



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

- dritter Zwischenbericht -

Dresden, April 2020



Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projektpartner:



ohra energie

Gas und Strom für die Region.

STAATSBETRIEB IMMOBILIEN-
UND BAUMANAGEMENT
SIB



Freistaat
SACHSEN

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	11
4	Feldobjekte	15
4.1	Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkel-Bau“	15
4.1.1	Gebäudesteckbrief	15
4.1.2	Anlagensteckbrief	16
4.1.3	Monitoring	19
4.2	Feldtestobjekt „Einfamilienhaus“	22
4.2.1	Gebäudesteckbrief	22
4.2.2	Anlagensteckbrief	24
4.2.3	Monitoring	25
4.3	Pilotanlage „Walther-Hempel-Bau“	26
4.3.1	Gebäudesteckbrief	26
4.3.2	Anlagensteckbrief	29
4.3.3	Monitoring	29
4.4	Feldtestanlage „Fröttstädt“	32
4.4.1	Gebäudesteckbrief	32
4.4.2	Anlagensteckbrief	33
4.4.3	Monitoring	35
4.5	Vergleichsanlage „BZW“	37
4.5.1	Gebäudesteckbrief	37
4.5.2	Anlagensteckbrief	37
4.5.3	Monitoring	38
4.6	Feldtestanlage „Dreiseitenhof“	41
4.6.1	Gebäudesteckbrief	42
4.6.2	Anlagensteckbrief	44
4.6.3	Monitoring	45
5	Messtechnische Untersuchungen	47
5.1	Messdatenerfassung (OEP-MES)	47
5.1.1	Sensoren und Aktoren	49
5.1.2	Post-processing	51
5.1.3	Visualisierung	52
5.1.4	Auswertung	53
5.1.5	Import- und Exportfunktionalitäten	55
5.1.6	Zugriffsmöglichkeiten und Zugriffsbeschränkungen	56
5.2	Bewertung der thermischen Situation im Walther-Hempel-Bau	59
5.2.1	Ausgangssituation in den Aufenthaltsräumen des 2.OG	59
5.2.1.1	Bewertung des Temperatur-Messverfahrens	62
5.2.2	Mögliche und tatsächliche Ursachen für die thermische Situation	68
5.2.2.1	Eingeschränkt wirksame Verschattungseinrichtung	68
5.2.2.2	Ungünstiges Nutzerverhalten	69

5.2.2.3	Wärmeeinträge über Transmission	70
5.2.2.4	Wärmeeinträge über freie Lüftung	71
5.2.2.5	Wärmeeinträge über abweichende Nutzung	71
5.2.3	Zusammenfassung	72
5.3	Kühlen über Freie Heizflächen im Walther-Hempel-Bau - Status	72
5.4	Untersuchungsergebnisse zu grundsätzlichen Effekten	74
5.4.1	Absenkung der Raumtemperatur	74
5.4.1.1	Feldtestanlage „Fröttstädt“ Pilotversuche in der Kühlperiode 2018	74
5.4.1.2	Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkel-Bau“- Ergebnisse aus der Kühlperiode 2018	78
5.4.1.3	Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkel-Bau“- Ergebnisse aus der Kühlperiode 2019	80
5.4.1.4	Zusammenfassung	83
5.4.2	Heizflächendurchströmung	86
5.4.3	Heizflächenumströmung	93
5.4.3.1	Untersuchungen in einem Klimaraum	93
5.4.3.2	Untersuchungen in einem Büroraum	96
5.4.4	Tauwasservermeidung	99
5.5	Möglichkeiten zur Unterstützung der Wirkung Freier Heizflächen im Kühlfall	106
5.5.1	Unterstützung durch Nachtlüftung	106
5.5.2	Unterstützung durch BoostAdapt	108
5.6	Betriebserfahrungen bezüglich der Wärme- und Kältebereitstellung	110
5.6.1	Feldtestanlage „Fröttstädt“	111
5.6.2	Feldtestobjekt „Einfamilienhaus“ - Wärmeauskopplung Erdreich	116
6	Numerische Untersuchungen	119
6.1	Verwendete Simulationswerkzeuge	119
6.1.1	TRNSYS-TUD	120
6.1.2	POLYSUN	123
6.1.3	GEBSIMU, Solar-Computer, mh-Software	123
6.2	Erstellte Simulationsmodelle	124
6.2.1	Anlagen und Gebäudemodell der Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkelbau“ (TRNSYS-TUD)	124
6.2.2	Gebäudemodell der Pilot- und Demonstrationsanlage „Merkelbau“(GEBSIMU - SolarComputer)	125
6.2.3	Gebäudemodell der Feldtestanlage „Fröttstädt“ (mh-Software)	125
6.2.4	Anlagen und Gebäudemodell der Feldtestanlage „Fröttstädt“ (TRNSYS-TUD)	126
6.2.5	Modell der Wärme- und Kälteerzeugungsanlage der Feldtestanlage „Fröttstädt“ (POLYSUN)	128
6.3	Ermittlung des Raumtemperatur-Absenkpentials bei einer Kühlung über Freie Heizflächen	130
7	Analytische Untersuchungen	135
7.1	BHKW- Fröttstädt	135
7.2	Einsatz von Photobioreaktoren	136

7.3	Ausblick-Heizkörper- und Kaltluftseemodell	137
8	Regelung und Steuerung	139
8.1	Selbsttätiges Umschalten zwischen Heiz- und Kühlbetrieb	139
8.2	Gewährleistung einer thermisch wirksamen Heizflächendurchströmung	141
8.3	Vermeidung eines gleichzeitigen Heiz- und Kühlbetriebes im Raum . .	142
8.4	Vermeidung einer zu starken Raumauskühlung und/oder einer Beeinträchtigung der Thermischen Behaglichkeit	142
8.5	Gewährleistung eines möglichst durchgängigen Kühlbetriebes	144
	8.5.1 Anforderungen an die Kältebereitstellung	144
	8.5.2 Anforderungen an die Raumtemperaturregeleinrichtung	145
8.6	Vermeidung einer Taupunktunterschreitung	146
8.7	Regelungs- und Steuerungskonzept	148
9	Zusammenfassung	151

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] an der Heiden, M.; Muthers, S.; Niemann, H.; Buchholz, U.; Grabenhenrich, L.; Matzarakis, A.: *Schätzung hitzebedingter Todesfälle in Deutschland zwischen 2001 und 2015*. – Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz Ausgabe 5/2019
- [5] Arbonia Management AG: *Objektdatenblatt: Deckensegel*. 2016
- [6] Arbonia Management AG: *Objektdatenblatt: Deckenstrahlprofile-Klix*. 2016
- [7] 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
- [8] ASHRAE: *Standard 140-2017 - Standard Method of Test for the Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs (ANSI Approved)*
- [9] Bild-Online: *Bis zu 10 Grad Unterschied in Leipziger Stadtteilen*. – <https://www.bild.de/regional/leipzig/leipzig-news/leipzig-bis-zu-10-grad-unterschied-mitten-in-der-stadt-63445980,la=de.bild.html> (aufgerufen am 03.02.2020)
- [10] Blümel, Andreas: *Sommerliche Raumkühlung - Betrachtungen zur Kühllast von Gebäuden*. TU Dresden, Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung. 2019. – Studienarbeit
- [11] Buderus: *Handbuch für Heizungstechnik: Arbeitshilfe für die tägliche Praxis*. Buderus, 2002. – Beuth Verlag GmbH
- [12] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). – <http://www.bmwi.de/Navigation/DE/Home/home.html>(aufgerufen am 06.03.2018)
- [13] Campus Navigator TU Dresden. – <https://navigator.tu-dresden.de/> (aufgerufen am 16.04.2019)
- [14] Der Radeburger. – <http://www.rf-fassaden.de/?lang=en&mod=references&id=17> (aufgerufen am 17.03.2018)
- [15] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN EN 12831 : Heizungsanlagen in Gebäuden - Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast*. 2003. – Beuth Verlag GmbH
- [16] 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. – Beuth Verlag GmbH
- [17] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN 277: Grundflächen und Rauminhalte im Bauwesen - Teil 1: Hochbau*. 2016. – Beuth Verlag GmbH
- [18] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: *DIN EN ISO 52016-1: 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
- [19] DWD - Deutscher Wetterdienst. – www.dwd.de (aufgerufen am 15.04.2020)

- [20] DWD - Deutscher Wetterdienst: *Die Städtische Wärmeinsel*. – https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaforschung/klimawirk/stadtpl/projekt_waermeinseln/projekt_waermeinseln_node.html (aufgerufen am 05.03.2018)
- [21] EBM-Papst: ebm-papst Mulfingen GmbH & Co. KG. – <https://www.ebmpapst.com/de/> (aufgerufen am 29.04.2019)
- [22] Felsmann, C.: Modell des langwelligen Strahlungsaustauschs und Idealer Regler für das TRNSYS-Gebüdemodul TYPE 56 / ITT-TU Dresden. 1997. – Forschungsbericht
- [23] Felsmann, C.: *Ein Beitrag zur Optimierung der Betriebsweise heizungs- und raumlufttechnischer Anlagen*, Technische Universität Dresden, Diss., 2002
- [24] GFR - Gesellschaft für Regelungstechnik und Energieeinsparung mbH: *WEBVISION 5*. – <https://www.gfr.de/produkte/gebäudemanagement-webvision-5/> (aufgerufen am 16.04.2019)
- [25] Glasbau im Bestand - Klimaanpassung und Energiegewinnung. – <https://www.detail.de/artikel/glasbau-im-bestand-klimaanpassung-und-energiegewinnung-12267/> (aufgerufen am 17.03.2018)
- [26] Glück, B.: *Strahlungsheizung - Theorie und Praxis*. Berlin : VEB Verlag für Bauwesen, 1981
- [27] Glück, B.: *Zustands- und Stoffwerte; Verbrennungsrechnung*. Berlin : Verlag für Bauwesen, 1991
- [28] Gritzki, R.: *Bestimmung der Effektivität nutzerbedingter Fensterlüftung mit Hilfe numerischer Simulationsverfahren*, Technische Universität Dresden, Manuskript, Diss., 2001
- [29] Guzek, Gero: *Zur Energieeinsparung in Heizungsanlagen durch den hydraulischen Abgleich*. Verlag der Wissenschaften GmbH, 2009. – ISBN 978-3-941298-59-0
- [30] Highsoft: *Highcharts*. – <https://www.highcharts.com/about> (aufgerufen am 14.02.2018)
- [31] 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)
- [32] INVENSOR GmbH: *INVENSOR LTC 10E PLUS*. – <https://invensor.com/produkte/invensor-ltc-10-e-plus/> (aufgerufen am 19.04.2019)
- [33] JeeLabs. – <https://www.digitalsmarties.net/products/jeelink> (aufgerufen am 22.04.2018)
- [34] Kaden, Andreas: *Sommerliche Raumkühlung - Möglichkeiten des Einsatzes von Photobioreaktoren*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2019
- [35] Kermi GmbH. – www.kermi.de (aufgerufen am 06.03.2018)
- [36] KERMI GmbH: *Technik - therm x2 - Flachheizkörper*. Produktunterlage. 2018
- [37] Kornmacher, Manuel: *Sommerliche Raumkühlung - Untersuchungen in einem Büro-/Verwaltungsgebäude*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2018
- [38] Kremonke, A.: *Wärmeabgabe teilbeheizter Fußböden*, Diss., 2000. – Institut für Thermodynamik und TGA, TU Dresden
- [39] 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

- [40] 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
- [41] 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
- [42] Liu, Ge: *Untersuchung der Betriebsweise einer Kompressionskältemaschine in Verbindung mit einem Kältespeicher am Beispiel des Gebäudekomplexes Zellescher Weg (BZW)*, TU Dresden, Großer Beleg, 2017
- [43] mh-Software GmbH: mh-Software. – <https://www.mh-software.de> (aufgerufen am 26.04.2019)
- [44] Ohra Energie GmbH. – www.ohraenergie.de(aufgerufen am 06.03.2018)
- [45] Perschk, A.: *Gebäude-Anlagen-Simulation unter der Berücksichtigung der hygrischen Prozesse in den Gebäudewänden*, TU Dresden, Diss., 2000
- [46] Perschk, A.: Gebäude und Anlagensimulation - Ein "Dresdner Modell". In: *Gesundheitsingenieur* (2010), August, Nr. 4
- [47] 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)
- [48] Richter, W.: *Handbuch der thermischen Behaglichkeit - Sommerlicher Kühlbetrieb* -. Schriftenreihen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, 2007. – ISBN 978-3-88261-068-0
- [49] Robert Koch-Institut: *Epidemiologisches Bulletin Nr. 23*. – ISSN (Online) 2569-5266, 6. Juni 2019
- [50] Robine, J-M.; Cheung, S. L.; Le Roy, S.; van Oyen, H.; Herrmann, F.R.: *Report on excess mortality in Europe during summer 2003 (EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114)*. – 28 February 2007
- [51] 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
- [52] Rouvel, Lothar: *Curriculum Vitae*. – http://www.gebsimu.de/GEBSIMU_5.htm (aufgerufen am 27.04.2019)
- [53] Rouvel, Lothar: *GEBSIMU*. – <http://www.gebsimu.de/> (aufgerufen am 16.04.2019)
- [54] Sanflex, Fa.: *Produktinformation*. Fa. Sanflex
- [55] Scholwin, F. ; Braune, V.: Perspektive für den Biogasanlagenbestand. In: *e/m/w - Energie.Markt.Wettbewerb* (2019). – energate gmbh
- [56] 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
- [57] 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

- [58] Seifert, J.: *Ein Beitrag zur Einschätzung der energetischen und exergetischen Einsparpotentiale von Regelverfahren in der Heizungstechnik*. TUPress ISBN: 9783941298545, 2009
- [59] 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
- [60] Shang, Yulong: *Betrachtungen zu Kühllasten und sommerlichem Wärmeschutz in Gebäuden*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2018
- [61] SIB-Dresden NL II. – https://www.sib.sachsen.de/de/organisation/standorte/dresden_ii/ (aufgerufen am 06.03.2018)
- [62] 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)
- [63] Solar-Computer GmbH. – <https://www.solar-computer.de> (aufgerufen am 14.02.2018)
- [64] Tanaka, Tatsuaki: *High Efficiency Small House in Musashino City, Tokyo*. (2017)
- [65] Taubert, Felix: *Sommerliche Raumkühlung - Entwicklung eines Gebäude- und Anlagenmodells mit TRNSYS*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2019
- [66] Technische Universität Dresden: *Campus Firewall*. 2018. – <https://tu-dresden.de/zih/dienste/service-katalog/arbeitsumgebung/firewall> (aufgerufen am 14.02.2018)
- [67] TechnoLine. – www.technoline-berlin.de (aufgerufen am 22.04.2018)
- [68] 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
- [69] Vaillant GmbH: *Betriebsanleitung: geoTHERM plus; Wärmepumpe mit zusätzlicher Kühlfunktion*, Juni 2011
- [70] Vela Solaris: *POLYSUN*. – https://www.velasolaris.com/?gclid=CjwKCAjwYXmBRAOEiwAYsy13MSHi_KdAqvIS1Zp-HZal0M_zC8LUTJqG-K0en-4ihNn9nq7mgOTuxoCEvsQAvD_BwE (aufgerufen am 25.04.2019)
- [71] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 6007 Blatt 2: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Fenstermodell*, März 2012. – Beuth Verlag GmbH
- [72] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 2067 Blatt 10: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Energiebedarf für Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten*, September 2013
- [73] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 2078: Berechnung der thermischen Lasten und Raumtemperaturen (Auslegung Kühllast und Jahressimulation)*. 2015. – Beuth Verlag GmbH
- [74] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 6007 Blatt 1: Berechnung des instationären thermischen Verhaltens von Räumen und Gebäuden - Raummodell*, Juni 2015. – Beuth Verlag GmbH
- [75] 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

- [76] Verein Deutscher Ingenieure: *VDI 6020: Anforderungen an thermisch-energetische Rechenverfahren zur Gebäude- und Anlagensimulation*, September 2016. – Beuth Verlag GmbH
- [77] Xu, He: *Energetische Untersuchung eines Verwaltungsgebäudes*. Professur für Gebäudeenergie-technik und Wärmeversorgung, TU Dresden, Diplomarbeit, 2019