

**Untersuchungen zum Entwässerungsverhalten und zur Scherfestigkeitsentwicklung  
von einkomponentigen Ringspaltmörteln im Tunnelbau**

Zur Erlangung des akademischen Grades eines  
DOKTOR-INGENIEURS

Von der Fakultät für  
Bau- und Umweltingenieurwissenschaften  
der Ruhr-Universität Bochum  
genehmigte  
DISSERTATION  
von

Diplom-Ingenieurin Bou-Young Youn  
aus Essen

Bochum 2016

Tag der Einreichung: 20. Oktober 2015

Tag der mündlichen Prüfung: 22. Februar 2016

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. R. Breitenbücher  
Lehrstuhl für Baustofftechnik  
Ruhr-Universität Bochum

2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. M. Thewes  
Lehrstuhl für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb  
Ruhr-Universität Bochum

Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau

Herausgeber:  
Geschäftsführender Direktor des  
Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau  
Ruhr-Universität Bochum

Heft 2016-4

**Bou-Young Youn**

**Untersuchungen zum Entwässerungsverhalten  
und zur Scherfestigkeitsentwicklung von  
einkomponentigen Ringspaltmörteln im Tunnelbau**

Shaker Verlag  
Aachen 2016

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Bochum, Univ., Diss., 2016

Copyright Shaker Verlag 2016

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-4622-9

ISSN 1614-4384

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## INHALTSVERZEICHNIS

|         |                                                                                      |    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1       | EINLEITUNG, PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG .....                                    | 1  |
| 2       | STAND DER FORSCHUNG UND TECHNIK.....                                                 | 4  |
| 2.1     | Maschinelles Tunnelbau im Schildvortrieb .....                                       | 4  |
| 2.2     | Ringspaltverpressung.....                                                            | 7  |
| 2.2.1   | Entstehung des Ringspalts .....                                                      | 7  |
| 2.2.2   | Notwendigkeit der Ringspaltverpressung.....                                          | 8  |
| 2.2.3   | Verfahrens- und maschinentechnische Einrichtungen.....                               | 9  |
| 2.2.3.1 | Ringspaltverpressung durch Injektionsöffnungen im Tübbingausbau .....                | 10 |
| 2.2.3.2 | Ringspaltverpressung durch Lisenen im Schildschwanz.....                             | 12 |
| 2.2.3.3 | Schildschwanzdichtung .....                                                          | 14 |
| 2.2.3.4 | Förderung des Verpressmaterials .....                                                | 14 |
| 2.2.4   | Schäden an der Tunnelauskleidung infolge unzureichender<br>Ringspaltverpressung..... | 17 |
| 2.3     | Technologie der Ringspaltmörtel .....                                                | 19 |
| 2.3.1   | Grundsätzliche Anforderungen an Ringspaltmörteln .....                               | 19 |
| 2.3.2   | Mörtelsysteme.....                                                                   | 21 |
| 2.3.2.1 | Einkomponentenmörtel.....                                                            | 21 |
| 2.3.2.2 | Zweikomponentenmörtel .....                                                          | 23 |
| 2.3.2.3 | Spezielle Mörtel.....                                                                | 25 |
| 3       | EINKOMPONENTENMÖRTEL.....                                                            | 29 |
| 3.1     | Ausgangsstoffe .....                                                                 | 29 |
| 3.2     | Fließverhalten vor und nach der Ringspaltverpressung.....                            | 29 |
| 3.3     | Entwässerungs- und Konsolidierungsverhalten.....                                     | 38 |
| 3.4     | Kuchenbildende Filtration im Mörtel – innerer Filterkuchen.....                      | 43 |
| 3.5     | Scherfestigkeitsentwicklung .....                                                    | 45 |
| 4       | CHARAKTERISIERUNG DER UNTERSUCHTEN RINGSPALTMÖRTEL .....                             | 49 |
| 4.1     | Ausgangsstoffe .....                                                                 | 49 |
| 4.1.1   | Feinheit der Feinstoffe .....                                                        | 49 |
| 4.1.2   | Wasseranspruch der Feinstoffe.....                                                   | 53 |
| 4.1.3   | Geometrische Eigenschaften der Gesteinskörnung .....                                 | 57 |

|       |                                                    |     |
|-------|----------------------------------------------------|-----|
| 4.1.4 | Wasseranspruch der Gesteinskörnung.....            | 59  |
| 4.2   | Basisrezepturen (Ausgangsmischungen) .....         | 64  |
| 4.3   | Mörteltechnische Variationen.....                  | 65  |
| 5     | EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN .....                | 68  |
| 5.1   | Herstellung der Mörtelproben.....                  | 68  |
| 5.2   | Untersuchung des Entwässerungsverhaltens .....     | 68  |
| 5.2.1 | Filtratwasserabgabe .....                          | 68  |
| 5.2.2 | Feinstteilumlagerung im Mörtel .....               | 72  |
| 5.3   | Untersuchung der Scherfestigkeitsentwicklung ..... | 74  |
| 5.3.1 | Flügelscherversuch .....                           | 74  |
| 5.3.2 | Direkter Scherversuch – Rahmenscherversuch .....   | 76  |
| 5.4   | Weitere Untersuchungen .....                       | 77  |
| 5.4.1 | Konsistenz und Verarbeitbarkeit .....              | 77  |
| 5.4.2 | Sedimentationsstabilität.....                      | 78  |
| 5.5   | Versuchstechnische Variationen.....                | 78  |
| 6     | KONSISTENZ UND VERARBEITBARKEIT .....              | 80  |
| 6.1   | Basisrezepturen.....                               | 80  |
| 6.2   | Varianten im Bindemittelbereich.....               | 83  |
| 6.3   | Varianten in der Gesteinskörnung .....             | 86  |
| 7     | ENTWÄSSERUNGSVERHALTEN .....                       | 89  |
| 7.1   | Filterpressversuch nach DIN 4127 .....             | 89  |
| 7.1.1 | Basisrezepturen.....                               | 89  |
| 7.1.2 | Varianten im Bindemittelbereich.....               | 90  |
| 7.2   | Modifizierter Filterpressversuch.....              | 91  |
| 7.2.1 | Basisrezepturen.....                               | 91  |
| 7.2.2 | Varianten im Bindemittelbereich.....               | 93  |
| 7.2.3 | Varianten in der Gesteinskörnung .....             | 95  |
| 7.2.4 | Entwässerungsdruck .....                           | 98  |
| 7.2.5 | Schichtdicke des Ringspaltmörtels.....             | 100 |
| 7.2.6 | Feinstteilumlagerung im Mörtel .....               | 104 |
| 8     | SCHERFESTIGKEITSENTWICKLUNG .....                  | 108 |
| 8.1   | Basisrezepturen.....                               | 108 |

|     |                                                              |     |
|-----|--------------------------------------------------------------|-----|
| 8.2 | Varianten im Bindemittelbereich.....                         | 109 |
| 8.3 | Varianten in der Gesteinskörnung .....                       | 111 |
| 8.4 | Entwässerungsdruck .....                                     | 114 |
| 8.5 | Schichtdicke des Ringspaltmörtels.....                       | 115 |
| 8.6 | Scherfestigkeitsgradient.....                                | 117 |
| 8.7 | Scherfestigkeiten im Rahmenscherversuch .....                | 118 |
| 9   | ZUSAMMENFASSUNG .....                                        | 124 |
| 9.1 | Grundsätzliche Anforderungen.....                            | 124 |
| 9.2 | Konsistenz und Verarbeitbarkeit .....                        | 126 |
| 9.3 | Entwässerungsverhalten .....                                 | 126 |
| 9.4 | Scherfestigkeitsentwicklung .....                            | 127 |
| 9.5 | Bewertung der Einflussparameter und Ausblick .....           | 128 |
| 10  | LITERATURVERZEICHNIS .....                                   | 131 |
|     | ANHANG A „CHARAKTERISTISCHE KENNGRÖßEN DER FEINSTOFFE“ ..... | 140 |
|     | ANHANG B „REM-AUFNAHMEN DER FEINSTOFFE“ .....                | 143 |
|     | ANHANG C „SIEBLINIEN DER KORNGEMISCHE“ .....                 | 145 |
|     | ANHANG D „MÖRTELZUSAMMENSETZUNGEN“ .....                     | 147 |
|     | ANHANG E „MODIFIZIERTER FILTERPRESSVERSUCH“ .....            | 151 |
|     | ANHANG F „RAHMENSCHERVERSUCH“ .....                          | 153 |
|     | LEBENS LAUF .....                                            | 157 |