

Walter Haase, Clemens Freitag, Andreas Kaufmann
Herbert Sinnesbichler, Matthias Kersken, Almuth Schade
Florian Hess, Angela Püls

Bewertungsverfahren Leichtbau

Entwicklung eines vereinfachten
Bewertungsverfahrens zur Bestimmung
der wärmetechnischen Eigenschaften
(U-Wert, g-Wert) von Membranhüllen-
Konstruktionen

F 3182

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

2019

ISBN 978-3-7388-0439-3

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

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Abschlussbericht IL-001/000/2019

Bewertungsverfahren Leichtbau

Entwicklung eines vereinfachten Bewertungsverfahrens zur Bestimmung der wärmetechnischen Eigenschaften (U-Wert, g-Wert) von Membranhüllen-Konstruktionen

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

Aktenzeichen SWD-10.08.18.7-15.04

Die Verantwortung für den Inhalt liegt bei den Autoren

Der Bericht umfasst

14 Seiten Text

1 Tabellen

0 Abbildungen

Autoren:

Dr. Walter Haase, Clemens Freitag, Andreas Kaufmann, Herbert Sinnesbichler, Matthias Kersken, Al-muth Schade, Florian Hess, Angela Püls

Valley, 12. Juli 2019

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit schriftlicher Genehmigung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik gestattet

Institutsleiter

Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

Bearbeiter

Andreas Kaufmann

Forschungspartner / Antragsteller

Fraunhofer-Institut für Bauphysik, IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Fraunhoferstr. 10
83626 Valley
Telefon +49 8024 / 643-0

Projektleitung: Andreas Kaufmann.
Autoren: Andreas Kaufmann
Herbert Sinnesbichler
Dr. Matthias Kersken
Almuth Schade
Florian Hess
Angela Püls.

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren, ILEK

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren
Direktor: Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h.c. Werner Sobek
Pfaffenwaldring 7 + 14
70569 Stuttgart
Telefon +49 711 / 685 63599

Projektleitung: Dr. Walter Haase
Autoren: Dr. Walter Haase
Projektbearbeitung: Clemens Freitag
Projektunterstützung: Theo Baur
Christoph
Pfeil, Jan Bolay

Industriepartner / Drittmittelgeber

CENO TEC GmbH
Mehler Technologies GmbH
Evonik
VERSEIDAG-INDUTEX GmbH
Wacotech GmbH & Co.
HP Gasser AG
Seele cover GmbH

Inhalt

1	Einleitung	4
2	Ausgangssituation	5
2.1	Problemstellung	5
2.2	Zielsetzung	5
3	Projektstruktur	6
3.1	Projekt- und Berichtaufbau	6
3.2	Arbeitspakete und Arbeitsverteilung	6
3.3	Projektverlauf	8
3.4	Abweichung vom zeitlichen Ablaufplan	8
3.5	Projekterfolg	9
3.6	Diskussion und Projektergebnisse	9
3.6.1	Projektteil Fraunhofer IBP	9
3.6.2	Projektteil Universität Stuttgart, ILEK	11
	Literaturverzeichnis	14

Anlage zum IBP-Abschlussbericht IL-001/000/2019

Berichtsteil Fraunhofer IBP

Bewertungsverfahren Leichtbau

Entwicklung eines vereinfachten Bewertungsverfahrens zur Bestimmung der wärmetechnischen Eigenschaften (U-Wert, g-Wert) von Membranhüllen-Konstruktionen

Der Berichtsteil IBP umfasst

101 Seiten Text

21 Tabellen

66 Bilder

Autoren:

Andreas Kaufmann

Dr. Matthias Kersken

Almuth Schade

Herbert Sinnesbichler

Florian Hess

Angela Püls

Inhalt

1	Übersicht der IBP-Arbeitspakete	4
2	Messtechnische Untersuchungen	5
2.1	Kunststoffstegplatten	5
2.1.1	Anwendung / Einsatz	5
2.1.2	Aktuelle Normen	8
2.1.3	Grenzen der Normen	11
2.1.4	Bestimmung des U-Werts (Beispiele)	12
2.1.5	Bestimmung des Gesamtenergiedurchlassgrades	18
2.2	Membrankissenkonstruktionen	18
2.2.1	Prüfkörper und Versuchsdesign	18
2.2.2	Spektralmessungen, optische Kennwerte und g-Wert	23
2.2.3	Kalorimetrisches Mess- und Prüfverfahren	30
2.2.4	Thermographie der Membranprüflinge	43
2.2.5	Messtechnische Untersuchung Randverbund	44
2.2.6	Auswertung und Messergebnisse	47
2.3	Stützluftanlagen	57
2.3.1	Prinzipieller Aufbau	57
2.3.2	Untersuchung Stützluftanlagen	58
2.3.3	Messergebnisse	64
2.3.4	Auswertung und Ergebnisse	70
2.3.5	Schlussfolgerung Stützluft-Anlagen	73
3	Entwicklung eines membranspezifischen Bemessungsverfahrens	75
3.1	Grundlagen	75
3.1.1	Pneumatisch gespannte Membrankissen	75
3.1.2	Normative Bemessung	76
3.2	Sensitivitätsanalyse der Berechnungsmodelle	78
3.3	Bestimmung der Temperaturdifferenz über den Luftraum	81
3.4	Instationäre Randbedingungen und Monatsbilanzverfahren	84
3.4.1	Zeitlicher U-Wert-Verlauf über ein Jahr	84
3.4.2	Monatsbilanzverfahren und Schlussfolgerungen	86
3.5	Berücksichtigung der IR Transmission	87
3.5.1	Korrigierter Emissionsgrad	88
3.5.2	Korrigierter Strahlungsaustauschgrad	92
3.5.3	Einfluss der transmittierten Strahlung auf den U-Wert	92
3.5.4	Validierung der Transmissionskorrektur	93

4	Ergebnisse und Validierung des Berechnungsverfahrens	95
4.1	Validierung der g-Wert Berechnung	95
4.2	Validierung der U-Wert Berechnung	97
4.3	Vergleich ISO 6946 und EN 673	98
5	Diskussion der Ergebnisse	100
6	Bilderverzeichnis	102
7	Tabellenverzeichnis	106
8	Literaturverzeichnis	107

Anlage zum IBP-Abschlussbericht IL-001/000/2019

Berichtsteil ILEK

Bewertungsverfahren Leichtbau

Entwicklung eines vereinfachten Bewertungsverfahrens zur Bestimmung der wärmetechnischen Eigenschaften (U-Wert, g-Wert) von Membranhüllen-Konstruktionen

Dieser Abschlussbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen SWD-10.08.18.7-15.04). Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Der Bericht umfasst

135	Seiten Text
28	Tabellen
134	Abbildungen

Walter Haase, Clemens Freitag,
Bearbeitungsstelle ILEK
Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren
Direktor:
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Dr. h.c. Werner Sobek
Pfaffenwaldring 7 + 14
70569 Stuttgart
Telefon 0711 / 685 63599
Telefax 0711 / 685 66968

Projektbearbeitung: Dipl.-Ing. Clemens Freitag
Projektunterstützung: B.Sc. Theo Baur,
B.Sc. Christoph Pfeil,
B.Sc. Jan Bolay
Projektleitung: Dr.-Ing. Walter Haase
Berichterstellung: Dr.-Ing. Walter Haase,
Dipl.-Ing. Clemens Freitag,
B.Sc. Jan Bolay

Stuttgart, 22. Juli 2019

Inhalt

1	Einführung	6
2	Übersicht der ILEK-Arbeitspakete	7
3	Bauphysikalische und normative Grundlagen	8
3.1	U-Wert-Berechnung nach Norm.....	8
3.2	Begriffe.....	9
3.3	Berechnungsverfahren.....	9
3.4	Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten nach DIN EN ISO 6946:2018.....	10
3.4.1	Wärmeübergangswiderstände.....	11
3.4.2	Wärmedurchlasswiderstand von Luftschichten.....	11
3.5	Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten nach DIN EN ISO 6946:2018 Anhang D.....	12
3.6	U-Wert-Berechnung basierend auf der Messdatenauswertung.....	16
3.7	U-Wert-Berechnung mit dem Layer Tool.....	17
3.7.1	„Full Analysis“ (Komplettanalyse) Modus.....	18
3.8	Gesamtenergiedurchlassgrad.....	21
3.9	Begriffe.....	21
3.10	Berechnung des Gesamtenergiedurchlassgrades.....	22
4	Messtechnische Infrastruktur am ILEK	23
4.1	Hotbox.....	23
4.1.1	Aufbau der ILEK-Hotbox.....	24
4.1.2	Referenzmessungen an einem Probekörper aus 100 mm dickem Polystyrol.....	27
4.1.3	Exemplarische Probenkonfektionierung für die Hotbox.....	33
4.2	Dachprüfstand.....	35
4.2.1	Messtechnik.....	36
4.2.2	Vorbereitende Messungen.....	41
4.2.3	Einrichten des Dachprüfstands.....	45
4.3	Aktivhaus B10.....	46
4.3.1	Messtechnische Infrastruktur im Forschungsgebäude.....	47
4.3.2	Testfassade aus Sky-Frame-Profilen und Vakuumisolierverglasung.....	49
4.3.3	Installation, Anschluss und Inbetriebnahme der Sensoren.....	49
4.4	Fassadenprüfstand.....	53

4.4.1	Allgemeine Informationen und Konstruktion	54
4.5	Spektralphotometer	56
5	Messungen im geregelten Heizkasten (Hotbox).....	58
5.1	Zweilagiger textiler Aufbau ohne Funktionsmaterialien	58
5.2	Dreilagiger textiler Aufbau ohne Funktionsmaterialien	59
5.2.1	Dreilagiger textiler Aufbau ohne Funktionsmaterialien: Duraskin B1915.....	61
5.2.2	Dreilagiger textiler Aufbau ohne Funktionsmaterialien: Duraskin B4915.....	63
5.2.3	Dreilagiger textiler Aufbau ohne Funktionsmaterialien: Duraskin B18059.....	64
5.2.4	Dreilagiger textiler Aufbau ohne Funktionsmaterialien: Duraskin B18089.....	65
5.2.5	Dreilagiger textiler Aufbau ohne Funktionsmaterialien: Duraskin B28050.....	66
5.3	Zweilagiger textiler Aufbau mit Funktionsmaterialien	67
5.3.1	Zweilagiger textiler Aufbau mit Funktionsmaterialien: Wabenaufbau 1 Wacotech Wavecore PET150-18/S.....	68
5.3.2	Zweilagiger textiler Aufbau mit Funktionsmaterialien: Wabenaufbau 2 Wacotech Timax CA 40-FR.....	70
5.3.3	Zweilagiger textiler Aufbau mit Funktionsmaterialien: Glasfasergespinst Wacotech TIMax GL-PlusF	72
5.3.4	Zweilagiger textiler Aufbau mit Funktionsmaterialien: PES-Akustikvlies ARAKO	74
5.4	Dreilagiges pneumatisches Kissen aus ETFE-Folien.....	76
5.5	Interpretation und Zusammenfassung der Ergebnisse	78
6	Versuchsdurchführung im Dachprüfstand.....	80
6.1	Dreilagiger textiler Aufbau mit Luftzwischenräumen.....	83
6.1.1	Darstellung der Messergebnisse	84
6.2	Zweilagiger textiler Aufbau mit Funktionsmaterialien	88
6.2.1	Darstellung der Messergebnisse	89
7	Versuchsdurchführung im Aktivhaus B10	94
7.1	Winter-Intervall 1.....	94
7.2	Winter-Intervall 2.....	98
7.3	Winter-Intervall 3.....	102
7.4	Sommer-Intervall	106
7.5	Interpretation und Zusammenfassung der Ergebnisse.....	109
8	Versuchsdurchführung im Fassadenprüfstand	110
8.1	Elektrochrome Verglasungen.....	110

8.2	Eigenschaften der elektrochrome Verglasung:.....	112
8.3	Referenzverglasung mit invarianten Eigenschaften	112
8.4	Eigenschaften der Referenzverglasung	113
8.5	Versuchsaufbau.....	113
8.6	Darstellung der Messergebnisse.....	115
8.6.1	Nachtintervall	117
8.6.2	Tagesintervall.....	119
8.7	Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten einer elektrochromen Verglasung	121
8.8	Interpretation und Zusammenfassung der Ergebnisse der Messungen.....	123
9	U-Wert-Bestimmung mit dem greenTEG-System gSKIN KIT-2615C.....	124
9.1	U-Wert-Messverfahren des greenTEG-Systems.....	124
9.2	Exemplarische U-Wert-Messungen mit dem greenTEG-System an einem zweilagigen textilen Aufbau mit Funktionslage in der ILEK-Hotbox	125
9.3	Exemplarische U-Wert-Messungen mit dem greenTEG-System an einer schaltbaren Flüssigkristall-Verglasung im ILEK-Fassadenprüfstand	130
10	Zusammenfassung der Ergebnisse der Messungen an Membranhüllen und an adaptiven Verglasungen.....	136
11	Abbildungsverzeichnis	138
12	Tabellenverzeichnis	144
13	Literaturverzeichnis	146