



Markus Arendt
Lars Haupt
André Kremonke
Alf Perschk
Clemens Felsmann

EnOB: KUEHA - Erprobung und Demonstration einer neuartigen Systemlösung zur sommerlichen Raumkühlung unter besonderer Berücksichtigung von Energieeffizienz und Praxistauglichkeit

- zweiter Zwischenbericht -

Dresden, April 2019

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) unter dem Förderkennzeichen 03ET1461A gefördert.

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie**

**aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Motivation	3
3	Projektvorstellung	9
4	Feldobjekte	13
4.1	Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkel-Bau“	13
4.1.1	Gebäudesteckbrief	13
4.1.2	Anlagensteckbrief	14
4.1.3	Monitoring	17
4.2	Feldtestobjekt „Einfamilienhaus“	20
4.2.1	Gebäudesteckbrief	20
4.2.2	Anlagensteckbrief	22
4.2.3	Monitoring	23
4.3	Pilotanlage „Walther-Hempel-Bau“	24
4.3.1	Gebäudesteckbrief	24
4.3.2	Anlagensteckbrief	27
4.3.3	Monitoring	27
4.4	Feldtestanlage „Fröttstädt“	30
4.4.1	Gebäudesteckbrief	30
4.4.2	Anlagensteckbrief	31
4.4.3	Monitoring	33
4.5	Vergleichsanlage „BZW“	35
4.5.1	Gebäudesteckbrief	35
4.5.2	Anlagensteckbrief	35
4.5.3	Monitoring	36
4.6	Feldtestanlage „Dreiseitenhof“	39
4.6.1	Gebäudesteckbrief	40
4.6.2	Anlagensteckbrief	42
4.6.3	Monitoring	43
5	Messtechnische Untersuchungen	45
5.1	Messdatenerfassung (OEP-MES)	45
5.1.1	Sensoren und Aktoren	47
5.1.2	Post-processing	49
5.1.3	Visualisierung	49
5.1.4	Import- und Exportfunktionalitäten	50
5.1.5	Zugriffsmöglichkeiten und Zugriffsbeschränkungen	52
5.2	Bewertung der thermischen Situation im Walther-Hempel-Bau	55
5.2.1	Ausgangssituation in den Aufenthaltsräumen des 2.OG	55
5.2.1.1	Bewertung des Temperatur-Messverfahrens	58
5.2.2	Mögliche und tatsächliche Ursachen für die thermische Situation	63
5.2.2.1	Eingeschränkt wirksame Verschattungseinrichtung	64
5.2.2.2	Ungünstiges Nutzerverhalten	65
5.2.2.3	Wärmeinträge über Transmission	65

5.2.2.4	Wärmeeinträge über freie Lüftung	67
5.2.2.5	Wärmeeinträge über abweichende Nutzung	67
5.2.3	Zusammenfassung	68
5.3	Kühlen über Freie Heizflächen im Walther-Hempel-Bau - Status	68
5.4	Ergebnisse von Pilotuntersuchungen zu grundsätzlichen Effekten	70
5.4.1	Absenkung der Raumtemperatur	70
5.4.2	Heizflächendurchströmung	77
5.4.3	Heizflächenumströmung	84
5.4.3.1	Untersuchungen in einem Klimaraum	84
5.4.3.2	Untersuchungen in einem Büroraum	86
5.4.4	Tauwasservermeidung	90
5.5	Möglichkeiten zur Unterstützung der Wirkung Freier Heizflächen im Kühlfall	96
5.5.1	Unterstützung durch Nachtlüftung	96
5.5.2	Unterstützung durch BoostAdapt	98
5.6	Wärmeauskopplung Erdreich	100
6	Numerische Untersuchungen	103
6.1	Verwendete Simulationswerkzeuge	103
6.1.1	TRNSYS-TUD	104
6.1.2	POLYSUN	107
6.1.3	GEBSIMU, Solar-Computer, mh-Software	107
6.2	Erstellte Simulationsmodelle	108
6.2.1	Anlagen und Gebäudemodell der Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkelbau“ (TRNSYS-TUD)	108
6.2.2	Gebäudemodell der Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkelbau“ (GEBSIMU - SolarComputer)	109
6.2.3	Gebäudemodell der Feldtestanlage „Fröttstädt“ (mh-Software)	109
6.2.4	Anlagen und Gebäudemodell der Feldtestanlage „Fröttstädt“ (TRNSYS-TUD)	110
6.2.5	Modell der Wärme- und Kälteerzeugungsanlage der Feldtestanlage „Fröttstädt“ (POLYSUN)	112
7	Analytische Untersuchungen	115
7.1	BHKW- Fröttstädt	115
7.2	Einsatz von Photobioreaktoren	116
7.3	Ausblick-Heizkörper- und Kaltluftseemodell	117
8	Regelung und Steuerung	119
8.1	Selbsttätiges Umschalten zwischen Heiz- und Kühlbetrieb	119
8.2	Gewährleistung einer thermisch wirksamen Heizflächendurchströmung	121
8.3	Vermeidung eines gleichzeitigen Heiz- und Kühlbetriebes im Raum	122
8.4	Vermeidung einer zu starken Raumauskühlung und/oder einer Beeinträchtigung der Thermischen Behaglichkeit	122
8.5	Gewährleistung eines möglichst durchgängigen Kühlbetriebes	124
8.5.1	Anforderungen an die Kältebereitstellung	124
8.5.2	Anforderungen an die Raumtemperaturregeleinrichtung	125
8.6	Vermeidung einer Taupunktunterschreitung	126

8.7	Regelungs- und Steuerungskonzept	128
9	Zusammenfassung	131

Literatur

- [1] Abdel Fattah, A. ; Buchheim, A. ; Kremonke, A. ; Perschk, A. ; Werdin, H. ; Felsmann, C.: Dezentrales Pumpensystem - Felderprobung / TU Dresden, Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung. 2012. – Forschungsbericht. BMWi 0327486A
- [2] Abdel Fattah, A. ; Kremonke, A. ; Perschk, A. ; Richter, W.: Entwicklung und Einsatz energiesparender dezentraler Heizungspumpen - Systemanalyse der Heizungsanlage / TU Dresden, Institut für Thermodynamik und TGA. 2005. – Forschungsbericht. BMWi 0327294A
- [3] Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH: *Das Almemo-System*. – http://www.ahlborn.com/de_DE/almemo (aufgerufen am 14.02.2018)
- [4] Arbonia Management AG: *Objektdatenblatt: Deckensegel*. 2016
- [5] Arbonia Management AG: *Objektdatenblatt: Deckenstrahlprofile-Klix*. 2016
- [6] Arendt, Markus ; Haupt, Lars ; Kremonke, André ; Perschk, Alf ; Wiemann, Stephan ; Felsmann, Clemens: Entwicklung eines vernetzten Systems zur Erfassung, Visualisierung und Auswertung von Messdaten sowie zur Ansteuerung von Aktoren - Teil 1. In: *GI – Gebäudetechnik in Wissenschaft & Praxis* 139 (2018), Nr. Heft 2
- [7] ASHRAE: *Standard 140-2017 - Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs (ANSI Approved)*
- [8] Blümel, Andreas: *Sommerliche Raumkühlung - Betrachtungen zur Kühllast von Gebäuden*. TU Dresden, Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung. 2019. – Studienarbeit
- [9] Buderus: *Handbuch für Heizungstechnik: Arbeitshilfe für die tägliche Praxis*. Buderus, 2002. – Beuth Verlag GmbH
- [10] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). – <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Home/home.html> (aufgerufen am 06.03.2018)
- [11] Campus Navigator TU Dresden. – <https://navigator.tu-dresden.de/> (aufgerufen am 16.04.2019)
- [12] Der Radeburger. – <http://www.rf-fassaden.de/?lang=en&mod=references&id=17> (aufgerufen am 17.03.2018)
- [13] Deutsches Institut für Normung: *Energetische Bewertung von Gebäuden - Energiebedarf für Heizung und Kühlung, Innentemperaturen sowie fühlbare und latente Heizlasten - Teil 1: Berechnungsverfahren (ISO 52016-1:2017)*, April 2018. – Beuth Verlag GmbH
- [14] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN EN 12831 : Heizungsanlagen in Gebäuden. Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast*. August 2003
- [15] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN EN ISO 7730: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit*. 2006
- [16] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN EN 12831 : Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast*, Aug. 2003
- [17] DWD - Deutscher Wetterdienst: *Die Städtische Wärmeinsel*. – https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadt/pl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html (aufgerufen am 05.03.2018)
- [18] EBM-Papst: ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG. – <https://www.ebmpapst.com/de/> (aufgerufen am 29.04.2019)
- [19] Felsmann, C.: Modell des langwelligen Strahlungsaustauschs und Idealer Regler für das TRNSYS-Gebäudemodul TYPE 56 / ITT-TU Dresden. 1997. – Forschungsbericht

- [20] Felsmann, C.: *Ein Beitrag zur Optimierung der Betriebsweise heizungs- und raumluftechnischer Anlagen*, Technische Universität Dresden, Diss., 2002
- [21] GFR - Gesellschaft für Regelungstechnik und Energieeinsparung mbH: *WEBVISION 5*. – <https://www.gfr.de/produkte/gebaeudemanagement-webvision-5/> (aufgerufen am 16.04.2019)
- [22] Glasbau im Bestand - Klimaanpassung und Energiegewinnung. – <https://www.detail.de/artikel/glasbau-im-bestand-klimaanpassung-und-energiegewinnung-12267/> (aufgerufen am 17.03.2018)
- [23] Glück, B.: *Strahlungsheizung - Theorie und Praxis*. Berlin : VEB Verlag für Bauwesen, 1981
- [24] Glück, B.: *Zustands- und Stoffwerte; Verbrennungsrechnung*. Berlin : Verlag für Bauwesen, 1991
- [25] Gritzki, R.: *Bestimmung der Effektivität nutzerbedingter Fensterlüftung mit Hilfe numerischer Simulationsverfahren*, Technische Universität Dresden, Manuskript, Diss., 2001
- [26] Guzek, Gero: *Zur Energieeinsparung in Heizungsanlagen durch den hydraulischen Abgleich*. Verlag der Wissenschaften GmbH, 2009. – ISBN 978-3-941298-59-0
- [27] Highsoft: *Highcharts*. – <https://www.highcharts.com/about> (aufgerufen am 14.02.2018)
- [28] IBA Hamburg GmbH: *Smart Material Houses - BIQ*. – <https://www.iba-hamburg.de/projekte/bauausstellung-in-der-bauausstellung/smart-material-houses/biq/projekt/biq.html> (aufgerufen am 12.04.2019)
- [29] INVENSOR GmbH: *INVENSOR LTC 10E PLUS*. – <https://invensor.com/produkte/invensor-ltc-10-e-plus/> (aufgerufen am 19.04.2019)
- [30] JeeLabs. – <https://www.digitalsmarties.net/products/jeelink> (aufgerufen am 22.04.2018)
- [31] Kaden, Andreas: *Sommerliche Raumkühlung - Möglichkeiten des Einsatzes von Photobioreaktoren*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2019
- [32] Kermi GmbH. – www.kermi.de(aufgerufen am 06.03.2018)
- [33] KERMI GmbH: *Technik - therm x2 - Flachheizkörper*. Produktunterlage. 2018
- [34] Kornmacher, Manuel: *Sommerliche Raumkühlung - Untersuchungen in einem Büro-/Verwaltungsgebäude*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2018
- [35] Kremonke, A.: *Wärmeabgabe teilbeheizter Fußböden*, Diss., 2000. – Institut für Thermodynamik und TGA, TU Dresden
- [36] Kremonke, A. ; Perschk, A. ; Franke, F.: *Analyse Informatikgebäude / TU Dresden, Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung*. 2019. – Forschungsbericht. Auftraggeber: Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien und Baumanagement NL Dresden II
- [37] Kremonke, A. ; Richter, W.: *Grundlage für die weiter Novellierung der Wärmeschutzverordnung - Einbezug von Wärmepumpen und Blockheizkraftwerken (BHKW) in die Rechenmethode zur Ermittlung des Energiebedarfs Teil1: Energetische Kennwerte von Heizungsanlagen für die Wärmeübergabe im Raum / TU Dresden Forschungsbericht*. 1997. – Forschungsbericht
- [38] Kremonke, Lisa M.: *Entwicklung und Erprobung eines Sensors zur Erfassung der Luft- und Empfindungstemperatur*. 2018. – Komplexe Lernleistung im Fach Physik (KOL); Rudolf Hildebrand Schule - Gymnasium Markkleeberg

- [39] Liu, Ge: *Untersuchung der Betriebsweise einer Kompressionskältemaschine in Verbindung mit einem Kältespeicher am Beispiel des Gebäudekomplexes Zellescher Weg (BZW)*, TU Dresden, Großer Beleg, 2017
- [40] mh-Software GmbH: mh-Software. – <https://www.mh-software.de> (aufgerufen am 26.04.2019)
- [41] Ohra Energie GmbH. – www.ohraenergie.de(aufgerufen am 06.03.2018)
- [42] Perschk, A.: *Gebäude-Anlagen-Simulation unter der Berücksichtigung der hygrischen Prozesse in den Gebäudewänden*, TU Dresden, Diss., 2000
- [43] Perschk, A.: Gebäude und Anlagensimulation - Ein "Dresdner Modell". In: *Gesundheitsingenieur* (2010), August, Nr. 4
- [44] Raspberry-Pi-Stiftung: *Raspberry Pi 3 Model B+*. – <https://static.raspberrypi.org/files/product-briefs/Raspberry-Pi-Model-Bplus-Product-Brief.pdf> (aufgerufen am 29.04.2019)
- [45] Richter, W.: *Handbuch der thermischen Behaglichkeit - Sommerlicher Kühlbetrieb* -. Schriftenreihen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2007. – ISBN 978-3-88261-068-0
- [46] Rogall, A. ; Pampuch, M. ; Horn, D.: *Untersuchung vorhandener Heizflächen wie Radiatoren, Konvektoren und Plattenheizkörper auf ihre Verwendbarkeit zur sommerlichen Kühlung im Wohnungsbau.* / Bau- und Wohnungsforschung: Band F 2558. Fraunhofer IRB Verlag,. 2011. – Forschungsbericht
- [47] Rouvel, Lothar: *Curriculum Vitae*. – http://www.gebsimu.de/GEBSIMU_5.htm (aufgerufen am 27.04.2019)
- [48] Rouvel, Lothar: *GEBSIMU*. – <http://www.gebsimu.de/> (aufgerufen am 16.04.2019)
- [49] Sanflex, Fa.: *Produktinformation*. Fa. Sanflex
- [50] Scholwin, F. ; Braune, V.: *Perspektive für den Biogasanlagenbestand*. In: *e/m/w - Energie.Markt.Wettbewerb* (2019). – energate gmbh
- [51] Seidel, P. ; Gritzki, R. ; Haupt, J. ; Rösler, M.: *Sommerliche Raumkühlung im Wohnungsbau mittels kombinierter Heiz- Kühlsysteme und gleitend nicht normierter Raumtemperaturen (Temperierungseffekt)* / TU Dresden, Professur für Gebäudenergie-technik und Wärmeversorgung. 2013. – Forschungsbericht. BMWI 0327483A
- [52] Seifert, J.: *Zum Einfluss von Luftströmungen auf die thermischen und aerodynamischen Verhältnisse in und an Gebäuden*, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität Dresden, Diss., Oktober 2005
- [53] Seifert, J.: *Ein Beitrag zur Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotentiale von Regelverfahren in der Heizungstechnik*. TUPress ISBN: 9783941298545, 2009
- [54] Seifert, J. ; Oschatz, B. ; Schinke, L. ; Buchheim, A. ; Paulick, S. ; Beyer, M. ; Mailach, B.: *Instationäre, gekoppelte, energetische und wärmephysiologische Bewertung von Regelungsstrategien für HLK-Systeme* / TU-Dresden. 2016. – Forschungsbericht
- [55] Shang, Yulong: *Betrachtungen zu Kühllasten und sommerlichem Wärmeschutz in Gebäuden*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2018
- [56] SIB-Dresden NL II. – https://www.sib.sachsen.de/de/organisation/standorte/dresden_ii/ (aufgerufen am 06.03.2018)

- [57] Siemens Building Technologies:
DESIGO-Gebäudeautomation – flexibel und energieeffizient. –
<https://www.siemens.de/buildingtechnologies/de/de/gebaeudeautomation-hlk/gebaeudeautomationssystem-desigo/seiten/gebaeudeautomationssystem-desigo.aspx>
(aufgerufen am 14.02.2018)
- [58] Solar-Computer GmbH. –
<https://www.solar-computer.de> (aufgerufen am 14.02.2018)
- [59] Tanaka, Tatsuaki: *High Efficiency Small House in Musashino City, Tokyo.* (2017)
- [60] Taubert, Felix: *Sommerliche Raumkühlung - Entwicklung eines Gebäude- und Anlagenmodells mit TRNSYS.* Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2019
- [61] Technische Universität Dresden: *Campus Firewall.* 2018. – <https://tu-dresden.de/zi/dienste/service-katalog/arbeitsumgebung/firewall> (aufgerufen am 14.02.2018)
- [62] TechnoLine. –
www.technoline-berlin.de (aufgerufen am 22.04.2018)
- [63] TU Dresden, Prof. f. Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung:
EnOB: KUEHA - Erprobung und Demonstration einer neuartigen Systemlösung zur sommerlichen Raumkühlung unter besonderer Berücksichtigung von Energieeffizienz und Praxistauglichkeit. – Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen 03ET1461A)
www.tu-dresden.de/mw/kueha
- [64] Vaillant GmbH: *Betriebsanleitung: geoTHERM plus; Wärmepumpe mit zusätzlicher Kühlfunktion,* Juni 2011
- [65] Vela Solaris: *POLYSUN.* –
https://www.velasolaris.com/?gclid=CjwKCAjwYXmBRAOEiwAYsy13MShi_KdAqvIS1Zp-HZal0M_zC8LUTJqG-K0en-4ihNn9nq7mgOTuxoCEvsQAvD_BwE (aufgerufen am 25.04.2019)
- [66] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 6007 Blatt 2: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Fenstermodell,* März 2012. – Beuth Verlag GmbH
- [67] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 2067 Blatt 10: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Energiebedarf für Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten,* September 2013
- [68] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 2078: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation).* 2015. – Beuth Verlag GmbH
- [69] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 6007 Blatt 1: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Raummodell,* Juni 2015. – Beuth Verlag GmbH
- [70] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 6007 Blatt 3: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Modell der solaren Einstrahlung,* Juni 2015. – Beuth Verlag GmbH
- [71] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 6020: Anforderungen an thermisch-energetische Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation,* September 2016. – Beuth Verlag GmbH
- [72] Xu, He: *Energetische Untersuchung eines Verwaltungsgebäudes.* Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2019