

Wolfram Jäger, Thomas Köberle, Angela Eckart  
Toralf Burkert, Volker Stoll, Carola Hauschild  
Beate Boekhoff

**Entwicklung einer zementfreien  
Injektionstechnologie auf  
Kalkbasis für historisch wertvolles,  
gipshaltiges Mauerwerk  
Abschlussbericht "IngiMa"**

**F 3149**

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 978-3-7388-0355-6

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 „IngjMa“**

### **„Entwicklung einer zementfreien Injektionstechnologie auf Kalkbasis für historisch wertvolles, gipshaltiges Mauerwerk“**

Az.: SWD-10.08.18.7-14.29

**Auftraggeber:** **Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)**  
Deichmanns Aue 31-37  
53179 Bonn

**Mitfinanziert durch:** **Lhoist**  
Rue de l'Industrie, 31  
B-1400 Nivelles Belgien

**DESOI GmbH**  
Gewerbestr. 16  
36148 Kalbach

**Jäger Ingenieure GmbH**  
Wichernstr. 12  
01445 Radebeul

**Solubel**  
Flachsstr. 3  
91207 Lauf/Neuhof

**Knauf Gips GmbH**  
Am Bahnhof 7  
97346 Iphofen

**MC Bauchemie**  
Am Kruppwald 1-8  
46238 Bottrop

**Mapei**  
Via Cafierro 22  
I-20158 Milano - Italien

**Auftragnehmer:** **Technische Universität Dresden**  
Fakultät Architektur  
Lehrstuhl Tragwerksplanung

**Projektleiter:** **o. Prof. Dr.-Ing. Wolfram Jäger, TU Dresden**  
Lehrstuhl Tragwerksplanung

**Bearbeiter:** **Dipl.-Geol. Thomas Köberle, TU Dresden, Lehrstuhl**  
Tragwerksplanung  
**Dipl.-Ing. Angela Eckart, Planungs- und Ingenieurbüro für**  
Bauwesen Radebeul  
**Dr.-Ing. Toralf Burkert, Jäger Ingenieure GmbH (Beratung)**  
**Dipl.-Ing. Volker Stoll, Planungs- und Ingenieurbüro für**  
Bauwesen Radebeul  
**Dipl.-Ing. Carola Hauschild, Planungs- und Ingenieurbüro für**  
Bauwesen Radebeul  
**Dipl.-Ing. Beate Boekhoff, TU Dresden, Lehrstuhl**  
Tragwerksplanung

**Datum:** **31. Dezember 2018**

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung sowie aus der Industrie (s.o.) gefördert. (Aktenzeichen: Az.: SWD-10.08.18.7-14.29)

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

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1	Zum Projekt .....	7
1.2	Problemstellung .....	8
1.3	Projektziele .....	9
1.4	Lösungsansatz, Methode .....	10
<b>2</b>	<b>Sulfathaltiges Mauerwerk, Eigenschaften und Probleme.....</b>	<b>11</b>
2.1	Schadensreaktionen.....	13
2.1.1	Ettringitbildung.....	13
2.1.2	Thaumasitbildung.....	15
<b>3</b>	<b>Optimierung der Verpresstechnologie .....</b>	<b>17</b>
3.1	Pumpfähigkeit der Suspensionen.....	17
3.2	Überprüfung der Schwind- und Sedimentationsneigung .....	18
3.3	Beobachtung des Verpressvorganges.....	20
3.4	Prüfung der Fließfähigkeit von Suspensionen .....	21
3.5	Optimierung Schaumtechnologie .....	24
<b>4</b>	<b>Prüfung der Sulfatbeständigkeit von Materialien auf unterschiedlicher Bindemittelbasis .....</b>	<b>28</b>
4.1	Tests zur Prüfung der Sulfatbeständigkeit.....	28
4.2	Prüfung der Sulfatbeständigkeit verschiedener handelsüblicher Materialien .....	32
4.2.1	Material.....	32
4.2.2	Durchführung.....	35
4.3	Ergebnisse der Sulfatbeständigkeitsprüfung .....	36
4.3.1	Romanzemente .....	36
4.3.2	Vorwiegend kalkgebundene Fertigmörtel.....	39
4.3.3	Vorwiegend latent-hydraulisch gebundene Mörtel .....	40
4.3.4	Puzzolanisch gebundene Mörtel .....	42
4.4	Zusammenfassung der Sulfatbeständigkeitstests.....	43
<b>5</b>	<b>Erstellung eines geeigneten Verpressmaterials .....</b>	<b>46</b>
5.1	Möglichkeiten zur Erstellung eines sulfatbeständigen Materials .....	46
5.1.1	Bindemittel auf der Basis von Kalk.....	46
5.1.2	Latent hydraulische beziehungsweise puzzolanische Bindemittel.....	47
5.1.3	Bindemittel auf Calciumsulfatbasis (Gips, Halbhydrat, Anhydrit) .....	49
5.2	Erstellung eines neuen Materials auf Calciumsulfatbasis.....	50
5.2.1	Prüfbedingungen .....	50
5.2.2	Verfügbare Bindemittel im Calciumsulfatsystem .....	51
5.2.3	Eingesetzte Materialien und Mischregime .....	53
5.2.4	Technologische Ziele für einen Injektionsmörtel .....	54
5.2.5	Arbeiten mit CASEA-Hochbrandgips .....	55
5.2.6	Geeignete Materialkombinationen für einen Injektionsmörtel .....	60



5.3	Erstellung eines neuen geschäumten Materials auf Calciumsulfatbasis.....	72
5.3.1	Schäumbarkeit .....	72
5.3.2	Versuche mit Aluminiumpulver .....	72
5.3.3	Versuche mit konventionellen Schaumbildnern.....	74
5.3.4	Einsatz von CASEA-Hochbrandgips für einen Injektionsschaummörtel .....	76
5.3.5	Schaummörtel .....	78
<b>6</b>	<b>Simulation des Mauerwerksversagens .....</b>	<b>81</b>
6.1	Eingangsdaten .....	81
6.1.1	Grundannahmen .....	81
6.1.2	Geometrie.....	81
6.1.3	Materialdaten.....	82
6.1.4	Lasten.....	83
6.2	Ergebnisse der Simulation .....	84
6.2.1	Elastisches System (Kleinmodell).....	84
6.2.2	Mörtel 2 trocken .....	86
6.2.3	Wandausschnitt .....	89
6.2.4	Mauerwerksdruckfestigkeit .....	91
6.3	Einordnung der Simulation .....	92
<b>7</b>	<b>Modellobjekte .....</b>	<b>93</b>
7.1	Modellmauer auf dem Versuchsgelände der TU Dresden .....	93
7.2	Schloss Steinort.....	93
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>101</b>
8.1	Technologien zum Verpressen von historischem Mauerwerk .....	101
8.1.1	Verfüllen von Hohlräumen.....	101
8.1.2	Herstellen des Kraftschlusses.....	102
8.1.3	Vernadeln und Verankern .....	102
8.1.4	Vorbereitung des Mauerwerks.....	102
8.1.5	Verpresstechnik und Verpressvorgang.....	102
8.2	Injektionsmaterial.....	103
8.2.1	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Mörteln und Simulation von Schädigungen .....	104
8.2.2	Prüfung von Fertigmörteln auf unterschiedlicher Bindemittelbasis .....	104
8.2.3	Bindemittelmischungen auf der Basis von Puzzolan .....	104
8.2.4	Injektionsmaterial auf Calciumsulfatbasis mit Kalkanteil.....	104
8.2.5	Injektionsschaummörtel.....	105
<b>9</b>	<b>Instandsetzung von historisch wertvollem, gipshaltigen Mauerwerk durch Injektionen - Aussagen und Hinweise für die Praxis .....</b>	<b>106</b>
9.1	Notwendigkeit und Ziel .....	106
9.1.1	Verfüllen/ Verpressen von Hohlräumen.....	107
9.1.2	Herstellen des Kraftschlusses.....	109
9.1.3	Verankern und Herstellen des Verbundes .....	109

9.2	Vorbereitung, Planung und Vergabe .....	110
9.2.1	Bestands- und Schadensaufnahme / Beurteilung des Mauerwerks .....	110
9.2.2	Planung .....	111
9.2.3	Vorbereitung der Vergabe und Vergabe .....	115
9.3	Vorbereiten, Verfugen und Setzen von Packern .....	116
9.4	Bohren .....	116
9.5	Technik zum Verpressen .....	116
9.6	Injektionsgut .....	117
9.7	Durchführung .....	118
9.8	Qualitätskontrolle und Injektionserfolg .....	120
9.9	Überwachung und Abrechnung .....	120
9.10	Dokumentation und Langzeitkontrolle von gipshaltigen Mauerwerksbauten .....	121
<b>10</b>	<b>Ausblick .....</b>	<b>123</b>
<b>11</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>124</b>