

# Quantifizierung der Resttragfähigkeit von Verbundglas

REST-VSG: Rechnerische und Experimentelle  
Studien zur Ermittlung der Resttragfähigkeit  
von VSG

**T 3378**

T 3378

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

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.

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 978-3-7388-0591-8

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)

# Forschungsvorhaben: Quantifizierung der Resttragfähigkeit von Verbundglas

REST-VSG: Rechnerische und Experimentelle Studien zur Ermittlung der  
Resttragfähigkeit von VSG

## Inhalt

1	Einleitung.....	1
2	AP1: Literaturrecherche .....	1
2.1	Stand der Technik.....	1
2.1.1	Kugelfallversuch.....	2
2.1.2	Pendelschlagversuch.....	3
2.1.3	Druckscherversuch / Kompressionsscherversuch .....	4
2.1.4	Pummeltest .....	5
2.2	Stand der Forschung.....	12
2.2.1	Untersuchungen zur Zeit- und Temperaturabhängigkeit unter großen Verzerrungen .	13
2.2.2	Untersuchungen zum Bruchbild/ Rissverteilung und Lastabtrag .....	15
2.2.3	Untersuchungen zur Haftung .....	17
3	AP2: Haftung/Pummel/Haftscherversuche .....	22
3.1	Entwicklung eines Auswerteverfahrens für den Pummeltest.....	22
3.1.1	Zielsetzung.....	22
3.1.2	Versuchsauswertemethoden .....	22
3.1.3	Vereinheitlichung der Pummelskala .....	40
3.1.4	Neue Pummelskala .....	51
3.2	Pummeltests an Kleinproben.....	55
3.2.1	Versuchs- und Probekörperübersicht.....	55
3.2.2	Versuchsaufbau- und durchführung.....	56
3.2.3	Versuchsergebnisse .....	58
3.2.4	Abschlussarbeiten und Veröffentlichungen.....	71
3.3	Pummeltest an Großproben .....	72
3.3.1	Zielsetzung.....	72
3.3.2	Versuchs- und Probekörperübersicht .....	72
3.3.3	Versuchsaufbau und -durchführung.....	72
3.3.4	Versuchsauswertung.....	73
3.4	Haftscherversuche.....	79
3.4.1	Zielsetzung.....	79
3.4.2	Versuchsübersicht.....	79
3.4.3	Versuchsaufbau- und durchführung.....	80
3.4.4	Versuchsauswertung.....	80
4	AP3: Versuche zur Charakterisierung der Resttragfähigkeit .....	82
4.1	TCB – Test: Großteilversuche .....	83
4.1.1	Zielsetzung.....	83

4.1.2	Probekörperübersicht .....	84
4.1.3	Versuchsübersicht.....	86
4.1.4	Versuchsaufbau und -durchführung .....	87
4.1.5	Versuchsauswertung.....	89
4.2	TCB – Test: Kleinteilversuche .....	104
4.2.1	Zielsetzung.....	104
4.2.2	Versuchsübersicht.....	104
4.2.3	Versuchsauswertungsmethoden .....	108
4.2.4	Abschlussarbeiten und Veröffentlichungen-.....	112
4.3	Pendelschlagversuche .....	113
4.3.1	Zielsetzung.....	113
4.3.2	Versuchsübersicht.....	113
4.3.3	Versuchsaufbau- und durchführung .....	114
4.3.4	Versuchsauswertung.....	115
5	AP4: Übertragen auf Zwischenschicht .....	117
5.1	Unterschiedliche Materialeigenschaften.....	117
5.2	Pummeltest an Kleinproben .....	118
5.3	Pummeltest an Großproben .....	119
5.3.1	Zielsetzung.....	119
5.3.2	Versuchs- und Probekörperübersicht .....	120
5.3.3	Versuchsaufbau- und durchführung .....	120
5.3.4	Versuchsauswertung.....	120
5.4	TCB – Test: Großteilversuche .....	121
5.4.1	Zielsetzung.....	121
5.4.2	Versuchsübersicht.....	121
5.4.3	Versuchsaufbau und -durchführung .....	121
5.4.4	Versuchsauswertung.....	122
5.5	Pendelschlagversuch .....	127
5.5.1	Zielsetzung.....	127
5.5.2	Versuchsübersicht.....	127
5.5.3	Versuchsaufbau- und durchführung .....	127
5.5.4	Versuchsauswertung.....	127
6	Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse .....	129
6.1	Versuche zur Charakterisierung der Haftung.....	129
6.2	Versuche zur Charakterisierung der Resttragfähigkeit.....	132
6.3	Korrelation zwischen Versuchen zur Charakterisierung der Haftung .....	133

7	AP5: Normungsvorschlag .....	136
7.1	Charakterisierung der Haftung mittels Pummelversuch .....	136
7.2	Charakterisierung der Resttragfähigkeit mittels des TCB-Tests .....	140
7.3	Charakterisierung der Resttragfähigkeit mittels des Pendelschlagversuchs .....	142
8	Literaturangaben .....	146
9	Anhang .....	150
9.1	Geometrie der Klein-Pummelproben und den Lagerungsbedingungen.....	150
9.2	Bilder der gepummelten Kleinproben .....	156
9.3	Kraft-Zeit-Verläufe (rot) und Beschleunigungs-Zeit-Verläufe (Blau) .....	160
9.4	Lichteinstellungen – Aufnahme Pummelbilder .....	168
9.5	Matlab Codes zur auswertung der Pummeltests .....	168
9.6	Pummelauswertung – Darstellung des ausgewerteten Bereichs.....	177
9.7	Versuchsvorschrift Zwick TCB .....	193
9.8	Zusätzliche Daten zu den kleinen TCB Proben .....	195
9.9	Matlab Code zur Bestimmung der delaminierten Fläche .....	195
9.10	Bilder zur delaminierten Fläche .....	196