

Marzena Husser, Walter Haase

Adaptive Verglasungssysteme
Einsatzbereiche, energetische und
tageslichttechnische Evaluierung,
Regelungsstrategien

F 3044

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 reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2017

ISBN 978-3-7388-0084-5

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/bauforschung



Adaptive Verglasungssysteme

Einsatzbereiche, energetische und tageslichttechnische
Evaluierung, Regelungsstrategien



Universität Stuttgart

Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren

Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek

Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák

Jun.-Prof. Dipl.-Ing. Dirk A. Schwede, PhD



Vorhabenbezeichnung:	Vergleichende Bewertung adaptiver Verglasungssysteme. Einsatzbereiche, energetische und tageslichttechnische Evaluierung, Regelungsstrategien.
Zuwendungsempfänger:	Universität Stuttgart Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren Pfaffenwaldring 7 und 14 70569 Stuttgart
Förderkennzeichen:	SWD-10.08.18.7-12.35
Projektsumme / Förderanteil:	211.255,50 € / 153.955,50 €
Förderstelle:	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Projektleitung:	Dr.-Ing. Walter Haase
Wissenschaftliche Mitarbeiterin:	Mgr inz. arch. Marzena Husser
Phys.-techn. Assistent:	Julian Rettig
Werkstattmitarbeiter:	Jürgen Braig, Markus Berndt
Studentische Mitarbeiter:	Laura Meier, Caroline Grahl, Patrick Hoß, Marco Houchmand, Tatjana Debler, Pascal Keppler, Paul Müller, Sahar Afshoon, Jasmin Sadegh, Sophia Leistner, Ema Bllama, Liliana Draganova
Projektlaufzeit:	15.10.2012 – 30.09.2016 Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. Werner Sobek Prof. Dr.-Ing. Balthasar Novák Jun.-Prof. Dipl.-Ing. Dirk A. Schwede, PhD Pfaffenwaldring 7 und 14 70569 Stuttgart Telefon 0711 / 685 63599 Telefax 0711 / 685 63789

Titelbild: Fassadenprüfstand des ILEK, Phot.: G. Metzger, ILEK.

Der Bericht umfasst 276 Seiten. Die Verantwortung für den Inhalt des Berichts liegt bei den Autoren.

Stuttgart, 01.07.2017

Mgr inz. arch. Marzena Husser, Dr.-Ing. Walter Haase



Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	13
1.1	Einführung	13
1.2	Zeit- und Arbeitsplanung, Projektdurchführung, Verwertungsaktivitäten	13
2	Recherche zum Stand der Technik und zu Produkten • AP 1	15
2.1	Datengrundlage der Recherche, Marktanalyse	15
2.1.1	Primärerhebung	15
2.1.2	Sekundärerhebung.....	15
2.2	Recherche der abgeschlossenen Forschungsvorhaben im Bereich der Entwicklung schaltbarer Systeme	16
2.3	Vorstellung der im Projekt analysierten Verglasungen	17
2.3.1	Selbstregelnde Systeme	18
2.3.1.1	Thermochrome Verglasungen	18
2.3.1.2	Thermotrope Systeme	20
2.3.2	Steuerbare Systeme	23
2.3.2.1	Elektrochrome Verglasungen	23
2.3.2.2	Heizglas	26
2.3.2.3	Verglasungen mit Jalousien im Scheibenzwischenraum	27
2.3.3	Systeminvariante Verglasungen	28
2.3.3.1	Systeme mit Mikrolamellen im Scheibenzwischenraum	28
2.3.3.2	Verglasungen mit integrierten Reflektionsprofilen	30
3	Aufbau einer Datenstruktur • AP 2	31
4	Ergänzung der Kenndaten der recherchierten Systeme • AP 3	32
4.1	Selbstregelnde Systeme	34
4.1.1	Thermochrome Verglasung: Suntuitive® Dynamic Glass (Typ Suntuitive® Azuria).....	34
4.1.2	Thermotropes System: GLASSX®crystal	36
4.2	Steuerbare Systeme	38
4.2.1	Elektrochrome Verglasung: ECONTROL® smart 55/10	38
4.2.2	Elektrochrome Verglasung: SageGlass® classic.....	39
4.2.3	Heizglas: Ipatherm-Heizglas.....	40
4.2.4	Verglasung mit Jalousien im Scheibenzwischenraum: OKAFLEX Typ E.....	42
4.3	Systeminvariante Verglasungen	44
4.3.1	System mit Mikrolamellen im Scheibenzwischenraum: MicroShade® MS-A Vertical	44
4.3.2	Verglasung mit integrierten Reflektionsprofilen: OKASOLAR F O/U.....	47
4.4	Verglasungen mit konstanten Eigenschaften (Referenzverglasungen)	49
4.4.1	Referenzverglasung 1: Zweifachwärmeschutzverglasung	49
4.4.2	Referenzverglasung 2: OKATHERM Funktions-Isolierglas.....	49
4.4.3	Referenzverglasung 3: Zweifachwärmeschutzverglasung mit außenliegenden Jalousien	50



5	Energetische Betrachtungen zur Effektivität der Verglasungen • AP 4 Analyse der Helligkeitsverteilung beim Einsatz der Verglasungen • AP 5 Untersuchungsmethoden	51
5.1	Fassadentestgebäude	51
5.2	Computersimulationen	57
5.2.1	Simulationsaufbau	57
5.2.1.1	Modellierung der Verglasungseigenschaften mit der Software Window/Optics	57
5.2.1.2	Ecotect/Sketchup	58
5.2.1.3	TRNSYS	58
5.2.1.4	Daysim	58
5.2.2	Simulationsbedingungen	59
5.2.2.1	Auswahl repräsentativer Orte	59
5.2.2.2	Auswahl repräsentativer Nutzungsszenarien: Analyse der Komfortanforderungen	63
5.2.2.3	Auswahl repräsentativer Nutzungsszenarien: Raumsimulationsmodelle	65
5.2.2.4	Auswahl repräsentativer Nutzungsszenarien: Nutzungszeiten	67
6	Regelungsstrategien für steuerbare Systeme • AP 7	68
6.1	Regelungsstrategie I (RS I)	68
6.2	Regelungsstrategie II (RS II)	70
6.3	Regelungsstrategie III (RS III)	71
6.4	Regelungsstrategie IV (RS IV)	75
7	Energetische Betrachtungen zur Effektivität der Verglasungen • AP 4 Ergebnisse.....	78
7.1	Selbstregelnde Systeme	79
7.1.1	Thermochrome Verglasung: Suntuitive® Dynamic Glass	79
7.1.2	Thermotrope Verglasung: GLASSX® crystal	81
7.2	Steuerbare Systeme	82
7.2.1	Elektrochrome Verglasung: ECONTROL® smart 55/10	82
7.2.1.1	Elektrochrome Verglasung: ECONTROL® smart 55/10 – ergänzende Untersuchungen (Einfluss der Schaltzeiten auf die Simulationsergebnisse)	85
7.2.1.2	Elektrochrome Verglasung: ECONTROL® smart 55/10 – ergänzende Untersuchungen (Leistungsmessungen)	87
7.2.2	Elektrochrome Verglasung: SageGlass® classic.....	89
7.2.2.1	Elektrochrome Verglasung: SageGlass® classic – ergänzende Untersuchungen (Optimierungsansatz)	90
7.2.3	Heizglas: Ipatherm-Heizglas.....	93
7.2.4	Verglasung mit Jalousien im Scheibenzwischenraum: OKAFLEX Typ E.....	95
7.3	Systeminvariante Verglasungen	97
7.3.1	System mit Mikrolamellen im Scheibenzwischenraum: MicroShade® MS-A Vertical	97
7.3.2	Verglasung mit integrierten Reflektionsprofilen: OKASOLAR F O/U.....	98
7.4	Verglasungen mit konstanten Eigenschaften (Referenzverglasungen)	98



7.4.1	Referenzverglasung 2: OKATHERM – ergänzende Untersuchungen (Einfluss der Standardisierungsmethode für Verglasungskennwerte auf die Simulationsergebnisse)	99
8	Analyse der Helligkeitsverteilung beim Einsatz der Verglasungen • AP 5 Ergebnisse	101
8.1	Allgemeine Untersuchungen zum Blendungsrisiko	101
8.2	Selbstregelnde Systeme	102
8.2.1	Thermochrome Verglasung: Suntuitive® Dynamic Glass	102
8.2.1.1	Blendung	102
8.2.1.2	Tageslichtnutzung	103
8.2.2	Thermotrope Verglasung: GLASSX® crystal	106
8.2.2.1	Tageslichtnutzung	106
8.3	Steuerbare Systeme	109
8.3.1	Elektrochrome Verglasung: ECONTROL® smart 55/10	109
8.3.1.1	Blendung	109
8.3.1.2	Tageslichtnutzung	112
8.3.2	Elektrochrome Verglasung: SageGlass® classic	119
8.3.2.1	Blendung	119
8.3.2.2	Tageslichtnutzung	122
8.3.2.3	Elektrochrome Verglasung: SageGlass® classic – ergänzende Untersuchungen (Optimierungsansatz)	125
8.3.3	Heizglas: Ipatherm-Heizglas	131
8.3.3.1	Blendung	131
8.3.3.2	Tageslichtnutzung	131
8.3.4	Verglasung mit Jalousien im Scheibenzwischenraum: OKAFLEX Typ E	134
8.3.4.1	Blendung	134
8.3.4.2	Tageslichtnutzung	134
8.4	Systeminvariante Verglasungen	137
8.4.1	System mit Mikrolamellen im Scheibenzwischenraum: MicroShade® MS-A Vertical	137
8.4.1.1	Blendung	137
8.4.1.2	Tageslichtnutzung	137
8.4.2	Verglasung mit integrierten Reflektionsprofilen: OKASOLAR F O/U	141
9	Anwendungsvorschläge für adaptive Verglasungen • AP 6	142
9.1	Selbstregelnde Systeme	142
9.1.1	Thermochrome Verglasung: Suntuitive® Dynamic Glass	142
9.1.2	Thermotropes System: GLASSX® crystal	142
9.2	Steuerbare Systeme	143
9.2.1	Elektrochrome Verglasung: ECONTROL® smart 55/10	143
9.2.2	Elektrochrome Verglasung: SageGlass® classic	143
9.2.3	Heizglas: Ipatherm-Heizglas	144
9.2.4	Verglasung mit Jalousien im Scheibenzwischenraum: OKAFLEX Typ E	144
9.3	Systeminvariante Verglasungen	145
9.3.1	System mit Mikrolamellen im Scheibenzwischenraum: MicroShade® MS-A Vertical	145



9.3.2	Verglasung mit integrierten Reflektionsprofilen: OKASOLAR F O/U.....	145
9.4	Übersicht der untersuchten Verglasungssysteme	145
10	Anhang 1: Vergleich der Berechnungsmethoden für Verglasungskennwerte nach amerikanischen und europäischen Standards.....	147
11	Anhang 2: Normative Anforderungen verschiedener Gebäudenutzungen	149
11.1	Bürogebäude	149
11.2	Schulbau.....	151
12	Anhang 3: Analyse der Adaptationsvorgänge an ausgewählten Tagen	153
12.1	Selbstregelnde Systeme	154
12.1.1	Thermochrome Verglasung: Suntuitive® Dynamic Glass (Typ Suntuitive® Azuria).....	154
12.1.1.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	154
12.1.1.2	Tagesanalysen auf der Basis des Monitorings im Fassadenprüfstand.....	162
12.1.2	Thermotropes System: GLASSX® crystal	167
12.1.2.1	Tagesanalysen auf der Basis des Monitorings im Fassadenprüfstand.....	167
12.2	Steuerbare Systeme	172
12.2.1	Elektrochrome Verglasung: ECONTROL® smart 55/10	172
12.2.1.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	172
12.2.1.2	Tagesanalysen auf der Basis des Monitorings im Fassadenprüfstand.....	185
12.2.2	Elektrochrome Verglasung: SageGlass® classic.....	187
12.2.2.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	187
12.2.2.2	Tagesanalysen auf der Basis des Monitorings im Fassadenprüfstand.....	196
12.2.3	Heizglas: Ipatherm-Heizglas.....	199
12.2.3.1	Tagesanalysen auf der Basis des Monitorings im Fassadenprüfstand.....	199
12.2.4	Verglasung mit Jalousien im Scheibenzwischenraum: OKAFLEX Typ E.....	206
12.2.4.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	206
12.3	Systeminvariante Verglasungen	215
12.3.1	System mit Mikrolamellen im Scheibenzwischenraum: MicroShade® MS-A Vertical	215
12.3.1.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	215
12.3.1.2	Tagesanalysen auf der Basis des Monitorings im Fassadenprüfstand.....	226
12.4	Verglasungen mit konstanten Eigenschaften (Referenzverglasungen)	228
12.4.1	Referenzverglasung 1: Zweifachwärmeschutzverglasung	228
12.4.1.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	228
12.4.2	Referenzverglasung 2: OKATHERM Funktions-Isolierglas.....	237
12.4.2.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	237
12.4.3	Referenzverglasung 3: Zweifachwärmeschutzverglasung mit außenliegender Jalousie	242
12.4.3.1	Tagesanalysen auf der Basis von numerischen Simulationen	242
13	Verzeichnisse	259
13.1	Abbildungsverzeichnis	259



13.2	Tabellenverzeichnis.....	272
13.3	Formelverzeichnis	273
13.4	Abkürzungsverzeichnis	273
13.5	Literaturverzeichnis	273