

Katja Biek und Maria Kuzminskaia

Heizlastabdeckung mit der thermischen Bauteilaktivierung

Energetische Anforderungen, Materialien und Materialkombinationen

Für die Entwicklung von modularen Instandsetzungsverfahren unter Einbeziehung der Außenhülle des Gebäudes als thermisch aktivierte Fläche werden im Rahmen des Forschungsprojekts »EffTecSo-modIn« verschiedene numerische Simulationen durchgeführt. In diesem Zuge werden Materialien und Materialkombinationen für die thermische Bauteilaktivierung sowie die energetischen Anforderungen untersucht. Die Untersuchungen beinhalteten zudem auch eine Überprüfung der Heizlastabdeckung.

Bei der thermischen Bauteilaktivierung wird die Masse eines Gebäudes zur Temperaturregulierung mit genutzt. Mehrheitlich wird das Verfahren zur Beheizung oder Kühlung eingesetzt. Wird die thermische Bauteilaktivierung zur Beheizung genutzt, wird durch in die Bauteile eingebrachte Heizungsrohre die Wärme direkt an das Bauteil abgegeben. Die Abb. 1 zeigt den Grundriss einer Referenzwohnung in München, in deren Wohnzimmer die Außenwandaktivierung untersucht und realisiert wurde.

Das Heizungswasser wird durch die Heizungsrohre geführt, die in den Bauteilen angebracht sind, und somit die Wärme direkt an das Bauteil abgegeben. Dadurch sind die Außenwände temperiert und dem Raum wird durch die Wände Wärme zugeführt. Damit der Wärmestrom in die Richtung des Raums und nicht nach außen fließen kann, ist die Verwendung eines Dämmstoffs hinter den Heizungsrohren an der Außenwand notwendig. Die Hohlräume müssen mit einem Füllmaterial wieder überdeckt werden. Abb. 2 zeigt den Wandausschnitt einer thermisch aktivierten Außenwand.

Materialien für die thermische Aktivierung

Durch die Verwendung von materialspezifisch und energetisch passenden Materialien kann die Leistung der Temperierung, die Behaglichkeit im Raum sowie die gesamte Energieeffizienz des Gebäudes erhöht werden.

KERNAUSSAGEN

- Die Außenwandaktivierung reicht aus, um den Energiebedarf der Referenzwohnung bei Außentemperaturen bis -5 °C zu decken.
- Die Heizungsleitungen müssen eine gute Wärmeleitfähigkeit, Sauerstoffdichtheit, Temperaturbeständigkeit und eine gewisse Elastizität sowie eine hohe Lebensdauer aufweisen.

Generell haben Metalle im Vergleich zu Kunststoffen eine höhere Wärmeleitfähigkeit. Vor diesem Hintergrund würden sich Metallrohre per se zunächst besser als Temperierungsleitungen eignen. Die Metallrohre sind jedoch aufgrund ihrer Kristallstruktur nicht elastisch und müssen daher beim Einbau in der Wand mit zahlreichen Verbindungsstücken versehen werden. Diese können mit der Zeit zu Undichtigkeiten führen. Der Einbauaufwand bei Metallrohren ist durch das Biegen und den Einbau von Verbindungsstücken zudem sehr aufwendig. Auch hinsichtlich der Kosten unterscheiden sich die Materialien. Kupfer ist i. d. R. deutlich teurer als Kunststoff¹. Bei Kunststoffen sind PE-Xa-Rohre² am besten für Außenwandtemperierungen geeignet. Dank seiner guten thermischen und physikalischen Eigenschaften sowie der unkomplizierten Verlegung der Rohre eignet sich das PE-Xa-Rohr optimal für diesen Verwendungszweck. Außerdem sind die PE-Xa-Rohre unter dem Aspekt der Ökobilanz für thermisch aktive Bauteile sehr gut geeignet ($EIP99 < 0,1^3$).

Bei der Auswahl der Rohre müssen die Parameter für den minimalen Durchmesser der Rohr- bzw. Schlauchleitung und den Biegeschenkel in der Schlauchleitung beachtet werden. Der minimale Durchmesser hängt von der Strömungsgeschwindigkeit und dem Volumenstrom des Mediums ab und wird nach Gleichung 1 berechnet. [2]

$$d_{min} = \sqrt{\frac{\dot{V} \cdot 4}{v \cdot \pi}} \quad (1)$$

Dabei ist

d_{min} = minimaler Durchmesser [mm]

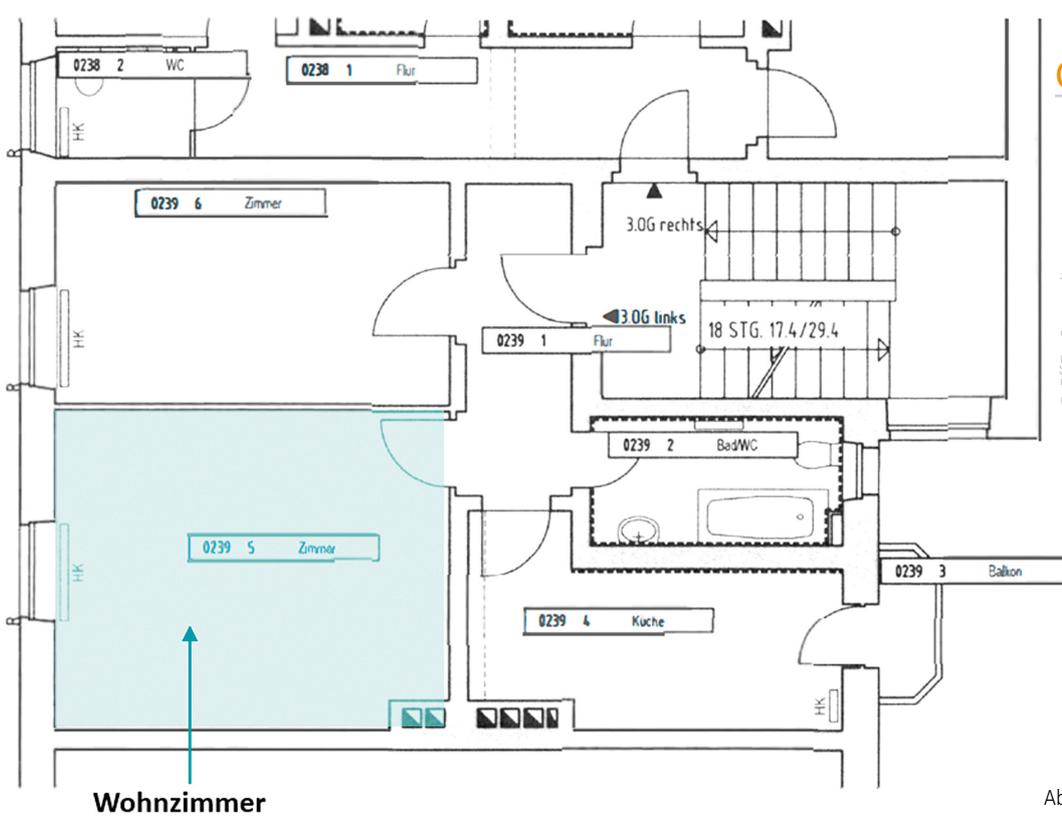
\dot{V} = Volumenstrom [m³/s]

v = Strömungsgeschwindigkeit [m/s]

¹ 1,40€/m für Kupferrohre gegenüber 0,76€/m für PE-Xa-Rohre.

² PE-Xa ist eine Abkürzung von peroxidisch vernetztem Polyethylen.

³ EIP99 (Eco-Indicator pp-Punkte) nach [1], S. 25.



© EffTecSo-modin

Abb. 1: Grundriss Versuchswohnung

Wohnzimmer

Müssen die Rohre beim Leitungsverlauf in L- bzw. U-Bogen (s. Abb. 3) verlegt werden, können aufgrund der Belastung durch den Innendruck zusätzliche Spannungen und Kräfte auftreten. In diesem Fall ist es wichtig, die richtige Biegeschenkelänge nach den Gleichungen 2 und 3 zu berechnen.[3]

$$L_{A,L} = C_L * \sqrt{\Delta l * d_a} \quad (2)$$

$$L_{A,U} = \frac{C_U}{\sqrt{2}} * \sqrt{\Delta l * d_a} \quad (3)$$

Dabei ist

$L_{(A,L)}$ = Biegeschenkelänge [mm]

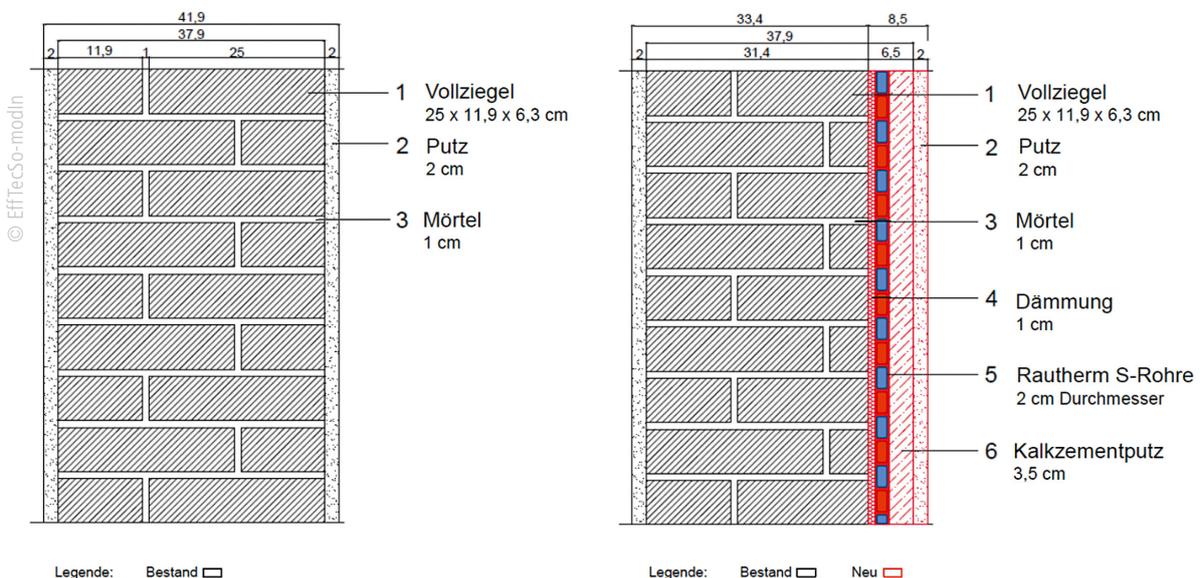
$L_{(A,U)}$ = Ausladelänge [mm]

Δl = Wärmedehnung [mm]

d_a = Rohraußendurchmesser [mm]

C_L, C_U = Werkstoffkonstante [-]

Unter Dämmstoffen zeigen Elastomere gute physikalische und thermische Eigenschaften. Sie können sich bei Zug- und Druckbelastung verformen, nehmen danach aber wieder ihre ursprüngliche Form an. Diese Eigenschaft ist v. a. für die Außenwandtemperierung und ihre schmale und engkurvige Schlitzanordnung sehr vorteilhaft. Dank seiner Mikrozellstruktur lässt sich der Stoff gut schneiden, verarbeiten und ist zudem wasserabweisend. Elastomere bestehen aus wiederverwendbaren Rohstoffen und eignen sich nach ihrer Lebensdauer zur Herstellung neuer, hochwertiger Produkte. [4] Tab. 1 zeigt die physikalischen und thermischen Eigenschaften für die ausgewählte Materialkombination.



© EffTecSo-modin

Abb. 2: Wandausschnitt ohne (links) und mit (rechts) Wandaktivierung

Aussagen über den Wärmestrom und die Heizlastabdeckung

Durch die numerischen CFD-Untersuchungen lassen sich Aussagen über den Wärmestrom nach innen, den Wärmestrom nach außen und die Oberflächentemperaturen (relevant für die Behaglichkeit) treffen.

In Tab. 2 sind alle wichtigen Parameter für die CFD-Untersuchungen gelistet.

Für die luftberührenden Flächen werden Wärmeübergangskoeffizienten und die angrenzende Lufttemperatur angenommen. Nach DIN EN 12831-1 kann für den Wärmeübergangskoeffizienten für vertikale, innen liegende Flächen $7,69 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ und für den Wärmeübergangskoeffizienten für außenluftberührende Flächen $25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ angenommen werden. Bei der Norm-Heizlastberechnung stellt die Außenwand ein passives Bauteil dar, welches einen bestimmten Wärmeleitwiderstand bzw. einen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) aufweist. Durch die Sollinnentemperatur und die Normaußentemperatur für die Heizlastabrechnungen lassen sich die Transmissionswärmeverluste ermitteln. Die zusätzliche Berücksichtigung der Lüftungswärmeverluste ergibt die in dem Raum zu installierende Heizleistung.

Für die Simulation der thermischen Bauteilaktivierung werden ebenfalls die Sollinnentemperatur und die Außenlufttemperatur angenommen. Anschließend wird der Wärmestrom an den Bilanzgrenzen der Außenwand betrachtet. Die Wärmeströme an der raumseitigen Bilanzgrenze zeigen dann, ob der Transmissionswärmeverlust durch die Bauteilaktivierung gedeckt werden kann.

Für den Verlauf der Leitungen sind horizontale und schräge Schlitzte wegen der Querschnittsminderung der tragenden Außenwand grundsätzlich problematisch. Aus diesem Grund wurde die Verlegevariante (c) der Abb. 4 realisiert. Außerdem wurde darauf geachtet, bei den Schlitzarbeiten ein das Mauerwerksgefüge schonendes Schlitzwerkzeug einzusetzen.

Die Untersuchungen zeigten, dass die geplanten Heizschleifen für den benötigten Wärmebedarf ausreichend sind.

Bei der Wärmestrombetrachtung wurden auch die Fenster und die Fensterlaibungen berücksichtigt, um alle Energie-

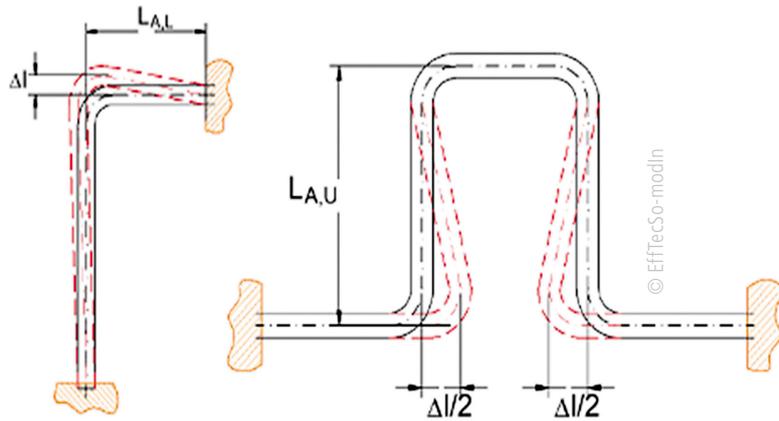


Abb. 3: Biegeschenkel beim a) L-Bogen und b) U-Bogen

flüsse aus oder in den Raum einzubeziehen. Die gelb hinterlegte Zeile in Abb. 5 zeigt den Wärmestrom aller innen liegenden Flächen (Wände, Fenster, Fensterlaibungen). Die Wärmeabgabe der Variante mit Dämmung ist niedriger als die Wärmeabgabe der Variante ohne Dämmung. Dies liegt daran, dass sich durch die Dämmung der Wärmedurchlasswiderstand erhöht und somit weniger Wärme in die Ziegelwand übergeht. Im Temperaturszenario I werden bei der Variante ohne Dämmung insgesamt 208 W nach außen abgegeben. Ist hinter den Heizleitungen eine Dämmung angeordnet, werden 186 W an die Raumluft abgegeben, also

Tab. 2: Parameter für CFD-Untersuchungen (Quelle: EffTecSo-modIn)

Rohrmaterial	PE-Xa (20 x 2 mm)
Dämmstoff	Elastomerschaum (10 mm)
Überdeckung	Kalkzement
Vorlauftemperatur	35 °C
Fließgeschwindigkeit	0,2 m/s
U-Werte:	
Außenwand	1,36 W/(m²K)
Fenster	1,30 W/(m²K)

Tab. 1: Materialien für die Außenwandaktivierung mit ihren physikalischen Eigenschaften und Kosten (Quelle für Rohre PE-Xa: Technische Information: Flächenheizung/-Kühlung 864600 AT. URL: www.rehau.com/downloads/106996/flaechenheizung-kuehlung.pdf [Stand: 03.06.2024]; Quelle für Dämmung: Technische Daten – AF/ARMAFLEX. URL: www.boehm-isoliertechnik.de/zertifikate/AFARMAflexTechDataD.pdf [Stand: 03.06.2024])

Leitungsrohre [5]		Dämmung [6]	
Material	PE-Xa	Material	Elastomerschaum
Außendurchmesser	20 mm	Schichtdicke	10 mm
Betriebstemperatur	≤ 90 °C	Anwendungstemperatur	-50 bis +110 °C
Wärmeleitfähigkeit λ	0,35 W/(mK)	Wärmeleitfähigkeit λ	0,033 W/(mK)
Betriebsdruck	≤ 6 bar	U-Wert ¹	3,3 W/(m²K)
Ausdehnungskoeffizient	0,15 mm/(mK)	Brandschutz	schwer entflammbar
Standardformat	600 m	Standardformat	10 m²
Kosten	0,76 €/m	Kosten	16 €/m²

¹ Der U-Wert für die Dämmstoffplatten wird folgendermaßen berechnet: $U = \lambda/d$, mit d – Dicke der Schicht in m und λ – Wärmeleitfähigkeit in W/(mK).

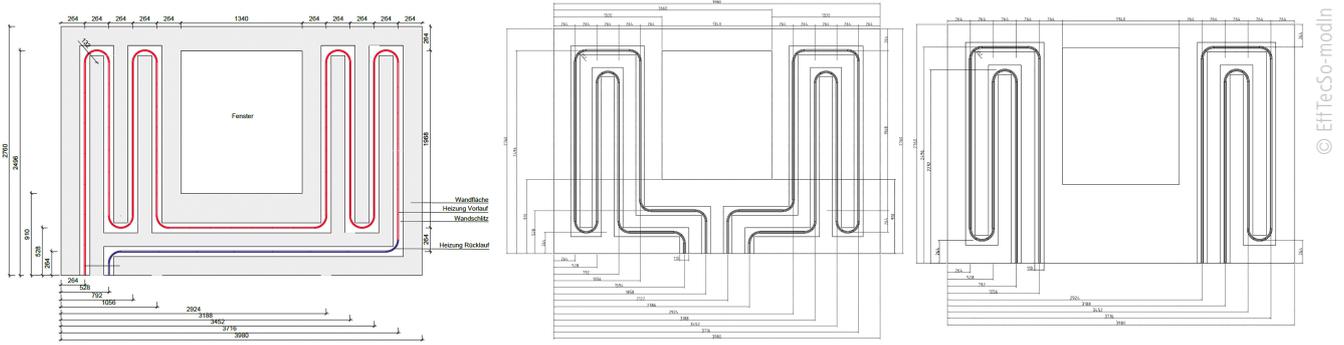


Abb. 4: Varianten der Leitungsführung für die thermische Außenwandaktivierung

12 W (10,6 %) weniger. Der Wärmestrom durch die Wand an die Außenluft verringert sich durch die Dämmung von 416 W auf 380 W (Differenz = 36 W bzw. 6,3 %). Der Lüftungswärmebedarf bei $n = 0,5$ beträgt im Wohnzimmer 209,5 W. [7] Somit wird, laut Simulationsergebnissen, der Lüftungswärmebedarf vom Wärmestrom der temperierten

Außenwand zu 88,8 Prozent gedeckt. Bei Temperaturszenario II liegt der Lüftungswärmebedarf um 110 W über dem nach innen gerichteten Wärmestrom der Außenwand von 110,1 W (mit Dämmung). Im theoretischen Ansatz können innere Lasten berücksichtigt werden. Dazu zählen z. B. auch die Wärmeabgabe der im Raum befindlichen Personen. Bei

Innenraumlufthtemperatur Außenlufttemperatur	in °C	Temperaturszenario I 18 -5			Temperaturszenario II 20 -5			Temperaturszenario III 20 -16		
Parametervariation für Simulationen: Leitungsrohre: Rautherm-S (20x2 mm) Dämmung: Armaflex (10 mm) Deckstoff: Estrich-Zement Geschwindigkeit des Wassers: 0,2 m/s Vorlauftemperatur: 35 °C		Ohne thermisch aktivierter Außenwand + EnEV-Fenster	Mit thermisch aktivierter Außenwand (Teta_VL = 35 °C) + EnEV-Fenster	Mit thermisch aktivierter Außenwand mit Dämmung (Teta_VL = 35 °C) + EnEV-Fenster	Ohne thermisch aktivierter Außenwand + EnEV-Fenster	Mit thermisch aktivierter Außenwand (Teta_VL = 35 °C) + EnEV-Fenster	Mit thermisch aktivierter Außenwand mit Dämmung (Teta_VL = 35 °C) + EnEV-Fenster	Ohne thermisch aktivierter Außenwand + EnEV-Fenster	Mit thermisch aktivierter Außenwand (Teta_VL = 35 °C) + EnEV-Fenster	Mit thermisch aktivierter Außenwand mit Dämmung (Teta_VL = 35 °C) + EnEV-Fenster
Flächengemittelte Oberflächentemperatur Wand		14,4	22,5	22,2	16,1	23,6	23,3	14,4	22,7	22,3
Flächengemittelte Oberflächentemperatur Fenster	in °C	12,2	13,6	13,6	13,7	15,2	15,3	10,9	13,0	13,1
Flächengemittelte Oberflächentemperatur Wand + Fenster		14,0	20,9	20,7	15,7	22,1	21,9	13,8	21,0	20,7
Flächengemittelte Temperatur aller Oberflächen		17,5	18,4	18,3	19,5	20,3	20,2	19,2	20,1	20,1
Rücklauftemperatur		-	32,9	33,1	-	33,0	33,3	-	32,7	33,0
Gesamtwärmeabgabe Wandaktivierung		-	642,4	574,2	-	600,2	535,9	-	680,8	601,7
Nach außen gerichteter Wärmestrom Wand		250,8	-317,2	-297,9	272,6	-252,4	-232,7	392,6	-188,1	-162,3
Nach außen gerichteter Wärmestrom Fenster		88,6	67,7	67,2	96,3	73,9	72,8	138,7	106,9	105,2
Nach außen gerichteter Wärmestrom Fenster + Wand + Fensterlaibung	in W	395,3	-208,0	-186,1	429,2	-132,0	-110,1	618,7	-11,6	16,9
Wärmestrom von Außenseite Außenwand in Richtung Außenluft		269,5	-416,1	-380,3	292,9	-424,4	-396,4	-421,8	-576,4	-520,2
Lüftungswärmebedarf bei $n = 0,5$			209,5			227,7			327,9	

Der Lüftungswärmebedarf wird nach DIN EN 12831-1 berechnet

→ Lüftungswärmeverlust kann von 88,8% gedeckt werden
→ 23,4 W Zusatzleistung notwendig
→ Wärmestrom an Außenluft verringert sich mit Dämmung um 8,7%

→ Lüftungswärmeverlust kann von 48,4% gedeckt werden
→ 117,6 W Zusatzleistung notwendig
→ Wärmestrom an Außenluft verringert sich mit Dämmung um 6,6%

→ Lüftungswärmeverlust kann nicht gedeckt werden
→ 344,8 W Zusatzleistung notwendig
→ Wärmestrom an Außenluft verringert sich mit Dämmung um 9,8%

Abb. 5: Ergebnisübersicht der Simulationen zu der realisierten Leitungsausführung mit Notizen zur Heizlastdeckung und Zusatzleistung

Temperaturszenario III ist der Wärmestrom mit 16,9 W bei der Variante mit Dämmung hinter der Heizleitung nach außen gerichtet. Bei -16 °C lassen sich in der Theorie durch die Außenwandaktivierung bei einer limitierten Vorlauftemperatur von 35 °C nur noch 17 °C erreichen und keine Deckung des Lüftungswärmebedarfs. Wenn die Vorlauftemperatur jedoch auf 50 °C erhöht wird, verringert sich der Wärmestrom von -16,9 W auf 194 W. Hierdurch wären 59 Prozent des Lüftungswärmebedarfs gedeckt. Die theoretischen Angaben wurden in der Referenzwohnung erprobt.

Fazit

Die Außenwandaktivierung kann ausreichen, um den Energiebedarf im Wohnzimmer der Referenzwohnung komplett zu decken und damit zu bewirken, dass bei der mittleren Außenlufttemperatur im Winter keine zusätzliche Heizung benötigt wird. Die Ergebnisse und CFD-Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Raumlufttemperatur von 18 °C bis 20 °C bei einer Außenlufttemperatur von -5 °C aufrecht gehalten werden kann. Tragwerkstechnische Untersuchungen bestätigen eine Wandstärke von ca. 38 bis 41 cm inklusive Putz (Putzstärke ist innen und außen mit ≥ 2 cm anzusetzen). Demzufolge kann bei einer Stärke der Ziegelschicht ab 36,5 cm davon ausgegangen werden, dass eine realisierbare Schlitztiefe in den Mauerwerksziegeln von 6 cm möglich ist. Je nach Putz liegt dann die Tiefe bei ca. 8 cm. Die Heizschleifen sind für den benötigten Wärmebedarf in der Grundtemperierung ausreichend.

Danksagung

Die Autorinnen bedanken sich für die Mitarbeit bei Ruben Makris M.Sc., Dipl.-Ing. (Arch.) Dessislava Stoyanova-Krause, Ömer Birkan M.Eng. und Miriam Ziebarth M.Eng.

Literatur

- [1] Klempkes, Christoph et al.: Energetische Bewertung thermisch aktivierter Bauteile. Dynamisch thermische Simulation, messtechnische Validation, vereinfachte Bewertungsansätze. Forschungsbericht. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2009
- [2] Formelsammlung und Berechnungsprogramme Maschinen- und Anlagenbau: Hydraulik. URL: https://www.schweizer-fn.de/hydraulik/hydraulik.php#rohr_durchmesser [Abruf: 16.03.2023]
- [3] Berechnung eines Rohrleitungssystems. URL: <https://www.schweizer-fn.de/rohr/rohrleitung/rohrleitung.php> [Abruf: 23.01.2024]
- [4] Geisler, H., Klie, B.: Elastomer-Recycling (»Devulkanisation«), Deutsches Institut für Kautschuktechnologie, URL: www.dikautschuk.de/forschung/projektaufrufe/elastomer-recycling-devulkanisation [Abruf: 16.03.2023]
- [5] Technische Daten Rautherm S. URL: https://www.warm.lv/upload/files/Rautherm_S_un_savienojums.pdf [Abruf: 16.04.2024]
- [6] Technische Daten AF/Armaflex, URL: https://pim.ipcomdigital.eu/Attachments/DownloadAttachmentByName?type=product&id=1bec8bbe-612e-49f2-8b10-f24230d31f82&name=AF_Armaflex_TDS_DE.pdf [Abruf: 16.04.2024]
- [7] DIN EN 12831-1:2017-09 Energetische Bewertung von Gebäuden – Verfahren zur Berechnung der Norm-Heizlast – Teil 1: Raumheizlast, Modul M3-3
- [8] Biek, Katja: Grundtemperierung eines Altbaus. Bauen+ 7 (2021), Nr. 4, S. 10–15

DIE AUTORINNEN

Prof. Dipl.-Ing. Katja Biek

2000 wurde Katja Biek an die Berliner Hochschule für Technik berufen und lehrt Heizungs- und Sanitärtechnik sowie Facility Management und Projektmanagement für Facility Manager. Sie ist Geschäftsführerin des 2009 gegründeten Instituts für Planung und Beratung BAnTec (Ausgründung aus einem FuE-Projekt). 1993 gründete sie das in Berlin ansässige »Büro Biek«.

Berliner Hochschule für Technik
Fachbereich IV – Architektur und Gebäudetechnik
Luxemburger Str. 9
13353 Berlin
biek@bht-berlin.de



Maria Kuzminskaia M.Sc.

Maria Kuzminskaia (M.Sc.) hat an der RWTH-Aachen Materialwissenschaft studiert. Zu ihrem Tätigkeitsgebiet beim Projekt »EffTecSo-modIn« gehören die Auswahl von Materialien für thermische Bauteilaktivierung, die Auswertung der Ergebnisse sowie die Erfassung von technischen Berichten und wissenschaftlichen Artikeln.

BAnTec GmbH
Institut für Planung und Beratung
Heerstraße 18/20
14052 Berlin
m.kuzminskaia@bantec-berlin.de



Newsletter der Bauen+

Kennen Sie schon unseren Newsletter?

Wir informieren Sie alle zwei Wochen über branchenspezifische Nachrichten, Entwicklungen, Veranstaltungen und vieles mehr.

Registrierung für den Newsletter
www.bauenplus.de/service/bauenplus-newsletter