FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 2834

Elmar Bollin, Thomas Feldmann

Verbesserung von Energieeffizienz und Komfort im Gebäudebetrieb durch den Einsatz prädiktiver Betriebsverfahren (PräBV)

Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 2834

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2014

ISBN 978-3-8167-9287-1

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

Abschlussbericht

Verbesserung von Energieeffizienz und Komfort im Gebäudebetrieb durch den Einsatz prädiktiver Betriebsverfahren (PräBV)

Hochschule Offenburg
University of Applied Sciences

Institut für Energiesystemtechnik (INES)
Badstr. 24
77652 Offenburg

Projektleitung: Prof. Elmar Bollin
Bearbeitung: Thomas Feldmann

Sept. 2009 – März 2012

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung in Vertretung des Bundesministeriums für Vekehr, Bau und Stadtentwicklung gefördert.
(Aktenzeichen: SF – 10.08.18.7- 09.19 / II 3 – F20-09-1-039)
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor

Projektförderkennzeichen: 10.08.18.7-09.19

Projektträger:

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln aus dem Bundeshaushalt für Forschungsprojekte im Rahmen der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren".

Dieser Bericht wurde erstellt von:

Projektkoordination

Hochschule Offenburg
Projektleiter: Prof. Elmar Bollin
Projektbearbeiter:
Thomas Feldmann, Clemens Bruder, Benjamin Pfändler, Prof. Dr. Harald Wiedemann, Martin Schmelas

Projektbeteiligte
Hochschule Köln
Projektleiter: Prof. Dr. rer. nat. Wolfgang Schellong
Projektbearbeiter: Jose Soto Rodriguez

Firma FMSbase.com
Projektleiter: Siniko von Keitz
Projektbearbeiter: Guido Walther

HKW-Elektronik GmbH
Projektleiter: Jörg Schneider
Projektbearbeiter: Udo Volkhardt, Markus Hetzer, Klaus Metzner, Thomas Kowald

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Energiesituation in der Gebäudetechnik 1
1.2 Ziel des Forschungsprojekts Prädiktive Betriebsverfahren (PräBV) 2

2 Grundlagen 4

2.1 Klimatisierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden 4
2.1.1 Thermische Behaglichkeit 4
2.1.2 Heizlast und Kühllast 5
2.1.3 Übersicht über übliche Klimatisierungskonzepte in der Gebäudetechnik 6
2.2 Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) 8
2.2.1 Arten und Aufbau von Thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS) 8
2.2.2 Prinzip von Thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS) 10
2.2.3 Energiequellen, Energiebereitstellung bei Thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS) ... 10
2.2.4 Funktionsprinzip und dynamisches Verhalten der Betonkerntemperierung 11

3 Potenzialanalyse bzgl. Einsatz von prädiktiven Betriebsverfahren in der Gebäudetechnik 15

3.1 Steuer- und Regelungsverfahren im Bereich von Thermoaktiven Bauteilsystemen 15
3.2 Stand der Technik bzgl. prädiktiver Steuer- und Regelungsverfahren in der Gebäudeautomation 27
3.3 Beurteilung zum Potenzial von prädiktiven Betriebsverfahren in der Gebäudeautomation ... 30

4 Übertragung von Wetterprognosen für die Gebäudeautomation mit Langwellenfunktechnik und Entwicklung eines Verfahrens zur lokalen Optimierung 31

4.1 Einleitung 31
4.2 Entwicklung eines Verfahrens zur Korrektur von Wetterprognosen durch Vor-Ort-Messungen 34
4.2.1 Entwicklung des Algorithmus 34
4.2.2 Auswertung der Modell-Ansätze 37
4.2.3 Anwendung der Langzeitprognose auf interpolierte Prognose-Werte 39
4.3 Entwicklung eines Gerätes zum Empfang von Wetterprognosen per Langwelle, Integration von Wettermesstechnik für Vor-Ort-Messungen und Implementierung des Korrekturverfahrens 45
4.4 Entwicklung einer Leitungsgebundenen Schnittstelle zur Anbindung der Gebäudeautomation 47
4.5 Test der Prognosen und Evaluierung der Ergebnisse 48

5 Entwicklung eines selbstlernenden Algorithmus zur prädiktiven Heizungsregelung 50

6 Entwicklung von prädiktiven Algorithmen für thermisch aktive Bauteilsysteme (TABS) ... 58

6.1 Prinzip prädiktiver Verfahren 58

6.2 Entwicklungsumgebung 60
6.2.1 Software 60
6.2.2 Versuchsgebäude 61
6.3 Methoden 63
6.4 Variation der Vorlauftemperatur ohne Wetterprognose 63
6.5 Prädiktiver Algorithmus als Basis für selbstlernende Systeme 65
6.6 Optimaler prädiktiver Algorithmus 68
6.7 Sensitivitätsanalyse 71
6.8 Ergebnisse 73

7 Selbstlernende Optimierungsalgorithmen für die Steuerung von thermoaktiven Bauteilsystemen 79

7.1 TRNSYS 17 80
7.1.1 Mathematische Definition des Gebäudemodells 80
7.1.2 Modell der thermoaktiven Bauteilsysteme 83
7.1.3 TRNSYS Bedienungsoberfläche 88
7.1.4 TRNSYS Komponenten (TYPES) 90
7.1.5 Wetterdaten 91
7.1.6 Kopplung von TRNSYS mit MATLAB 91
7.2 Multiple Regression 92
7.2.1 OLS-Schätzung 93
7.2.2 Bestimmtheitsmaß 95
7.2.3 Korrelationskoeffizient 96
7.3 Künstliche Neuronale Netze (KNN) 97
7.3.1 Aufbau und Funktionsweise eines Künstlichen Neurons 97
7.3.2 Identität oder lineare Aktivierungsfunktion 99
7.3.3 Tangens Hyperbolicus Aktivierungsfunktion 100
7.3.4 Lernprozess der Backpropagation 100
7.3.5 Levenberg-Marquardt-Algorithmus 102
7.4 Entwicklung eines Algorithmus auf Basis von Multiplen Regression (MR) mit Hilfe der Programme MATLAB und TRNSYS 104
7.4.1 Testgebäude 104
7.4.2 Algorithmus auf Basis der Multiplen Regression 107
7.4.3 Erste Jahressimulation des Testgebäudes 111
7.4.4 Zweite Jahressimulation des Testgebäudes 120
7.4.5 Jahressimulation mit Änderung der inneren Lasten 123
7.4.6 Jahressimulation mit Änderung des Standortes/ äußeren Lasten 126
7.5 Entwicklung eines Algorithmus auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen mit Hilfe der Programme MATLAB und TRNSYS 129
7.5.1 Netztopologie 129
7.5.2 Training des Netzes 130
7.5.3 Algorithmus auf Basis von Künstlichen Neuronalen Netzen 130
7.5.4 Erste Jahressimulation des Testgebäudes 131
7.5.5 Jahressimulation mit Änderung der inneren Lasten 134

7.5.6 Jahressimulation mit Änderung des Standortes/äußeren Lasten 136

8 Anbindung an Gebäudeleittechnik 140

8.1 Anbindung der Hardware 140
8.2 Anbindung zur Gebäudeleittechnik 143
8.3 Integration der Fuzzy-Logik 144
8.4 Umsetzung Multiple lineare Regression 145
8.5 Zugriff auf historische Daten der Gebäudeleittechnik des Bundesministerium Gesundheit in Bonn 147

9 Fazit 148

9.1 Ausgangslage 148
9.2 Entwicklung prädiktiver Verfahren für die Gebäudeautomation 148
9.2.1 Entwicklungsumgebung 148
9.2.2 Prinzip der Energiebedarfsprognose 149
9.2.3 Selbstlernende Algorithmen 150
9.3 Wetterprognosen 151
9.3.1 Wetterprognosen mit Langwellenfunktechnik 151
9.3.2 Korrekturverfahren von Wetterprognosen durch Vor-Ort-Messungen 151
9.4 Umsetzung Prädiktiver Verfahren in der Gebäudeautomation 152

10 Literatur 153

11 Abbildungsverzeichnis 155

12 Tabellenverzeichnis 160