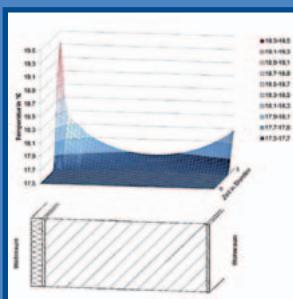
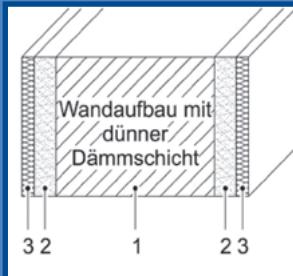


Alexander Siebel

Effiziente Anheizung von Gebäuden in massiver Bauweise bei intermittierender Beheizung



BAUKONSTRUKTIONEN + BAUPHYSIK | BAND 3

Wolfgang M. Willems (Hrsg.), Alexander Siebel

Effiziente Anheizung von Gebäuden in massiver Bauweise bei intermittierender Beheizung

Fraunhofer IRB Verlag

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISBN (Print): 978-3-8167-9063-1

ISBN (E-Book): 978-3-8167-9064-8

Druck: Mediendienstleistungen des
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart

Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **Fraunhofer IRB Verlag, 2013**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB

Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart

Telefon 0711 9 70-25 00

Fax 0711 9 70-25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

URL www.baufachinformation.de

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen.

Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

Effiziente Anheizung von Gebäuden in massiver Bauweise bei intermittierender Beheizung

zur Erlangung des akademischen Grades Doktor-Ingenieur
an der Fakultät für Architektur und Bauingenieurwesen
der technischen Universität Dortmund

genehmigte Dissertation

von
Alexander Siebel
Aachen

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems
2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schmidt,
Institut für konstruktiven Ingenieurbau der Universität Siegen

Tag der Einreichung: 27. September 2012
Tag der mündlichen Prüfung: 5. März 2013

Aachen 8. März 2013

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand am Lehrstuhl Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung der Technischen Universität Dortmund. Mein Dank gilt insbesondere Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wolfgang M. Willems und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schmidt für die Betreuung, Unterstützung und Geduld während der Erstellung dieser Arbeit. Sie waren bei der Erstellung der vorliegenden Arbeit konstruktive Diskussionspartner und es fand ein praxisnaher Gedankenaustausch statt. Für die Unterstützung bei den technischen Darstellungen danke ich Frau Kerstin Hübner vom Lehrstuhl Bauphysik und Technische Gebäudeausrüstung an der Technischen Universität Dortmund.

Die Erstellung der Arbeit erfolgte begleitend zu meiner Berufstätigkeit als Ingenieur bei der SWA GmbH in Aachen. Die SWA GmbH ist unter anderem im Bereich der Baustoff- und Bauproduktprüfung tätig. Hierdurch konnten viel Praxiswissen und messtechnische Erfahrung in die Arbeit einfließen. In diesem Zusammenhang bedanke ich mich bei meinem Vater, der mir stets ein konstruktiver und kritischer Diskussionspartner war.

Besondere Hilfe wurde mir zudem durch Herrn Dipl.-Ing. Stefan Braun von der Firma SmartCAE aus München zuteil, welcher mich bei der Simulationsberechnung dünner Schichten unterstützte. Mit der Software „HeatTransmission“ konnten auch Temperaturfelder zu den durchgeführten Labor- und Objektmessungen simuliert werden. Dank der sehr guten Unterstützung durch Herrn Dipl.-Ing. Stefan Braun wurde das Programm auf die in der vorliegenden Arbeit benötigten Bedingungen angepasst.

Letztlich möchte ich noch allen danken, welche mir Räume für messtechnische Untersuchungen zur Verfügung gestellt haben und Unannehmlichkeiten während der Messungen in ihren normal benutzen Räumen in Kauf genommen haben.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort.....	1
Nomenklatur.....	6
1. Einleitung	8
1.1. Problemstellung	8
1.2. Zielsetzung	11
2. Wärmetransport.....	13
2.1. Konvektion.....	13
2.2. Wärmestrahlung.....	15
2.3. Stationäre Wärmeleitung.....	17
2.4. Instationäre Wärmeleitung.....	18
2.5. Der instationäre eingeschwungene Zustand	21
3. Wärmespeicherfähigkeit.....	22
3.1. Baustoffeigenschaften.....	22
3.2. Bauteileigenschaften unter instationären Randbedingungen.....	26
3.2.1. Thermische Eindringtiefe.....	26
3.2.2. Wirksame Wärmespeicherfähigkeit	27
4. Thermische Behaglichkeit in Innenräumen.....	28
4.1. Kriterien	28
4.2. Thermische Behaglichkeit in Innenräumen	28
4.3. Empirische Bewertungsgrundlagen	33
5. Beheizung	35
5.1. Nutzerverhalten.....	35
5.2. Intermittierender Heizbetrieb	37
5.3. Die Aufheizphase	38
6. Messtechnische Untersuchung der thermischen Entwicklung in Räumen während einer Heizperiode.....	41
6.1. Vorgehensweise und Randbedingungen	41

6.2.	<i>Raumbeheizung in Wohngebäuden</i>	43
6.3.	<i>Raumbeheizung in Bürogebäuden</i>	55
6.4.	<i>Zusammenfassung der vorgefundenen Verhältnisse</i>	58
7.	Messtechnische Untersuchung dünner Dämmschichten an massiven Wandkonstruktionen	59
7.1.	<i>Anheizphase einer massiven Wandkonstruktion unter Laborbedingungen</i>	59
7.1.1.	<i>Anheizphase im Labor-Prüfstand für eine einmalige Anheizung</i>	63
7.1.2.	<i>Anheizphase im Labor-Prüfstand bei einer intermittierenden Beheizung</i>	64
7.2.	<i>Anheizphase in einem Wohngebäude</i>	65
7.3.	<i>Einfluss von solarer Strahlung auf eine Innenwand</i>	69
7.4.	<i>Lüftungseinfluss auf die operative Temperatur</i>	72
7.5.	<i>Energieeinsparung bei einem Wohngebäude</i>	74
7.5.1.	<i>Amortisationsbetrachtung für das Pilotobjekt</i>	78
7.6.	<i>Ergebnisdiskussion</i>	80
8.	Rechnerische Untersuchung	81
8.1.	<i>Vorgehensweise</i>	81
8.2.	<i>Validierung der Berechnungen mit der Messergebnissen</i>	81
8.3.	<i>Thermisches Verhalten von Innenwandkonstruktionen</i>	84
8.3.1.	<i>Innenwandkonstruktionen bei instationärem Heizbetrieb</i>	85
8.4.	<i>Thermisches Verhalten von Außenwandkonstruktionen</i>	96
8.5.	<i>Berechnung der gespeicherten Energie bei intermittierendem Heizbetrieb</i>	102
8.5.1.	<i>Gespeicherte Energiemenge bei intermittierendem Heizbetrieb</i>	107
8.6.	<i>Ergebnisdiskussion</i>	108
9.	Diskussion der Ergebnisse	109
9.1.	<i>Temperierung von realen Wohn- und Büroräumen</i>	109
9.2.	<i>Messtechnisch und rechnerisch untersuchter Einfluss dünner Dämmschichten an Wandkonstruktionen</i>	110
10.	Zusammenfassung	113
10.1.	<i>Untersuchungsergebnisse</i>	113
10.2.	<i>Vorteile für das Raumklima bei entsprechenden Maßnahmen</i>	113

10.3. <i>Möglichkeiten der Energieeinsparung</i>	113
10.4. <i>Empfehlung zur Anwendung in der Praxis</i>	114
Literaturverzeichnis.....	115
Lebenslauf.....	118