

Schriftenreihe des  
Lehrstuhls für Baubetrieb und Projektmanagement  
ibb - Institut für Baumaschinen und Baubetrieb

**Jochen Vennekötter**

**Separationsfreier Mikrotunnelbau durch  
Pumpförderung schaumkonditionierter Böden**

Shaker Verlag  
Aachen 2012

**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.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2012)

Herausgeber:

Univ.-Professor Dr.-Ing. Rainard Osebold

für die Gesellschaft zur Förderung des Baubetriebs Aachen e.V.

Copyright Shaker Verlag 2012

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1532-4

ISSN 1612-2798

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)

## Kurzfassung

Die Forschungsarbeit umfasst die Entwicklung und Erprobung eines verfahrenstechnischen Konzepts zur separationsfreien Förderung des im Mikrotunnelbau anfallenden Bohrguts. Bislang wird im Mikrotunnelbau das Bohrgut bei Vortriebslängen größer 100 m und ab einem Durchmesser von DN 1000 vornehmlich mit einem hydraulischen Spülkreislauf gefördert. Mit der hydraulischen Förderung geht jedoch eine Separation des Bohrguts in einer kosten-, energie- und emissionsintensiven Separationsanlage einher. Um eine separationsfreie Förderung zu erreichen, wird ein alternatives Verfahrenskonzept entwickelt, das die Erddruckschildtechnik mit einer Dickstoffförderung des Bohrguts kombiniert. Dieses Verfahrenskonzept sieht eine Schaumkonditionierung des Bohrguts im Erddruckschild der Mikrotunnelmaschine vor. Da das Bohrgut durch die Wirkung des Schaums nur für eine begrenzte Zeit eine fließfähige Konsistenz aufweist, sind keine weiteren Separationsmaßnahmen erforderlich. Nach dem Schaumzerfall erhält das Bohrgut seine Ausgangskonsistenz zurück. Um eine Integration der Erddruckschildtechnik mit Schaumkonditionierung in die bestehende Verfahrenskette des Mikrotunnelbaus zu erreichen, wird das schaumkonditionierte Material durch eine Pumpförderung abtransportiert. Die Pumpförderung in Rohrleitungen ist kontinuierlich und platzsparend. Die Förderleitung kann durch Koppeln der Leitungsrohre problemlos mit jedem neu zu verlegenden Vortriebsrohr verlängert werden. Die Pumpförderung schaumhaltiger Materialien bringt jedoch aufgrund der Materialzusammensetzung, bestehend aus einer festen, einer flüssigen und einer gasförmigen Phase, strömungstechnische Probleme mit sich.

Um eine sichere und störungsfreie Pumpförderung des schaumkonditionierten Bodens zu erreichen, werden in der Arbeit die Schaumherstellung und die Konditionierung des Bohrguts mit Schaum sowie die Vorgänge bei einer Pumpförderung theoretisch erforscht und experimentell untersucht.

In Versuchsreihen zur Schaumkonditionierung werden mit Variation der Randbedingungen Versuchsboden, Wassergehalt, Schaumzugabemenge und Mischenergieeintrag die kurz- und langzeitlichen Einflüsse auf das Konditionierungsergebnis untersucht. Dabei wird deutlich, dass in der Vortriebsmaschine durch einen zu geringen Mischenergieeintrag ein hohes Konditionierungspotenzial ungenutzt bleibt. Für den Pumpprozess kann daher ohne zusätzliche Konditionierungsmittelzugabe durch weiteres Mischen eine erheblich fließfähigere Konsistenz erreicht werden.

Über eine experimentelle Visualisierung der Strömungsfront und durch eine Einordnung des schaumkonditionierten Bodens als Binghamflüssigkeit wird ein theoretischer Ansatz für eine Rohrströmung aufgestellt. Die analytische Auswertung des Ansatzes führt zu einer mathematischen Funktion, die den Zusammenhang zwischen dem Förderdruck und den geometrischen und verfahrenstechnischen sowie den materialspezifischen Strömungsrandbedingungen beschreibt. Die geometrischen und verfahrenstechnischen Randbedingungen, wie beispielsweise die Leitungslänge oder die Fördergeschwindigkeit, fließen als direkt erfassbare Werte in die Berechnung ein. Die materialspezifischen Randbedingungen, Fließgrenze und Viskosität werden an unterschiedlich konditionierten Böden mithilfe eines speziell entwickelten Messverfahrens ermittelt.

In Pumpversuchen werden die konditionierungstechnischen Grenzen für eine störungsfreie Pumpförderung festgelegt und das analytische Strömungsmodell validiert. Abschließend werden die technische Umsetzbarkeit und der wirtschaftliche Nutzen einer Pumpförderung schaumkonditionierter Böden im Mikrotunnelbau nachgewiesen.