KOMFORTKLIMA

### Jahresbericht 2009

Autor und Koautoren	Daniel Kehl und Andreas Müller
beauftragte Institution	Berner Fachhochschule – Architektur, Holz und Bau
Adresse	Solothurnstrasse 102, Biel
Telefon, E-mail, Internetadresse	Tel.: 032 3440319; <a href="mailto:andreas.mueller@bfh.ch">andreas.mueller@bfh.ch</a> ; <a href="http://www.ahb.bfh.ch">www.ahb.bfh.ch</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	Projekt: 103215 / Vertrag: 154240
BFE-Projektleiter	Andreas Müller
Dauer des Projekts (von – bis)	Juli 2009 – Februar 2011
Datum	14.12.2009

### ZUSAMMENFASSUNG

Aus der Analyse der nationalen und internationalen Forschungsergebnisse geht hervor, dass folgende Faktoren das sommerliche Raumklima in Wohnbauten beeinflussen. der U-Wert der Bauteile, die Verschattung der transparenten Bauteile, das Lüftungsverhalten, die internen Wärmelasten, gefolgt von der die interne wirksamen Speicherkapazität und die Art des Dämmstoffes [1]-[3]. Heute ist der U-Wert der opaken Bauteile so gering ( $\leq 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), dass dieser kaum mehr Beachtung geschenkt werden muss. Die beiden weiteren Einflussgrößen, Verschattung und Lüftung, sind stark vom Nutzungsverhalten abhängig und daher besonders schwer zu erfassen. Ansätze sind in [4] zu finden. Aus den Messungen in [5], der mehrere Häuser über einen Sommer lang erfasst hat, geht dies besonders hervor. Je nach Nutzerverhalten ist das Raumklima entsprechend unterschiedlich.

Die meisten Studien des sommerlichen Raumklimas werden mittels thermischer Simulationen durchgeführt, da Parameteruntersuchungen dieser Art messtechnisch nicht bewältigt werden können. Die Annahmen, die dafür getroffen werden, sind oftmals sehr unterschiedlich. So werden Räume oder Gebäude simuliert, bei denen man nicht weiß, ob und wie oft sie in der Baupraxis vorkommen. Auch weichen bspw. die internen Wärmelasten erheblich in den Untersuchungen voneinander ab. Es musste ebenso festgestellt werden, dass trotz Vorhandensein nationaler und internationaler Norm [6]-[8] es Unterschiede in der Ermittlung der internen wirksamen Speicherkapazität der Bauteile und des Raumes gibt.

In den bisherigen Simulationsstudien ist weiterhin festzustellen, dass Gebäude (Räume), Baukonstruktionen und Fenstergrößen etc. ohne Analyse der gebauten Praxis angenommen wurden. Es liegen auch keine Untersuchungen dazu vor. Daher wurden Umfragen bei Technikern der HF Biel und Holzbaubetrieben des Verbandes Güteüberwachter Qualitätshäuser durchgeführt. So konnte eine fundierte Grundlage an Bauteil- und Raumparametern ermittelt werden, um die anschliessenden Simulationen an der Praxis zu orientieren. So wurden Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte), Fensterflächenanteile, flächenbezogene Speicherkapazitäten etc. berechnet.

## Projektziele

Es ist bekannt, dass es bei Wohngebäuden während der Sommermonate unter bestimmten Randbedingungen zu einem unbehaglichen Raumklima kommt. Dies ist umso bedeutsamer, da es auf Grund des Klimawandels [9] zukünftig immer wärmer wird. Zur Reduktion hoher Temperaturen können sowohl anlagentechnische als auch konstruktive Massnahmen eingesetzt werden.

Die konstruktiven und nutzerbedingten Mechanismen, um die Temperaturen auf ein behagliches Maß zu reduzieren sind prinzipiell bekannt u.a. [1]-[3];[10]-[15]. Zu Massivbauten liegen dazu Erkenntnisse aus Messungen und Simulationen vor. Da Holzbauten auf Grund ihrer unterschiedlichen inneren Speicherfähigkeit anders reagieren, können die Ergebnisse des Massivbaus nicht übertragen werden. Für Holzbauten mit ihren mittlerweile sehr unterschiedlichen Bauweisen (u.a. Holzrahmen-, Holzmasiv- und Holzbetonverbundbau) liegen nur vereinzelte Erkenntnisse vor [1][2][3]. Hier fehlt es an detaillierten und umfangreichen Untersuchungen. Diese Lücke zu schliessen, ist besonders von Bedeutung, da viele Minergie und Minergie P-Bauten in Holz errichtet werden.

Daher sollen mittels thermischer Gebäudesimulation die einzelnen Einflussparameter wie Fensterfläche- und ausrichtung, Verschattung, Lüftung sowie Wärmespeicherfähigkeit der Holzbauten und besonders deren Wechselwirkung genau analysiert werden. Um dies möglichst nah an der Praxis zu orientieren war das erste Ziel im ersten Arbeitspaket eine differenzierte Datengrundlage über Bauteilaufbauten, Fensterflächen, Raumgrössen etc.) zu erhalten. Anhand von Literatur, Umfrage bei Technikern der HF Biel und Holzhausherstellern wurde begonnen diese zu ermitteln.

Im Jahr 2010 soll mit den Simulationen und deren Auswertung begonnen werden, um mittels der Rechenergebnisse die Varianten herauszuarbeiten unter denen auf Anlagentechnik im Sommer verzichtet bzw. auf ein Minimum reduziert werden kann. Infolgedessen kann zum einen ein angenehmes Raumklima in Wohnbauten erzeugt und die elektrische Energie der Anlagentechnik, wenn sie überhaupt benötigt wird, weitestgehend eingespart werden.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Im ersten Arbeitspaket war neben einer ausführlichen Literaturrecherche geplant die einzelnen Einflussparameter (siehe oben) als Grundlage für die Simulation zu ermitteln. Die Arbeiten sind weit vorangeschritten und werden Anfang 2010 weitergeführt.

### Fensterflächenanteile

Die Fensterfläche eines Raumes kann sowohl auf die Fassadenfläche als auch auf die Nettogrundfläche ( $A_{NGF}$ ) beziehen. Letzteres macht Sinn, da es entscheidend für das Raumklima ist, welcher Raum hinter einer Glasfläche liegt. Für die Parameteruntersuchung wurden die Fensterflächenanteile von kritischen Räumen aus der Studie [5] erfasst und durch weitere Gebäudeanalysen erweitert. Daraus geht hervor, dass der Grossteil der Fensterflächenanteile bei kritischen Räumen zw. 20 und 25 % liegt (siehe Fig. 1). Die Auswertung wird kontinuierlich weitergeführt, um noch detailliertere Auswertungen machen zu können.

**Anzahl Räume mit Glasflächenanteil [%]  
bezogen auf die Nettogrundfläche**

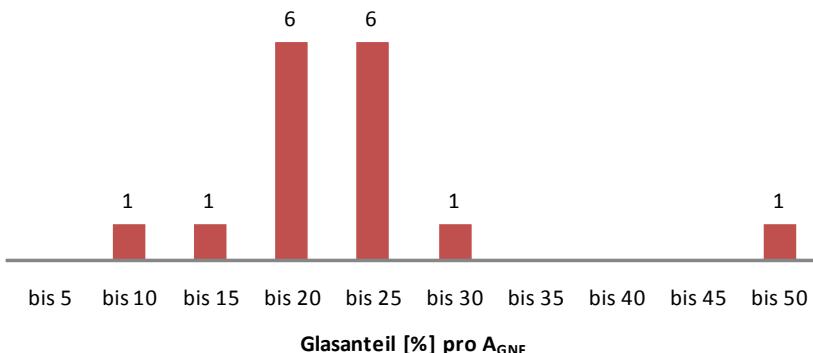


Fig. 1: Verteilung der Fensterflächenanteile bezogen auf die Nettogrundfläche des dahinter liegenden Raumes. Analyse von bisher 16 Räumen

## Konstruktionsaufbauten Holzbau

Im Holzbau gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Konstruktionen. Im Rahmen einer Umfrage bei den Technikern der HF Biel – Fachrichtung Holzbau wurden aktuelle Dach, Wand und Deckenaufbauten erfasst und ausgewertet. Neben den heute üblichen Dämmstoffstärken im Holzbau wurden Beplan- kungs und Dämmstoffarten sowie Konstruktionsweisen analysiert (Fig. 2 - 3)

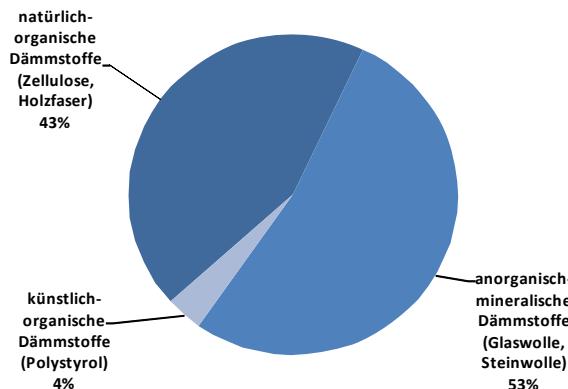


Fig. 2: Verteilung der verwendeten Dämmstoffe in Holzbauwänden

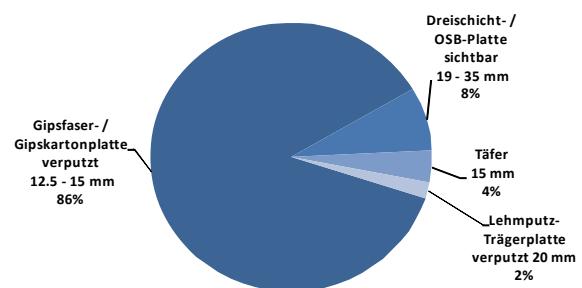


Fig. 3: Art und Dicke der inneren Beplankung

## Wirksame Wärmespeicherkapazität der Bauteile und Räume

Aus der oben genannten Analyse wurden verschiedenste Aufbauten (z.B. mit/ohne Installationsebene, Massivholzbau) und wirksame Wärmespeicherkapazitäten nach SN EN ISO 13786 [8] ermittelt. Während der Berechnung stellte sich heraus, dass in der Literatur und Normen verschiedenste wirksame flächenbezogene Speicherfähigkeiten  $\chi$  (sprich: Chi) kalkuliert werden. So steht in der SIA 382/1 [6], dass die Wärmeübergangswiderstände berücksichtigt werden müssen in Merkblatt 2024 [7] nicht. Hinzu kommt, dass in der SN EN ISO 13786 [8] keine Aussage über die Berücksichtigung von Sparren oder Ständer, wie sie im Holzbau vorkommen, getroffen wird. Da Holz eine hohe spezifische Wärmekapazität und im Vergleich zum nebenliegenden Dämmstoff eine hohe Rohdichte aufweist, sollte dies bei 10-15 % Holzanteil berücksichtigt werden. Fig. 4 zeigt dies anhand der oben analysierten Bauteile. Bei der in 2010 neu erscheinenden SIA 180 wird von Seiten der Forschenden besonders auf diesen Punkt geachtet.

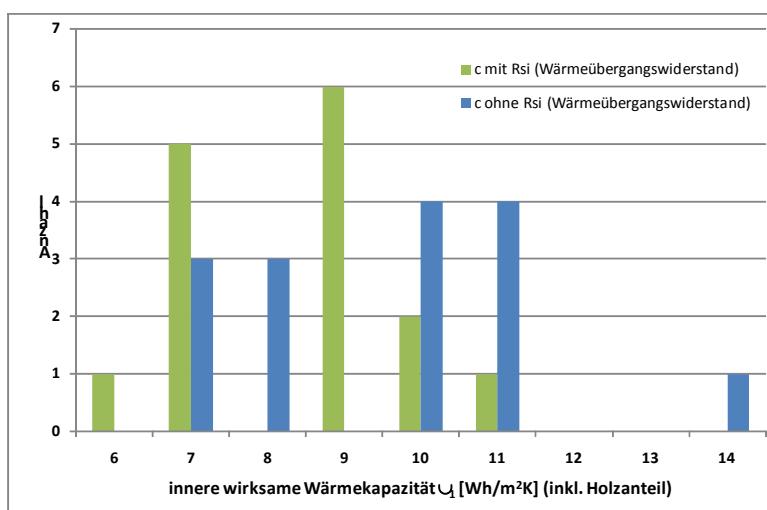


Fig. 4: Wärmespeicherkapazität unterschiedlicher Wandkonstruktionen mit und ohne Berücksichtigung des inneren Wärmeübergangswiderstandes. Der Holzanteil wurde flächengewichtet mit berücksichtigt

## Fensteröffnungszeiten

In der Literatur gibt es kaum verlässliche Daten zu Luftwechselzahlen im Sommer. Einheitlich findet man in den Simulationsannahmen einen Grundluftwechsel von  $0.5 - 0.6 \text{ h}^{-1}$  [1][2][14]. Über den Grundwechsel hinaus werden aber sehr unterschiedliche Angaben gemacht. Der angenommene Luftwechsel schwankt zwischen 0 bis  $10 \text{ h}^{-1}$  [1][2][14]. Man kann sich dem Ganzen über sogenannte

Fensteröffnungszeiten nähern. Aus der [4] Studie ist gut zu erkennen, dass die Fensteröffnungszeiten im Sommer zwischen 8 und 12 h liegen (siehe Fig. 5). In heissen Sommerperioden wird etwas mehr in der Nacht (21 – 8 Uhr) als am Tag gelüftet (keine Grafik). Wie gelüftet wird (Kipp- oder Flügelöffnung) geht aus der Studie leider nicht hervor.

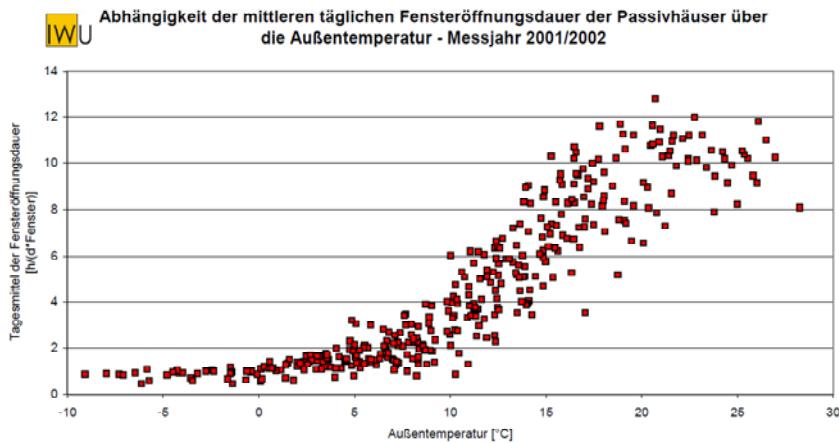


Fig. 5: Fensteröffnungszeiten in Passivhäusern aufgetragen über die Außentemperatur [4]

## Nationale Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern als auch mit der Privatwirtschaft gestaltet sich als sehr konstruktiv. Auch weitere Institutionen wie die Minergie-p Zertifizierungsstelle, die SIA, Lemon Consult und der EMPA Dübendorf unterstützen das Projekt und stehen Anregungen und Diskussionen gegenüber offen.

## Internationale Zusammenarbeit

Es ist für die zweite Jahreshälfte 2010 vorgesehen mit dem Passivhausinstitut in Darmstadt zusammen zu arbeiten. Die ersten Kontakte bestehen bereits.

## Bewertung 2009 und Ausblick 2010

**Misserfolge:** Während der Bearbeitung hat sich herausgestellt, dass viele Berechnungsgrundsätze (z.B. Berechnung der spezifischen Wärmekapazitäten und interne Wärmelasten, Lüftungsverhalten etc.) in Regelwerken zu finden aber nicht immer eindeutig geregelt sind. So wurde eruiert, dass u.a. unterschiedliche Materialkenndaten besonders für Holz/Holzwerkstoffe vorliegen, es keine einheitliche Regelung gibt, wie die Wärmekapazität bei inhomogenen Bauteilen ermittelt wird und ob dabei der Wärmeübergangswiderstand zu berücksichtigen ist. Diese Widersprüche festzustellen, zu recherchieren und zu analysieren etc. hat mehr Zeit in Anspruch genommen, als für dieses Arbeitspaket vorgesehen war. Zudem hat es gedauert, dass die Holzbaubetriebe ihre Unterlagen zur Analyse zur Verfügung gestellt haben und es durch eine Personaländerung zu Verzögerungen kam. Daher konnte das Ziel „Abschluss des ersten Arbeitspakete“ noch nicht ganz erreicht werden.

**Erfolge:** Hingegen hatte diese intensive Vorrarbeiten zur Klärung von Unsicherheiten beigetragen. Diese Ergebnisse werden helfen, dass die Softwaretools wie z.B. das SIA-Klimatool weiterentwickelt und in zukünftige Normungsarbeiten einfließen werden. So ist für die gerade neu entstehende SIA 180 (Vernehmlassung Frühjahr 2010) vorgesehen, einen Beitrag mit Anmerkungen zu verfassen. Erfolgreich war ebenfalls die Analyse der Bauteile und Bauwerke (Fensterflächenanteile etc.) von aktuell gebauten Beispielen. So kann eine praxisbezogene Analyse von Parametern durchgeführt werden. Diese Analyse der Parameter wird 2010 weiter geführt, da sie für erheblich erachtet wird.

**Lehre und Ausblick:** Im nächsten Jahr wird zunächst die genaue Betrachtung der Einflussparameter auf das sommerliche Raumklima fortgesetzt. Der so betriebene Mehraufwand im AP 1 (Grundlagenermittlung) wird zum einen im AP2 (Validierung) kompensiert, da gezielter nach Unterschieden zwischen Rechnung und Messungen gesucht werden kann. Gleches gilt für AP 3 (Parameteruntersuchung). Die Parameter können gezielter analysiert werden. Zudem wird eine neue Person zur Bearbeitung zur Verfügung stehen, so dass davon ausgegangen wird, dass die gesteckten Ziele erreicht werden.

## Referenzen

- [1] Frank, Th.: Sommerlicher Wärmeschutz von Dachräumen – Analyse der Einflussfaktoren auf das Raumklima, Beitrag zur ETHZ Vorlesung Spezialfragen Bauphysik HS 2007, Eigenverlag 2007
- [2] Hrsg.: Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München: Sommerliches Temperaturverhalten eines Dachzimmers bei unterschiedlichem Dachaufbau mit und ohne Berücksichtigung eines Sonnenschutzes, Bericht C1-14b/00 München 2000
- [3] Hrsg.: Feist, W.: Passivhaus Sommerklima Studie, Fachinformation PHI-1998/10 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 1998
- [4] Hrsg.: Institut Wohnen und Umwelt: Fensteröffnung in Passivhäusern, Beitrag in der Zeitschrift Bauphysik Heft 2-2004, Ernst und Sohn Verlag, Berlin 2004
- [5] Ménard et.al.: Ménard, M.; Nutt, M.; Keller, P.: Sommerlicher Wärmeschutz bei Wohngebäuden in Holzbauweise - Messungen in acht Minergie Einfamilienhäusern, Forschungsbericht des BFE, Eigenverlag 2009
- [6] SIA 382/1 – 2007: Lüftungs- und Klimaanlagen – Allgemeine Grundlagen und Anforderungen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein , Zürich 2007
- [7] Merkblatt 2024 – 2006: Standardnutzungsbedingungen für Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein , Zürich 2006
- [8] SN EN ISO 13786 - 2007: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein , Zürich 2007
- [9] Brunner, C.; Steinemann, U.:Bauen, wenn es wärmer wird – Notwendige Umkehrung normativen Denkens, Beitrag zum 14. Schweizerischen Status Seminar <<Energie- und Umweltforschung im Bauwesen>>, Zürich 2006
- [10] Hrsg.: Feist, W.: Lüftungsstrategien für den Sommer, Protokollband 22 des Passivhausinstitutes, Eigenverlag, Darmstadt 2003
- [11] Borsch-Laaks, R.: Ist das Sommerklima berechenbar – Teil 1: Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2004
- [12] Borsch-Laaks, R.: Ist das Sommerklima berechenbar – Teil 2: Fallstudie zum sommerlichen Wärmeschutz mit PHPP 2004, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2004
- [13] Borsch-Laaks, R.: Die richtige Sommerlüftung – Erkenntnisse und Empfehlungen für die natürliche Kühlung, Beitrag aus der Zeitschrift Holzbau – die neue quadriga, Wolznach 2008
- [14] Otto, F.; Ringeler, M.: Verbesserung des sommerlichen Wärmeverhaltens von Wohngebäuden durch Holzfaser-Dämmplatten, Studie im Auftrag des Verbandes Holzfaserdämmstoffe e.V., Eigenverlag 2005

## Anhang

Zur Wahrung der Übersichtlichkeit des Berichts und zur leichteren Lesbarkeit sind Messprotokolle, Rechenprogramme, längere mathematische Herleitungen usw. im Anhang aufzuführen.