

Walter Haase, Bürde Gültekin  
Mohammed Metwally, Julian Rettig

# **TN-Technologie für den Einsatz in Architekturverglasungen**

F 3047

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

2017

ISBN 978-3-7388-0085-2

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

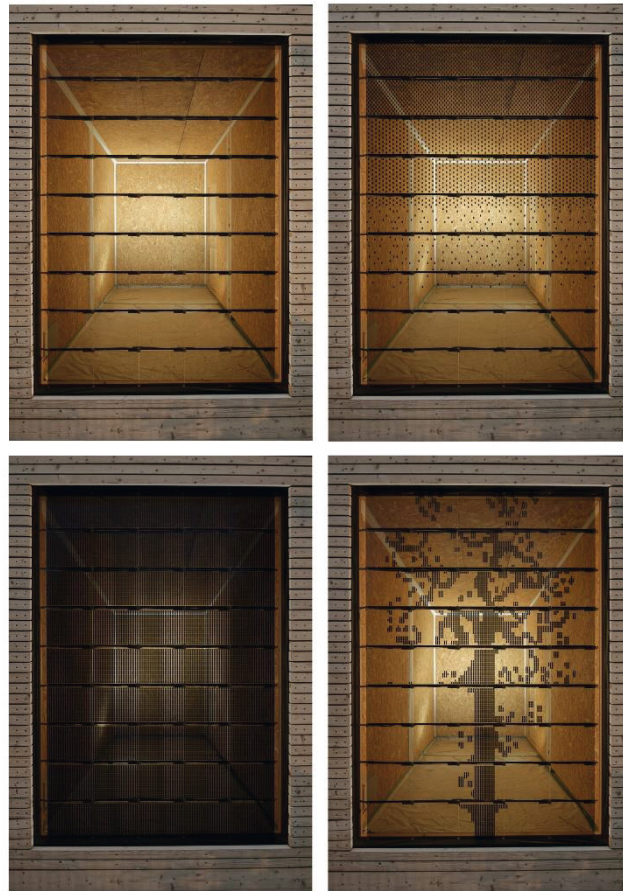
E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

[www.irb.fraunhofer.de/tauforschung](http://www.irb.fraunhofer.de/tauforschung)



## TN-Technologie für den Einsatz in Architekturverglasungen



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: TN-Technologie für den Einsatz in Architekturverglasungen

Zuwendungsempfänger: Universität Stuttgart  
Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren  
Pfaffenwaldring 7 und 14  
70569 Stuttgart

Förderkennzeichen: SWD-10.08.18.7-13.26

Förderstelle: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Projektsumme: 400.293,74 €  
Fördermittelanteil: 279.121,74 €

Projektleitung: Dr.-Ing. Walter Haase

Mitarbeiter: M.I.Arch., B.In.Dsn. Bürde Gültekin  
Dipl.-Ing. Mohammed Metwally  
Julian Rettig (Physikalisch-technischer Assistent)

Studentische Mitarbeiter: Christina Fuchs, Onur Solmaz, Ema Bllama

Projektlaufzeit: 18.07.2013 – 30.11.2016

Berichtszeitraum: 18.07.2013 – 30.11.2016

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

Dieser Forschungsbericht umfasst 112 Seiten.  
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.  
Stuttgart, 31.07.2017

Dr.-Ing. Walter Haase



**INHALTSVERZEICHNIS**

**DANKSAGUNG ..... 5**

**1 ALLGEMEINES ..... 11**

1.1 Ziel des Forschungsvorhabens ..... 11

1.2 Motivation ..... 11

1.3 Zeit- und Arbeitsplanung ..... 11

1.4 Ergebnisverwertung und Veröffentlichungen ..... 13

1.5 Testumgebung für Kurz- und Langzeitversuche..... 14

1.6 Marktpotentiale ..... 16

1.6.1 Datengrundlage der Recherche, Marktanalyse ..... 16

1.6.2 Primärerhebung ..... 16

1.6.3 Sekundärerhebung ..... 17

**2 RECHERCHE ZU KOMPONENTEN UND FERTIGUNGSMÖGLICHKEITEN • AP 1..... 18**

2.1 Aufbau einer TN-Zelle..... 18

2.2 Funktionsweise einer TN-Zelle ..... 19

2.2.1 Folienpolarisatoren ..... 19

2.2.2 Glassubstrate ..... 19

2.2.3 Klebstoffe..... 19

2.2.4 Beschichtungen ..... 20

2.2.5 Flüssigkristalle..... 20

2.3 Recherche zu den Fertigungsmöglichkeiten einer schaltbaren TN-Zelle ..... 20

2.3.1 Herstellung von TN-Modulen ..... 20

2.4 Verfügbare TN-Zellen-Varianten ..... 21

2.4.1 Monopixel-Zelle (Shutter-Zelle)..... 21

2.4.2 Module (Multipixel-Zelle) ..... 22

2.5 Einbindung der TN-Module in eine Isolierverglasung ..... 23

2.5.1 Recherche zu Einbindungsmöglichkeiten der TN-Module in eine Isolierverglasung ..... 23

2.5.2 Herstellung von Befestigungselementen zur Montage in der Isolierverglasung ..... 24

**3 CHARAKTERISIERUNG DER KOMPONENTEN UND DER ZELLEN • AP 2 UND AP 6..... 27**

3.1 Monopixel-Zelle (Shutter-Zelle)..... 27

3.2 Spektrometrische Vermessung der Monopixel-Zelle ..... 27

3.3 Spektrometrische Vermessung der Polarisatorfolien ..... 30



3.4	Eigenschaften der Module .....	31
3.5	Werkstoffliche Bewertung einzelner Komponenten .....	33
<b>4</b>	<b>AUSLEGUNG DES ZELLENAUFBAUS • AP 3 .....</b>	<b>34</b>
4.1	Simulation der TN-Zelle.....	35
<b>5</b>	<b>HERSTELLUNG VON MUSTERZELLEN UND ISOLIERGLÄSER • AP 4 .....</b>	<b>36</b>
5.1	Monopixel-Zelle (Shutter-Zelle).....	36
5.2	Multipixel-Zelle .....	36
5.2.1	Ansteuerelektronik für die Multipixel-Zelle .....	36
5.2.2	Strukturierung in Bildpunkte .....	38
5.3	Module im Testrahmen .....	38
5.4	Musterisolierglas mit Multipixel-Zellen im Kleinformat .....	41
5.5	Musterglas mit Multipixel-Zellen im Großformat .....	41
5.5.1	Ausrichtung der Module sowie der Modultreiber für die Montage .....	41
5.5.2	Anbringen der Befestigungselemente bei der Firma OKALUX GmbH .....	42
<b>6</b>	<b>ANSTEUERUNG DER SCHALTBAREN VERGLASUNGEN .....</b>	<b>46</b>
6.1	Entwicklung von Software-Tools .....	51
<b>7</b>	<b>KURZZEIT- UND LANGZEITVERSUCHE • AP 5 .....</b>	<b>53</b>
7.1	Monopixel-Zelle (Shutter-Zelle).....	53
7.1.1	Untersuchung der Schaltcharakteristik .....	53
7.1.2	Aufbau der Messschaltung .....	54
7.1.3	Vorversuche am Messsystem zur Schaltgeschwindigkeitserfassung .....	55
7.1.4	Messung zur Bestimmung der Schalteigenschaft der Shutter-Zelle.....	56
7.1.5	Auswertung der Messergebnisse zur Schaltzeitermittlung .....	58
7.1.6	Zusammenfassung der Messergebnisse .....	60
7.1.7	Ermittelte Schaltzeiten bei Extremtemperaturen .....	61
7.2	Multipixel-Zelle .....	61
7.2.1	Untersuchung der Schaltcharakteristik .....	61
7.2.2	Messungen zur Bestimmung der Schalteigenschaft der Multipixel-Module .....	62
7.2.3	Auswertung der Messergebnisse zur Schaltzeitermittlung .....	62
7.2.4	Zusammenfassung der Messergebnisse .....	64
7.2.5	Untersuchung der Leistungsaufnahme der Multipixel-Zelle.....	65
7.2.6	Versuchsdurchführung.....	65
7.2.7	Auswertung der Messergebnisse .....	66
7.3	Multipixel-Zellen in der Anordnung im Profilrahmen (3 x 5 Anordnung) .....	68
7.3.1	Versuche im Sonnensimulator .....	68
7.3.2	Messungen der Oberflächentemperatur an den Modulen .....	74



---

7.4	Voruntersuchungen zur Montage der Multipixel-Module in einem Isolierglasaufbau .....	79
7.4.1	Klebeversuche für Befestigungselemente .....	79
7.4.2	Tageslichtmessung im Fassadentestgebäude.....	84
7.5	Herstellung von Proben für Langzeitversuche im Freiland .....	95
7.5.1	Laminieren von Polarisationsfolien in einem Glasscheibenverbund mittels TPU-Folie .....	96
7.6	Vermessen der Langzeitproben .....	98
<b>8</b>	<b>BEWERTUNG DER LANGZEITSTABILITÄT UND DER MARKTFÄHIGKEIT • AP 7.....</b>	<b>103</b>
<b>9</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>105</b>
9.1	Abbildungsverzeichnis .....	105
9.2	Tabellenverzeichnis .....	109
9.3	Abkürzungsverzeichnis .....	110
9.4	Literaturverzeichnis .....	111