

Prognose, Separation, Erfassung und Abrechnung des Bodenaushubs beim flüssigkeitsgestützten Schildvortrieb

Thorsten Weiner



**Prognose, Separation, Erfassung und Abrechnung des
Bodenaushubs beim flüssigkeitsgestützten Schildvortrieb**

Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktor-Ingenieur

der

Fakultät für Bau- und

Umweltingenieurwissenschaften

der

Ruhr-Universität Bochum

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Thorsten Weiner

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes, Ruhr-Universität Bochum
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz, Universität der Bundeswehr,
München

Eingereicht am: 27.11.2017

Tag der mündlichen Prüfung am: 06.04.2018

Berichte aus dem Bauwesen

Thorsten Weiner

**Prognose, Separation, Erfassung und Abrechnung
des Bodenaushubs beim flüssigkeitsgestützten
Schildvortrieb**

Shaker Verlag
Aachen 2018

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., 2018

Copyright Shaker Verlag 2018

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

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-6053-9

ISSN 0945-067X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

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

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Vorwort und Dank

Die Idee zu der vorliegenden Arbeit entstand 2010 auf einer U-Bahn-Baustelle in Hamburg, bei der ich die Leitung des technischen Innendienstes verantworten durfte. In dieser Funktion oblag es mir, die wöchentlich an den AG zu übergebende Massenbilanz final zu prüfen. In dieser Bilanz wurden die Aushubmassen der eingesetzten flüssigkeitsgestützten Schildmaschine letztendlich dem Feststoffaustrag der Separieranlage gegenübergestellt. Trotz intensiver Bemühungen vieler ausgezeichnete Ingenieure verschiedener Disziplinen gelang es dabei nicht zufriedenstellend, nachvollziehbare, ausschließlich aus den gemessenen Werten abgeleitete Schlussfolgerungen zu generieren. Mit dem Idealismus, dieses Praxis-Problem nicht einfach hinnehmen zu wollen, begann ein langer, mitunter beschwerlicher Weg. Die vollumfängliche Lösung des Problems ist auch mit dieser Ausarbeitung noch nicht erreicht, allerdings wurde meiner Meinung nach erstmalig überhaupt eine Grundlage geschaffen sowie ein im Laufe der Bearbeitung identifizierter, zentraler Aspekt – die Dispergierung – ins Licht und damit Interesse der Tunnelbau-Fachwelt gerückt.

Auf dem Weg der Erstellung dieses Werkes parallel zu meiner zunehmend anspruchsvollen Tätigkeit als Tunnelbauer wurde ich glücklicherweise in vielfältiger Art und Weise unterstützt. Hierfür bin ich sehr dankbar.

Ganz besonderer Dank gebührt Herrn Prof. Dr.-Ing. Markus Thewes für die intensive wissenschaftliche Begleitung, die jederzeit gewährte Förderung und das offene, sehr vertrauensvolle Miteinander.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schwarz danke ich sehr herzlich für das wissenschaftliche Interesse an meiner Arbeit und die Übernahme des Koreferats.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Rolf Breitenbücher danke ich für seine freundliche Bereitschaft zur Übernahme der Aufgaben des Vorsitzenden der Prüfungskommission und des fachfremden Prüfers.

Für die finanzielle wie ideelle Unterstützung durch die Firmen HOCHTIEF und PORR bedanke ich mich ausdrücklich. Insbesondere danke ich sehr herzlich Herrn Dipl.-Ing. Rainer Rengshausen und Herrn Dipl.-Ing. Claus Wirtz, die durch ihr Engagement diese Arbeit überhaupt erst möglich gemacht haben. Herrn Dr.-Ing. Bernd Schockemöhle gebührt ebenfalls ein besonderer Dank für die verlässliche Begleitung und Unterstützung sowie die stets hilfreichen, manchmal mahnenden Hinweise und Apelle.

Bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Tunnelbau, Leitungsbau und Baubetrieb möchte ich mich für die immer freundliche Aufnahme in ihrer Mitte sowie die durch ihr wissenschaftliches Interesse an meiner Arbeit ermöglichten konstruktiven Diskussionen bedanken. Besonders hervorzuheben ist hier Herr Dr.-Ing. Götz Vollmann – vielen herzlichen Dank fürs Sparring.

Bei „meinen“ Mitarbeitern – hervorzuheben sind hier vor allem Herr Manuel Fischdick und Herr Jörg Wieland – bedanke ich mich für ihre wissenschaftlichen Beiträge und die jederzeitige Bereitschaft zur Unterstützung – sei es die Übernahme von Kontroll- und Korrekturarbeiten oder die Hilfestellung bei Diagrammen, Abbildungen und Tabellen.

Mein größter Dank gilt meiner Familie – meine Frau Katharina sowie meine Kinder Helena, Noah und Jakob mussten das ein oder andere Mal auf mich verzichten. Dennoch gab es nie Kritik, sondern jederzeit liebevollen Rückhalt und bedingungslose Unterstützung. Hieraus konnte ich wiederholt die Kraft schöpfen, den Weg letztendlich zu Ende zu gehen.

Essen, im Mai 2018

Thorsten Weiner

Kurzfassung

In der Tunnelbaupraxis kommt dem Bodenmassenmanagement vor dem Hintergrund zunehmender ökologischer Anforderungen und abnehmender ökonomischer Gestaltungsspielräume eine wachsende Bedeutung zu. Dies trifft in besonderem Maße beim flüssigkeitsgestützten Schildvortrieb in feinkörnigem Baugrund zu, da durch die vielfältigen mechanischen und hydraulischen Einwirkungen auf den Bodenaushub der Umgang mit der Materie verhältnismäßig komplex ist.

Daher wird in der vorliegenden Arbeit erstmalig der Prozess des Bodenmassenmanagements in einem ganzheitlichen Ansatz beschrieben, systematisiert und kategorisiert. Hierzu werden die einzelnen Prozessschritte in chronologischer Reihenfolge erläutert, beginnend mit der Prognose des Bodenaushubs, gefolgt von den Mechanismen zur Separation und Erfassung des Bodenaushubs und abschließend mit der in der Tunnelbaupraxis meist problematischen Abrechnung.

In allen Teilbereichen dieser Prozessschritte werden die maßgeblichen Schwachpunkte im System und die Einflussfaktoren auf den Zusammenhang zwischen dem theoretischen Ausbruch der Schildmaschine und dem tatsächlichen Feststoffaustrag der Separieranlage herausgearbeitet. Es wird deutlich, dass die Dispergierung eine besondere Rolle beim Bodenmassenmanagement spielt. Daher wird die Dispergierung in den Fokus dieser Arbeit gestellt. Es wird die Entwicklung und Durchführung eines neuen Versuches zur Feststellung der Dispergierungsneigung verschiedener Böden und Gesteine erläutert. Mit diesem Versuch kann erstmalig eine qualitative Beurteilung und damit Prognose der in der Tunnelbaupraxis zu erwartenden Dispergierung basierend auf nachvollziehbar und reproduzierbar ermittelten Versuchsergebnissen erfolgen. Darüber hinaus ist auch eine Einschätzung der Dispergierungsneigung auf Basis der in der Regel ohnehin im Vorfeld eines Tunnelbauprojektes zu ermittelnden charakteristischen Kennwerte für die Plastizität und die Konsistenz möglich.

Da es sich bei der in dieser Ausarbeitung behandelten Problematik um einen Themenkomplex aus der Praxis handelt, wird die Arbeit mit konkret formulierten Empfehlungen für die Tunnelbaupraxis abgeschlossen in der Hoffnung, damit eventuell einen kleinen Beitrag zur Verbesserung der Kultur des Bauens zu leisten.

Abstract

In tunneling practice the meaning of soil management is becoming increasingly important against the background of rising ecological demands accompanied by declining economic possibilities. This is in particular true with regard to slurry shield tunneling in fine-grained soil because in this context dealing with the excavated soil is rather complex due to the fact that multiple mechanical and hydraulic impacts impinge on the soil.

Hence, for the first time the present work details, systemizes and classifies the process of soil management as a comprehensive approach. Therefore, each step of the process is described in chronological order, starting with the prognosis of the mass of excavated soil, followed by mechanisms for separation and recording of the actually excavated soil, concluded with invoicing which is usually problematic in tunneling practice.

With regard to each step and intermediate stages thereof significant shortcomings in the system and influencing factors of the discrepancy between the predicted mass of excavated soil in theory and the actually excavated mass of solid material are presented in detail. It becomes obvious that dispersion plays a significant role in the context of soil management which is why it has been made the focus of this work. The development and execution of a new testing method for the prediction of the dispersion of different soils is detailed. For the first time in tunneling practice this test allows for a qualitative assessment and therefore a prognosis of the expected dispersion based on quantitative values determined in a traceable and reproducible testing method. In addition the test allows for an estimation of the dispersion tendency based on figures which are usually collected anyway in the preliminary stages of a tunneling project for the plasticity and consistency.

Since the work deals with a topic resulting from practical experience it concludes with specific recommendations for tunneling practice hoping to provide a small contribution to improve the culture of constructing.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort und Dank.....	I
Kurzfassung.....	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XI
Verzeichnis der Abkürzungen und Formelzeichen	XII
1 Einleitung.....	1
1.1 Einführung und Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Vorgehensweise.....	4
2 Prognose des Bodenaushubs	6
2.1 Geotechnische Voruntersuchungen	6
2.2 Ermittlung des theoretischen Bodenaushubs	9
2.3 Vorhersage des Feststoffaustrags der Separieranlage	10
3 Separation des Bodenaushubs	13
3.1 Auslegung und Betrieb der Schildmaschine	13
3.2 Auslegung und Betrieb der Separieranlage.....	15
3.2.1 Auslegung der Separieranlage in der Praxis.....	16
3.2.2 Einflüsse auf die Dimensionierung der Trenngeräte	18
3.2.3 Betrieb und wirtschaftliche Faktoren	21
4 Erfassung des Bodenaushubs.....	23
4.1 Automatisierte Volumenkontrolle.....	23
4.2 Messung des Feststoffaustrags der Separieranlage	26
4.3 Bilanzierung des Bodenaushubs	28

5	Abrechnung des Bodenaushubs	36
5.1	Grundlagen aus Gesetzen, Normen, Richtlinien und Empfehlungen	36
5.2	Übliche vertragliche Regelungen.....	40
6	Dispergierung	41
6.1	Grundlagen und Definition.....	44
6.1.1	Dispergierung in der mechanischen Verfahrenstechnik.....	44
6.1.2	Dispergierung in der Bodenkunde.....	45
6.1.3	Dispergierung im Tunnelbau.....	49
6.2	Laboruntersuchungen zur Feststellung der Dispergierungsneigung	50
6.2.1	Versuchsanordnung.....	56
6.2.2	Stellgrößen.....	63
6.2.3	Versuchsdurchführung.....	77
6.2.4	Ergebnisse	102
6.3	Fazit.....	151
7	Empfehlungen für die Tunnelbaupraxis	156
7.1	Empfehlungen zu geotechnischen Voruntersuchungen	156
7.2	Empfehlungen zur spezifischen Verfahrenstechnik.....	158
7.2.1	Redundanz der messtechnischen Erfassung.....	158
7.2.2	Vorgehensweise zur Datenerfassung	159
7.2.3	Mögliche Auswertungssystematik.....	159
7.3	Empfehlungen zu vertraglichen Regelungen.....	161
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	163
9	Literaturverzeichnis	166