

Wolfram Jäger, Eyas Alkhateeb
Hassan Youssef, Robert Masou

0-EneMau – Innovative Dämmtechnik zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste im Mauerwerksbau mit dem Ziel der Gewährleistung des 0-Energie- Standards

F 3039

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) 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 reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2020

ISBN 978-3-7388-0213-9

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/tauforschung



Abschlussbericht „0-EneMau“

„Innovative Dämmtechnik zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste im Mauerwerksbau mit dem Ziel der Gewährleistung des 0-Energie-Standards“

Az.: II 3-F20-10-1-169/SWD-10.08.18.7-12.33

Auftraggeber: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn

Mitfinanziert durch: Fachverband Ziegelindustrie Nord e.V.
Bahnhofplatz 2a, 26122 Oldenburg
Klinkerwerk Hagemeister GmbH & Co. KG
Buxtrup 3, 48301 Nottuln
Wilhelm Modersohn GmbH & Co
Postfach 1255, 32133 Spenge
HALFEN GmbH
Otto-Brenner-Straße 3, 06556 Artern
VARIOTEC GmbH & Co. KG
Weißmarterstraße 3-5, 92318 Neumarkt
Evonik Industries
Rodenbacher Chaussee 4, 63457 Hanau-Wolfgang

Auftragnehmer: Technische Universität Dresden
Fakultät Architektur
Lehrstuhl Tragwerksplanung

Projektleiter: o. Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger, TU Dresden

Bearbeiter: Dr.-Ing. Eyas Alkhateeb, TU Dresden
Dipl.-Ing. Hassan Youssef, TU Dresden
Dipl.-Ing. Architekt Robert Masou, TU Dresden

Datum: Stand 15. Mai 2017

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	7
1.1.	Zum Projekt	7
1.2.	Problemstellung	7
1.3.	Projektziele	8
1.4.	Lösungsansatz, Methode	9
2.	Zweischaliges Mauerwerk	11
2.1.	Konstruktion	11
2.1.1.	Bauweise	11
2.1.2.	Begriffe	11
2.1.3.	Merkmale	11
2.1.4.	Konstruktive Grundsätze	12
2.1.5.	Stand der Technik	13
2.1.6.	Normative Anforderungen	13
2.2.	Konstruktive Elemente	14
2.2.1.	Wandaufbau: Vorwand – Schalenzwischenraum – Hintermauer	14
2.2.2.	Dehnfugen	16
2.2.3.	Luftschichtanker	17
2.2.4.	Sichtung geeigneter Ankersysteme	18
2.2.5.	Konsolen	26
2.3.	Bauteilanschlüsse	27
2.3.1.	Sockel	27
2.3.2.	Öffnungen - Fensteranschlüsse	28
2.4.	Ausgewählte Aspekte	29
2.4.1.	Toleranzausgleich	29
2.4.2.	Tendenzen beim Schalenabstand	30
2.5.	Zeilenförmige bzw. geschosshohe Befestigung	30
2.5.1.	Gegenüberstellung der Verankerungsformen	31
2.5.2.	Stand der Technik in der Schweiz	31
2.5.3.	Stand der Forschung in Deutschland	33
3.	Beanspruchungen	37
3.1.	Windlasten	37
3.1.1.	Allgemeines	37
3.1.2.	Windlasten bei hinterlüfteten Wandflächen	38
3.1.3.	Winddruck	39
3.1.4.	Vereinfachter Böengeschwindigkeitsdruck	39
3.1.5.	Aerodynamische Beiwerte	40
3.2.	Temperatur	41
3.2.1.	Allgemeines	41
3.2.2.	Untersuchungen von Zumbroich und Schellbach	41
4.	Betrachtungsrahmen	43
4.1.	Festlegung der Geometrie und der Nutzung	43
4.1.1.	Gebäudegeometrie und Nutzung	43
4.1.2.	Leitdetails	44
4.2.	Bauphysikalische Festlegungen	45
4.2.1.	Nullenergiegebäude	45
4.2.2.	0-Energie-Standard	45
4.3.	Ökobilanz	46
4.3.1.	Zieldefinition	47
4.3.2.	Untersuchungsmethoden	48

5.	Wärmebrücken bei Luftschichtankern	49
5.1.	Wärmebrücken.....	49
5.2.	Punktförmige Wärmebrücken.....	50
5.2.1.	Näherungsweise Ermittlung nach DIN EN ISO 6946.....	50
5.2.2.	Genauere Ermittlung nach DIN EN ISO 10211	52
5.3.	Einflussgrößen	52
5.3.1.	Schalenabstand und Wärmeleitfähigkeit	52
5.3.2.	Wärmeleitfähigkeit und Wärmeleitfähigkeit	53
5.3.3.	Gesamtwärmedurchgangskoeffizient und Wärmeleitfähigkeit	53
6.	Analyse spezifischer Wärmebrücken im numerischen Modell	56
6.1.	Einfluss der Ankeranordnung.....	56
6.1.1.	Festlegungen.....	56
6.1.2.	Varianten.....	59
6.1.3.	Validierung der Rahmenbedingungen	61
6.1.4.	Ergebnisse der Variantenuntersuchung.....	62
7.	Innovative Dämmtechnik zur Reduzierung der Transmissionswärmeverluste.....	69
7.1.	Probleme in den herkömmlichen Dämmsystemen	69
7.1.1.	Geometrie in Bezug auf die thermische Effizienz.....	70
7.1.2.	Bildung von Wärmebrücken.....	71
7.1.3.	Montierbarkeit und Demontierbarkeit	71
7.1.4.	Durchführbarkeit auf der Baustelle.....	72
7.2.	Isolationsdämmpaneele zur Verbesserung der Dämmeffizienz.....	72
7.2.1.	Vakuuminisulationspaneele (VIP)	72
7.2.2.	VIS - Vacuum Insulating Sandwiches [28], [23].....	86
7.2.3.	CALOSTAT als Hochleistungswärmedämmplatte	93
7.2.4.	Anwendungsschwierigkeiten.....	94
7.3.	Lösungskonzept	95
7.4.	Befestigung des Dämmsystems	96
7.4.1.	Anker	96
7.4.2.	Konsole.....	98
7.4.3.	Paneele Bemessung und Modul-System.....	99
7.4.4.	Struktur der VIP Paneele	102
7.5.	Verankerungssystem - Konzept 1	103
7.6.	Verankerungssystem - Konzept 2	106
7.7.	Einbau	108
7.8.	Besondere Details des Vakuum-Systems	110
7.8.1.	Eckenaufbau	110
7.8.2.	Brandriegel	112
7.8.3.	Dachanschluss, Fußboden und Terrassen.....	114
7.8.4.	Sockel.....	115
7.8.5.	Balkonanschluss	115
7.8.6.	Fenster	122
7.9.	Systemanwendung in zweischaligem Mauerwerk.....	123
7.10.	Systemanwendung für andere Fassadenlösungen	123
7.10.1.	Demontierbares Trockenbau-Ziegel-System.....	124
7.10.2.	Fassadenverkleidungsplatten.....	124
8.	Brandverhalten und Feuerwiderstand.....	125
8.1.	Allgemeines.....	125
8.2.	Numerische Analysen.....	126
8.2.1.	Randbedingungen und Modellbeschreibung:	126
8.3.	Ergebnisse.....	127

8.3.1.	Brandbeanspruchung der Wand von innen	127
8.3.2.	Brandbeanspruchung der Wand von außen	127
8.3.3.	Fazit	127
9.	Bewertung des Systems	127
9.1.	Vergleich zu anderen Dämmungssystemen.....	131
9.1.1.	Thermischer Vergleich mit einem Stahlanker-System.....	131
9.1.2.	Thermischer Vergleich mit anderen Dämmsystemen	133
9.1.3.	Vergleich der Wandstärken.....	134
9.1.4.	Vergleich in Bezug auf die Tageslichtausbeute und Fenstergröße	136
9.1.5.	Kosten	138
9.2.	Zusammenfassung in Hinsicht auf Entwurf und Bauphysik	143
10.	Numerische Untersuchungen	144
10.1.	Allgemeines.....	144
10.2.	Anker-Modell.....	144
10.3.	Ergebnisse aus der FEM-Berechnung des Ankers	145
10.3.1.	Verformung.....	145
10.3.2.	Spannungen.....	146
10.4.	Konsolen-Modell.....	146
10.5.	Konsolen-Ergebnisse	147
10.5.1.	Verformungen.....	147
10.5.2.	Spannung.....	148
11.	Experimentelle Untersuchung	150
11.1.	Allgemeines.....	150
11.2.	Zu prüfende Verankerungssystemteile	150
11.3.	Randbedingungen.....	151
11.4.	Anker- und Konsolenanordnung.....	151
11.5.	Versuchsbegleitende Materialprüfungen (Serien MB, MD , MSD).....	152
11.5.1.	Mauermörtel.....	152
11.5.2.	Mauerwerk (Serien MWH , MWV).....	154
11.5.3.	Haftscherfestigkeitsversuch (Serien HH , HV).....	158
11.6.	Ankerversuche	162
11.6.1.	Tragfähigkeit des Ankers	162
11.6.2.	Aufbau	162
11.6.3.	Probekörper	163
11.6.4.	Lagerungsbedingung	165
11.6.5.	Prüfumgebung	165
11.6.6.	Belastung.....	165
11.6.7.	Ergebnisse der Ankerversuche	168
11.6.8.	Zusammenfassung der experimentellen Ankernachweise.....	175
11.6.9.	Konsole (Serie K).....	176
11.7.	Brandversuch	182
11.7.1.	Allgemeines und Anforderungen	182
11.7.2.	Versuchsgegenstand	182
11.7.3.	Prüfmethode.....	187
11.7.4.	Prüfstand / Prüfaufbau/ Brandmodell	187
11.7.5.	Versuchsbedingungen	189
11.7.6.	Mess- und Registrierdaten.....	190
11.7.7.	Versuchsdurchführung.....	190
11.7.8.	Ergebnisse.....	192
11.7.9.	Zusammenfassung der Ergebnisse des Brandversuches.....	196
11.8.	Tragfähigkeit des Verankerungsystems, Luftkissenversuch.....	198

11.8.1.	Allgemeines	198
11.8.2.	Versuchsaufbau	199
11.8.3.	Zu prüfendes Mauerwerk (Prüfkörper)	202
11.8.4.	Messtechnik	205
11.8.5.	Schritte des Versuchsaufbaues.....	206
11.8.6.	Versuchsdurchführung.....	206
11.9.	Versuchsbegleitende Materialprüfungen	207
11.9.1.	Allgemeines	207
11.9.2.	Mauermörtel.....	207
11.9.3.	Mauerwerk (Serien MWH , MWV)	209
11.9.4.	Versuchsergebnisse.....	214
11.9.5.	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	221
12.	Zusammenfassung	222
13.	Anhang 1- Normative und Rechnerische Nachweise	224
13.1.	Ermittlung der Ankerkräfte aus Windlasten nach DIN EN 1991-1-4/NA.....	224
13.2.	Abmessungen der Teile des Verankerungssystems	224
13.3.	Verwendete Materialien	225
13.4.	Nachweis des Ankers.....	225
13.4.1.	Nachweis des Verbundelements (Luftschichtanker):	225
13.4.2.	Nachweis des Polyamid-Profiles	226
13.4.3.	Nachweis der Gewindestange	228
13.5.	Nachweis der Konsole.....	228
13.5.1.	Lastabtragung in der Konsole.....	228
13.5.2.	Nachweise im Polyamidteil	230
13.5.3.	Nachweis der Konsolenecke	231
13.5.4.	Darstellung der Nachweise	232
14.	Anhang 2 – Fotodokumentation und Messwerte der Versuche	236
14.1.	Ankerversuche	236
14.1.1.	Mörtelprüfungen.....	236
14.1.2.	Mauerwerksprüfungen	240
14.1.3.	Haftscherfestigkeitsversuche	242
14.1.4.	Ankerversuche an sich.....	245
14.1.5.	Herstellung der Prüfkörper.....	245
14.1.6.	Durchführung.....	245
14.2.	Konsolenbelastungsversuche (Serie K)	250
14.3.	Luftkissenversuche	255
14.3.1.	Materialprüfung- Mörtelprüfungen.....	255
14.3.2.	Mauersteinprüfungen	258
14.3.3.	Mauerwerksprüfungen	260
14.3.4.	Rissbildung	263
14.3.5.	Verformung.....	267
14.3.6.	Sicherheitsbeiwert der Linienverankerung.....	270
14.4.	Brandversuch [154].....	271
15.	Quellen	277