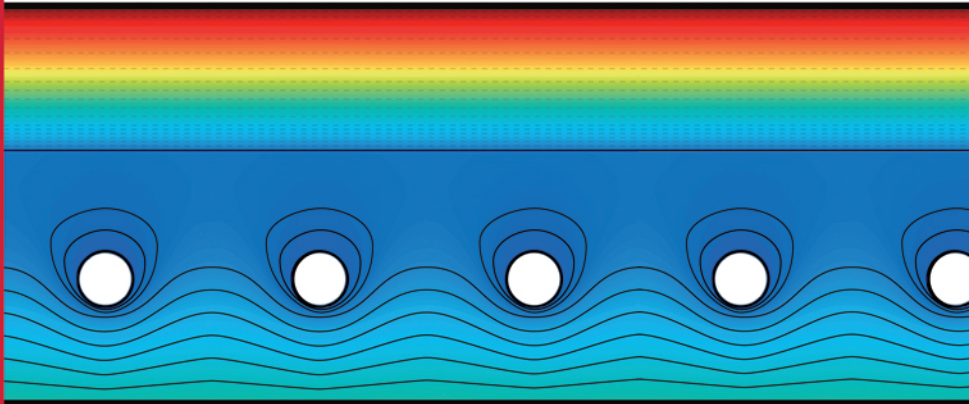



Jens Pfafferott | Doreen Kalz | Roland Koenigsdorff

Bauteilaktivierung

Einsatz – Praxiserfahrungen – Anforderungen



Fraunhofer IRB  Verlag

Jens Pfafferott | Doreen Kalz | Roland Koenigsdorff

Bauteilaktivierung

Jens Pfafferott | Doreen Kalz | Roland Koenigsdorff

Bauteilaktivierung

Einsatz – Praxiserfahrungen – Anforderungen

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): 978-3-8167-9357-1
ISBN (E-Book): 978-3-8167-9358-8

Umschlaggestaltung: Martin Kjer
Herstellung: Angelika Schmid
Satz: Manuela Gantner – Punkt, STRICH.
Druck: BELTZ, Bad Langensalza

Die hier zitierten Normen sind mit Erlaubnis des DIN Deutsches Institut für Normung e.V. wiedergegeben. Maßgebend für das Anwenden einer Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist.

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 Fraunhofer IRB 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 dürften. Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert werden, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

© Fraunhofer IRB Verlag, 2015
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon +49 7 11 9 70-25 00
Telefax +49 7 11 9 70-25 08
irb@irb.fraunhofer.de
www.baufachinformation.de

Vorwort

Nichtwohngebäude, die mit thermoaktiven Bauteilsystemen, vor allem in Kombination mit der Nutzung oberflächennaher Geothermie, gekühlt und beheizt werden, haben sich in den letzten Jahren etabliert. Viele erfolgreiche und gut funktionierende Beispiele belegen, dass mit diesen Systemen ein hohes Maß an thermischer Behaglichkeit in Verbindung mit einer hohen Energieeffizienz erreicht werden kann. Unterschiedliche Wärme- und Kälteübergabesysteme sind heute am Markt verfügbar. Die wichtigsten Gebäudesimulationsprogramme verfügen zwischenzeitlich über eine Programmbibliothek mit LowEx-Komponenten, um diese Systeme zu planen. Darüber hinaus stehen für die Planung und den Betrieb produktspezifische Planungsgrundlagen und teilweise Normen und Richtlinien zur Verfügung.

Jedoch zeigen die Betriebserfahrungen und die systematische wissenschaftliche Auswertung einer ganzen Reihe von Projekten, dass es in Planung, Ausführung und Betrieb noch Verbesserungsmöglichkeiten in Richtung einer besseren Ausschöpfung des Effizienzpotenzials gibt. Oft fehlt es an der Systemabstimmung und effizienten Betriebsführung aller Teilkomponenten von erdgekoppelten Heiz- und Kühlsystemen sowie an der kritischen Betrachtung der aufgewandten Hilfsenergien. Weiterhin stellt sich im Projektgeschäft immer wieder die Frage nach der optimalen Regelung des Gesamtsystems mit hoher Effizienz und Sicherstellung eines hohen Arbeitsplatzkomforts.

Das Buch soll Planern, Architekten, Betreibern und Bauherren einen Überblick über Systemaspekte beim Einsatz der Bauteilaktivierung geben. Dabei haben wir versucht, sowohl die Grundlagen der Bauteilaktivierung zu vermitteln als auch intensiv Betriebserfahrungen zu nutzen. Monitoringergebnisse aus Laborversuchen und Felduntersuchungen bilden dabei die Grundlage, um Anforderungen an die Planung und einen erfolgreichen Betrieb zu definieren.

Allen Firmen, Bauherren, Betreibern, Verbänden und Privatpersonen, die uns Informationen, Messdaten, Betriebserfahrungen und Bildmaterial zur Verfügung gestellt haben, möchten wir für die umfangreiche und großzügige Unterstützung danken.

Weiterhin danken wir den privaten und öffentlichen Geldgebern, Förderern und Projektpartnern der Forschungsvorhaben, deren Ergebnisse zum Inhalt dieses Buches beigetragen haben. Hier wollen wir das EU-Projekt ThermCo (Thermal comfort in buildings with low-energy cooling) sowie die nationalen Projekte LowEx:MONITOR (Exergetisches Monitoring für Gebäude mit Erdwärmenutzung), LowEx:QS (Qualitätssicherung bei der Planung und Ausführung von Hydraulikkonzepten in niedrig-exergetischen Heiz- und Kühlsystemen) und PAkoGA (Prädiktive Algorithmen in der komplexen Gebäudeautomation) unter vielen anderen besonders hervorheben. Viele Messdaten wurden in den Demonstrationsgebäuden im Forschungsprogramm EnOB,

Forschung für Energieoptimiertes Bauen, von anderen Arbeitsgruppen erfasst und uns bereitgestellt.

Schließlich danken wir herzlich den Mitarbeitern in unseren Forschungsgruppen an der Hochschule Offenburg, am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE und an der Hochschule Biberach. Unser besonderer Dank gilt Dominik Wystrcil (Fraunhofer ISE) für die umfangreichen Zuarbeiten zur Betriebsführung.

Text, Zeichnungen, Datenanalysen und Berechnungen in diesem Buch wurden mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt. Dennoch können Fehler nie gänzlich ausgeschlossen werden. Zudem befinden sich Produkte, Verfahren und technische Regeln im Wandel. Für die Richtigkeit und Anwendbarkeit im konkreten Anwendungsfall kann daher keine Gewähr übernommen werden. Hinweise und Anregungen nehmen wir gerne auf.

Jens Pfafferott, Doreen Kalz und Roland Koenigsdorff
Offenburg, Freiburg und Biberach a. d. Riß im Juni 2015

Die Autoren

Prof. Dr. Jens Pfafferott, Hochschule Offenburg; Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Planung und Betrieb energietechnischer Anlagen, technische Gebäudeausrüstung, Heizen und Kühlen mit Umweltenergie

Dr. Doreen Kalz, Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme; Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Wärme- und Kälteversorgung von Nichtwohngebäuden, Gebäude-Performanceanalyse, dynamische Gebäude- und Anlagensimulation

Prof. Dr. Roland Koenigsdorff, Hochschule Biberach; Arbeits-/Forschungsschwerpunkte: Systemanalyse und Simulationstechnik, Geothermie, thermische Bauteilaktivierung, Monitoring und Betriebsoptimierung von Gebäuden, Anlagen und Liegenschaften

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort	5
1	Einleitung	11
2	Raumkonditionierung mit Bauteilaktivierung	19
2.1	Flächentemperiersysteme an und in der Decke	19
2.2	Raumflächenintegrierte bzw. eingebettete Heiz- und Kühlsysteme in der Normung	21
2.2.1	DIN EN 1264: Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung	22
2.2.2	DIN EN 15377: Planung von eingebetteten Flächenheiz- und -kühlsystemen mit Wasser als Arbeitsmedium	23
2.2.3	VDI 6034: Raumkühlflächen – Planung, Bau und Betrieb.	24
2.3	Definition von Bauteilaktivierung bzw. thermoaktiven Bauteilsystemen	24
2.4	Aufbau und Montage von thermoaktiven Bauteilsystemen	26
2.5	Qualitätssicherung auf der Baustelle und Abnahme	28
2.6	Einsatz von Kühlsegeln mit thermischer Aktivierung der Betondecke	29
2.7	Gebäude- und Energiekonzepte mit thermoaktiven Bauteilsystemen .	33
2.8	Wirkung der Bauteilaktivierung im Raum	34
2.8.1	Energiebilanz und zeitlicher Verlauf der Raumtemperatur	35
2.8.2	Vorauslegung einer Bauteilaktivierung am Beispiel eines Büro- und Seminargebäudes als Passivhaus	37
2.8.3	Bewertung betrieblicher Messungen im Sommer	40
2.9	Kombination mit anderen Übergabesystemen	42
3	Behaglichkeit und die Bewertung des thermischen Komforts	45
3.1	Thermischer Komfort in der Normung	45
3.2	Bewertung des thermischen Komforts	47
3.3	Erfahrungen aus Gebäuden mit unterschiedlichen Kühlkonzepten ...	49
3.4	Praxisbeispiel: Nutzerzufriedenheit mit dem thermischen Komfort in zwei Bürogebäuden mit Umweltenergiekonzepten.	57
3.4.1	Auswertung nach dem Komfortmodell	62
3.4.2	Empfinden der Raumtemperatur	65
3.4.3	Zufriedenheit mit der Raumtemperatur	66
3.4.4	Ermittlung der Komforttemperatur	66
4	Planung und Auslegung von thermoaktiven Bauteilsystemen zur Raumkonditionierung	71
4.1	Leistungsfähigkeit von thermoaktiven Bauteilsystemen	71

4.1.1	Wärmeübertragung zwischen einer temperierten Bauteiloberfläche und dem Raum	75
4.1.2	Verfahren zur Bestimmung der Heiz- und Kühlleistung im stationären Zustand	78
4.1.3	Heiz- und Kühlleistung unter dynamischen Bedingungen	82
4.2	Konstruktive und räumliche Randbedingungen	86
4.3	Leistungsanforderungen an thermoaktive Bauteilsysteme.	89
4.4	Hydraulische Planung	93
5	Wärme- und Kälteversorgung für thermoaktive Bauteilsysteme . .	99
5.1	Voraussetzungen für eine hohe Energieeffizienz von thermoaktiven Bauteilsystemen	99
5.2	Oberflächennahe Geothermie und Wärmepumpen.	101
5.3	Besonderheiten der System- und Anlagenplanung	103
6	Betriebsführung und Optimierung	105
6.1	Grenzen der Regelbarkeit der Bauteilaktivierung	105
6.2	Betriebsführungsstrategie	109
6.2.1	Regelung der Vorlauftemperatur	109
6.2.2	UBB-Verfahren	110
6.2.3	Erweiterung der konventionellen Betriebsführung	112
6.2.4	Neue Ansätze der Betriebsführung und prädiktive Regelung	113
6.3	Vergleichende Analyse hydraulischer Anlagen mit Flächentemperiersystemen	116
6.3.1	Struktur Clustering und Klassifizierung der hydraulischen Systeme . .	120
6.3.2	Dimensionierung der hydraulischen Anlagen	129
6.3.3	Betriebsführung hydraulischer Anlagen mit Flächentemperiersystemen	137
7	Ausgeführte Projekte.	151
	AURON.	154
	MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR CHEMIE.	156
	PHARMACEUTICALS	158
	FRAUNHOFER ISE.	160
	VIATRAFFIC	162
	INFOSYS.	164
	SOLITÄR im Quartier Unterlinden.	166
	KREISSPARKASSE GÖPPINGEN	168
8	Praxiserfahrungen	171
8.1	Feldmessungen und Messdatenauswertung	171
8.2	Gebäudesteckbriefe.	171
8.3	Erfolgsfaktoren und Anforderungen	177

8.3.1	Nutzung von Umweltenergie zum Heizen und Kühlen	177
8.3.2	Einsatz von Wärmepumpen und Kältemaschinen	180
8.3.3	Wärme- und Kälteverteilung im Gebäude	183
8.3.4	Wärme- und Kälteübergabe im Raum	186
8.3.5	Energieeffizienz im Gesamtkonzept	189
8.3.6	Thermischer Raumkomfort im Sommer und Winter	192
8.4	Fehlerquellen in Planung und Ausführung	194
8.5	Lessons learned	195
9	Energieeffiziente Kühlung in unterschiedlichen (europäischen)	
	Klimazonen	197
9.1	Ergebnisse einer Simulationsstudie	197
9.1.1	Gebäude- und Anlagensimulation	200
9.1.2	Analyse der Simulationsergebnisse	203
9.2	Evaluation auf Basis von Messdaten	204
9.2.1	Gebäude und Konzepte	205
9.2.2	Komfortanalyse	208
9.2.3	Bewertung der Kühlkonzepte	209
9.2.4	Zentrale Ergebnisse des Quervergleichs	214
9.3	Fazit	215
	Literaturverzeichnis	217
	Stichwortverzeichnis	225

