

Christiane Maierhofer, Mathias Röllig  
Henrik Steinfurth, Sven Augustin, Rüdiger Mecke  
Michael Schiller, Alexa Kernchen, Uwe Kalisch  
Jeannine Meinhardt, Christiane Hennen

**Erfassung und Bewertung  
von sicherheitsrelevanten  
Ablösungsprozessen bei Putzen und  
Fassadenelementen mit zerstörungs-  
freien Mess- und Prüfverfahren**  
**ERBE**

F 2980

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung -BMVBS- 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

2016

ISBN 978-3-8167-9678-7

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)

## Abschlussbericht

# ERBE

### Erfassung und Bewertung von sicherheitsrelevanten Ablösungsprozessen bei Putzen und Fassadenelementen mit zerstörungsfreien Mess- und Prüfverfahren

#### Projektleiterin:

Christiane Maierhofer<sup>1</sup>

#### Bearbeiter(innen):

Mathias Röllig<sup>1</sup>, Henrik Steinfurth<sup>1</sup>, Sven Augustin<sup>1</sup>  
Rüdiger Mecke<sup>2</sup>, Michael Schiller<sup>2</sup>, Alexa Kernchen<sup>2</sup>  
Uwe Kalisch<sup>3</sup>, Jeannine Meinhardt<sup>3</sup>, Christiane Hennen<sup>4</sup>,  
Ernst Thomas Groll<sup>5</sup>, Torsten Arnold<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM), FB 8.7, Berlin

<sup>2</sup>Fraunhofer Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung (IFF), Magdeburg

<sup>3</sup>Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmälern in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK), Halle

<sup>4</sup>Christiane Hennen, Bauforschung - Denkmalpflege, Wittenberg

<sup>5</sup>Ernst Thomas Groll, Restaurator, Magdeburg

<sup>6</sup>Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt, Halle

Das Forschungsprojekt wird im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: **II 3-F20-12-1-108 / SWD -10.08.18.7-13.42**)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt bei den Autoren.

<b>Erfassung und Bewertung von sicherheitsrelevanten Ablösungsprozessen bei Putzen und Fassadenelementen mit zerstörungsfreien Mess- und Prüfverfahren</b>		Forschungsinitiative Zukunft Bau SF- SWD – 10.08.18.7- 13.42BAM Vh 8463	
<b>Dokument:</b>	Abschlussbericht		
<b>Autor:</b>	Ch. Maierhofer, BAM 8.7	<b>Status:</b>	final
<b>Datum:</b>	11.11.2015	<b>Version:</b>	4

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung zum Abschlussbericht</b> .....	<b>5</b>
<b>2 Ziele und Inhalt</b> .....	<b>6</b>
<b>3 Überblick, Stand der Technik</b> .....	<b>9</b>
<b>4 Ergebnisse der Geräteweiterentwicklungen</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1 Photogrammetrische 3D-Erfassung</b> .....	<b>11</b>
4.1.1 Optimierung der Sensorhalterung .....	11
4.1.2 Software für die Stereoberechnung.....	11
4.1.3 Genauigkeitsuntersuchungen.....	12
<b>4.2 Das Ristrackingverfahren</b> .....	<b>13</b>
4.2.1 Genauigkeitsuntersuchungen des Messwerkzeuges (Reproduzierbarkeit).....	14
4.2.2 Verbesserungen des Messstabs .....	14
4.2.3 Verbesserung des Systemaufbaus.....	15
4.2.4 Weiterentwicklung der Softwaretools .....	16
<b>4.3 Die aktive Thermografie</b> .....	<b>18</b>
4.3.1 Herstellung der Probekörper .....	18
4.3.2 Messungen an den Probekörpern .....	19
4.3.3 Darstellung der Messergebnisse und Diskussion .....	19
4.3.5 Geometrische Kalibrierung der Kamerasysteme .....	24
<b>5 Datenfusion und -visualisierung</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1 Fusion von 3D-Punktwolken mit 2D-Thermogrammen</b> .....	<b>24</b>
<b>5.2 Überlagerung von 3D-Rissdaten auf 2D-Bildern</b> .....	<b>25</b>
<b>5.3 Fusion von 2D-Bildern</b> .....	<b>26</b>
<b>6 Merkblätter zu den Verfahren</b> .....	<b>26</b>
<b>7 Beschreibungen und Ergebnisse der Fallstudien</b> .....	<b>26</b>
<b>7.1 Putzritzungen am Magdeburger Dom</b> .....	<b>26</b>
7.1.1 Beschreibung der Fallstudie .....	26
7.1.2 Ergebnisse der Messungen mit Stereosensor und Laserscanner.....	31
7.1.3 Ergebnisse der Messungen mit aktiver Thermografie.....	34
7.1.4 Datenfusion.....	38
<b>7.2 Wandbild in Cobbelsdorf</b> .....	<b>40</b>
7.2.1 Beschreibung der Fallstudie .....	40
7.2.2 Aktive Thermografie .....	41
7.2.3 Risskartierung .....	46
7.2.4 Datenfusion.....	49
<b>7.3 Fliesenbild in Halle-Neustadt</b> .....	<b>50</b>

7.3.1 Beschreibung der Fallstudie .....	50
7.3.2 Aktive Thermografie mit Sonnenerwärmung .....	53
<b>7.4 PV-Module als Fassadenelemente beim EffizienzhausPlus in Berlin.....</b>	<b>56</b>
7.4.1 Beschreibung der Fallstudie .....	56
7.4.2 Aktive Thermografie mit Sonnenerwärmung .....	56
<b>7.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Fallstudien.....</b>	<b>58</b>
<b>8 Zusammenfassung: Innovationen und deren Umsetzung in die Praxis .....</b>	<b>60</b>
<b>8.1 Wesentliche Innovationen im Projekt.....</b>	<b>60</b>
<b>8.2 Umsetzung der Projektergebnisse in die Praxis.....</b>	<b>61</b>
<b>8.3 Information der Fachwelt über die Forschungsergebnisse .....</b>	<b>62</b>
<b>9 Ausblick.....</b>	<b>63</b>
<b>Dank.....</b>	<b>64</b>

#### **Anhang 1:**

Merkblatt 1 - Trackingbasiertes Verfahren zur 3D-Erfassung oberflächennaher Schäden und Verformungen an Bauwerken und Bauteilen

#### **Anhang 2:**

Merkblatt 2 - Stereophotogrammetrie - ein Verfahren zur 3D Kartierung oberflächennaher Schäden und Verformungen an Bauwerken und Bauteilen

#### **Anhang 3:**

Merkblatt 3 – Geometrische Kalibrierung einer Infrarot-Kamera durch Ermittlung der inneren Kameraparameter

#### **Anhang 4:**

Merkblatt 4 - Aktive Thermografie mit Sonnenerwärmung zur Ortung und Charakterisierung von Fassadenablösungen

#### **Anhang 5:**

Merkblatt 5 - Fusion von 2D-Bilddaten zur Unterstützung der Bewertung von oberflächennahen Schäden an Bauwerken und Bauteilen