

Endbericht

**Dynamisch thermisch-hygrisches Verhalten von Massivbaukonstruktionen:
Entwicklung eines Wärmespeicherfähigkeitsindex für Gebäude aus Mauerwerk und thermisch
aktivierbare Massivholzelemente**

**Aktenzeichen:
SWD-10.08.18.7-15.26**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-15.26)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.



Projektlaufzeit: 01.08.2015 – 30.04.2018

Zuwendungsempfänger:

Technische Universität Kaiserslautern
Fachbereich Bauingenieurwesen
Fachgebiet Bauphysik / Energetische Gebäudeoptimierung
Paul-Ehrlich-Straße
Gebäude 29
D-67663 Kaiserslautern

Projektleitung: Prof. Dr. Oliver Kornadt (TUK)
Jun.-Prof. Dr. Svenja Carrigan (TUK)
Dipl.-Ing. (BA) Tim Schöndube, M.Sc. (TUK)

Weitere Bearbeiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter (TUM) – Erstellung der Kap. 5.2.4 & 9
Klaus Mindrup, M.Sc. (TUM) – Erstellung der Kap. 5.2.4 & 9
Gerhard Knieriemen (JUWÖ Poroton)
Dipl.-Ing. Franz Loderer (Xella)
Dipl.-Ing. Juliane Nisse (Arge Mauerziegel)
Dipl.-Ing. Hans R. Peters (Mein Ziegelhaus)
Saif Rashid, M.Sc. (TUK)
Dipl.-Forstw. Christof Richter (Binderholz)
Dipl.-Ing. Torsten Schoch (Xella)
Dipl.-Ing. (FH) André Staniszewski, M.BP. (Arge Mauerziegel)

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	4
2	Methodik	5
3	Stand der Technik.....	6
4	Untersuchte Gebäudetypen	9
5	Versuchskuben	9
5.1	Kuben-Konzept.....	12
5.1.1	Bauliche Details.....	12
5.1.2	Technische Gebäudeausrüstung.....	14
5.1.3	Messtechnik.....	18
5.2	Auswertung von Messdaten	21
5.2.1	Ziegel-Kubus.....	21
5.2.2	Porenbeton-Kubus	32
5.2.3	Kalksandstein-Kubus	42
5.2.4	Brettsperrholz-Kubus.....	51
5.3	Kuben-Simulationen + Abgleich Messdaten und Simulationsergebnisse.....	61
6	Simulation eines Modellgebäudes	66
7	Simulationsergebnisse.....	78
7.1	Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf den Nutzenergiebedarf für Heizen	80
7.2	Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf die sommerliche Überhitzung	82
7.3	Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf die thermische Behaglichkeit	84
8	Wärmespeicherfähigkeitsindex.....	88
8.1	Wärmespeicherfähigkeitsindex – Nutzenergiebedarf für Heizen	88
8.2	Wärmespeicherfähigkeitsindex – sommerliche Überhitzung	90
8.3	Wärmespeicherfähigkeitsindex – thermische Behaglichkeit.....	91
9	Entwicklung thermisch aktivierter Massivholzelemente	94
9.1	Grundlagen des Brettsperrholzes	94
9.1.1	Entwicklung.....	94
9.1.2	Herstellungsprozess.....	94
9.1.3	Eigenschaften des Brettsperrholzes	95
9.2	Untersuchung zur Machbarkeit von thermisch aktivierten Massivholzelementen	99
9.2.1	Stand der Technik	99
9.2.2	Entwicklungsparameter	101
9.3	Produktion der Versuchskörper.....	112
9.3.1	Produktionskonzept.....	112
9.3.2	Bemaßung	113
9.3.3	Produktion	115
9.3.4	Bewertung des Herstellungsprozesses	119

9.4	Laborversuche.....	120
9.4.1	Zeitplanung	120
9.4.2	Versuchskonfiguration.....	120
9.4.3	Versuchsergebnisse	127
9.4.4	Visuelle Prüfung und Bewertung der Materialfeuchteentwicklung.....	128
9.5	Thermische Simulation	134
9.5.1	Implementierung einer luftgeführten thermischen Aktivierung von Brettsperrholzelementen in das thermisches Simulationsprogramm TRNSYS.....	134
9.5.2	Aufbau des Simulationsmodells mit TYPE 360	135
9.5.3	Validierung des numerischen Modells.....	140
10	Zusammenfassung und Ausblick	144
11	Literatur	146
12	Abbildungsverzeichnis	149
13	Tabellenverzeichnis	156
14	Anhänge.....	158

11 Literatur

- [1] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al.: Auswirkungen der Entwicklung zu Niedrigstenergiegebäuden auf die Gebäudehülle. In: Fouad, N. A. (Hrsg.): Bauphysik-Kalender 2017. Gebäudehülle und Fassaden, S. 45–76. Ernst & Sohn Verlag, Berlin, 2017.
- [2] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al.: Standard von Niedrigstenergiegebäuden in Deutschland. Mauerwerk 21 (2017), Heft 5, S. 273–286.
- [3] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al.: Niedrigstenergiegebäude - Entwicklung eines Standards und einer Berechnungsmethode für die Gebäudeenergieeffizienz. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2017.
- [4] Schöndube, T.; Carrigan, S.; Schoch, T. et al.: Niedrigstenergiegebäude-Standard in Deutschland. In: Kornadt, O.; Carrigan, S.; Hoffmann, S. et al. (Hrsg.): Bauphysiktag Kaiserslautern 2017. Bauphysik in Forschung und Praxis. Bauphysiktag Kaiserslautern 2017, Kaiserslautern, 25.-26.10.2017, S. 115–120. Eigenverlag der Technischen Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2017.
- [5] Hofmann, M.; Geyer, C.; Kornadt, O.: Auswertung von Raumklimamessungen und Bestimmung typischer Taupunkttemperaturen in natürlich belüfteten Wohnzimmern. Bauphysik 39 (2017), Heft 3, S. 151–158.
- [6] Heimerdinger, C.; Nagel, L.; Kornadt, O.: Effiziente Innendämmung mit hoher thermischer Speicherfähigkeit. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, 2017.
- [7] Heimerdinger, C.; Nagel, L.; Kornadt, O.: Effiziente Innendämmung mit hoher thermischer Speicherfähigkeit. In: Kornadt, O.; Carrigan, S.; Hoffmann, S. et al. (Hrsg.): Bauphysiktag Kaiserslautern 2017. Bauphysik in Forschung und Praxis. Bauphysiktag Kaiserslautern 2017, Kaiserslautern, 25.-26.10.2017, S. 25–28. Eigenverlag der Technischen Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern, 2017.
- [8] Schild, K.; Willems, W. M.: Wärmeschutz. Grundlagen - Berechnung - Bewertung. Detailwissen Bauphysik. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2013.
- [9] DIN EN ISO 13786:2008-04: Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen - Dynamisch-thermische Kenngrößen - Berechnungsverfahren (ISO 13786:2007).
- [10] Deutscher Bundestag; Deutscher Bundesrat: Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung. EnEV, Heft 2013, 2014.
- [11] DIN V 18599-2:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen.
- [12] DIN 4108-2:2013-02: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [13] Xella Deutschland GmbH: Ytong Planblock. <https://www.ytong-silka.de/ytong-planblock.php> (Abruf: 19.03.2018).
- [14] Xella Deutschland GmbH: Silka Ratio Planstein. <https://www.ytong-silka.de/silka-ratio-planstein.php> (Abruf: 19.03.2018).
- [15] DIN EN 15251:2012-12: Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik; Deutsche Fassung EN 15251:2007.
- [16] DIN EN ISO 7730:2006-05: 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 (ISO 7730:2005).
- [17] Kolmetz, S.: Thermische Bewertung von Gebäuden unter sommerlichen Randbedingungen. Ein vereinfachtes Verfahren zur Ermittlung von Raumtemperaturen in Gebäuden im Sommer und deren Häufigkeit, Dissertation. Universität Kassel, Kassel, 1996.

- [18] Fanger, P. O.: Thermal Comfort - Analysis and Applications in Environmental Engineering. Danish Technical Press, Kopenhagen, 1970.
- [19] University of Wisconsin–Madison: TRNSYS Frequently Asked Questions. <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/faq/faq.htm> (Abruf: 12.04.2018).
- [20] Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.: Typengebäude MFH. Arbeitsgemeinschaft für zeitgemäßes Bauen e.V.
- [21] DIN V 18599-10:2011-12: Energetische Bewertung von Gebäuden - Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung - Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten.
- [22] Kaufmann, H.; Krötsch, S.; Winter, S.: Atlas Mehrgeschossiger Holzbau. Edition Detail, München, op. 2017.
- [23] Mestek, P., Werther, N., & Winter, S.: Bauen mit Brettsperrholz. Tragende Massivholzelemente für Wand, Decke und Dach. Informationsdienst Holz 2012 (2012), Heft 1.
- [24] Winter, S.; Mestek, P.; Werther, N.: Holzbau Handbuch. Bauen mit Brettsperrholz. Informationsdienst Holz (2010), Reihe 4, Teil 6, Folge 1.
- [25] Binderholz GmbH: Produktdaten Binderholz Brettsperrholz. <https://www.binderholz.com/> (Abruf: 15.03.2018).
- [26] Foglia, H.; Sonderegger, W.; Niemz, P. et al.: Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit neuartiger Holzwerkstoffe und Werkstoffverbunde. Forschungsbericht für das Kuratorium des Fonds zur Förderung der Wald- und Holzforschung Nr. 2004.02. 2006 (2006).
- [27] Schneider, A.; Engelhardt, F. (Hrsg.): Vergleichende Untersuchung über die Wärmeleitfähigkeit von Holzspan- und Rindenplatten. Holz als Roh- und Werkstoff, 1977.
- [28] Suleiman, B.; Larfeldt, M. J.; Leckner, B. et al.: Thermal conductivity and diffusivity of wood. Science, Journal of the International Academy of Wood, Wood Science and Technology (1999).
- [29] Cammerer, J.; Achziger, J. (Hrsg.): Einfluss des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit von Bau- und Dämmstoffen. Forschungsvorhaben Nr. BI5-800183-4. IRB-Verl., Stuttgart, 1984.
- [30] Sonderegger, W.; Hering, S.; Mannes, D. et al. (Hrsg.): Quantitative determination of bound water diffusion in multilayer boards by means of neutron imaging. Springer Verlag, 2010.
- [31] Hausladen, G.; Tichelmann, K.: Ausbau-Atlas. Integrale Planung, Innenausbau, Haustechnik. Edition Detail. Birkhäuser, Basel, Berlin [u.a.], 2009.
- [32] Stadtverwaltung Weißenburg i. Bay.: Römische Thermen. <https://www.weissenburg.de/impressum/> (Abruf: 15.03.2018).
- [33] Schwenk, C.; Maas, A.: Betonkernaktivierung mit Luft am Beispiel eines ENOB- Projektes – Vergleichende Systemsimulation (2014).
- [34] Maschinenfabrik Gg. Kiefer GmbH: Produktbeschreibung zur Luftgeführten Betonkernaktivierung Concretcool. <https://www.kieferklima.de/produkte/betonkerntemperierung-concretcool/> (Abruf: 17.04.2018).
- [35] Wehsener, J.; Schulz, T.; Gecks, J. et al.: Untersuchungen zu mehrlagigen Massivholzplatten als Heiz- und Kühlelement. Bauphysik 38 (2016), Heft 3, S. 129–134.
- [36] Gecks, J.; Plagge, R.: Massivholzplatten mit Funktionselementen in der Mittellage, 2015.
- [37] Tinkerforge GmbH: Produktdaten zu Tinkerforge Mess-, Steuerungs- und Regelungskomponenten. <https://www.tinkerforge.com> (Abruf: 17.04.2018).
- [38] Scanntronik Mugrauer GmbH: Produktdaten zum Scanntrik Holzfeuchte-Messsystem. www.scanntronik.de/ (Abruf: 17.04.2018).
- [39] KIMO Instruments: Produktdaten zum Kimo-Thermoanemometer. <http://kimo-instruments.com/en/portable/vt-110-vt-115> (Abruf: 17.04.2018).

- [40] Ahlborn Mess- und Regelungstechnik GmbH: Produktdaten zum Almemo-Messsystem. <http://www.ahlborn.com> (Abruf: 17.04.2018).
- [41] Künzel, H.: Simulationssoftware WUFI 2D (Wärme und Feuchte instationär). <https://wufi.de> (Abruf: 17.04.2018).
- [42] Henschen, S.: Messtechnisch und simulationsgestützte Untersuchung des instationären hygrothermischen Verhaltens von thermisch aktivierten Brettsperrholzelementen. Master's Thesis, Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, München, 2018.
- [43] Transsolar Energietechnik GmbH: Simulationssoftware TRNSYS 17, Transient System Simulation Tool. <http://www.trnsys.com/> (Abruf: 10.03.2017).
- [44] Fort, K.: Type 360: Floor heating and hypocaust. http://trnsys.de/download/en/ts_type_360_en.pdf (Abruf: 21.03.2018).
- [45] Baumgartner, T.: Thermisch aktivierte Massivholzelemente - Analyse und Systemvergleich mittels thermischer Gebäudesimulation. Master's Thesis, Technische Universität München, Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion, München, 2018.