

Schriftenreihe des Instituts für Konstruktiven Ingenieurbau

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

Heft 2005-1

**Thomas Kasper**

**Finite Elemente Simulation maschineller  
Tunnelvortriebe in wassergesättigtem Lockergestein**

Shaker Verlag  
Aachen 2005

Institut für Geotechnik  
- BIBLIOTHEK -  
Prof. Dr.-Ing. R. Katzenbach  
Technische Universität Darmstadt  
Petersenstr. 13 · 64287 Darmstadt

# Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis . . . . .	vii
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation . . . . .	1
1.2 Die Technik des Schildvortriebs . . . . .	3
1.3 Stand der Forschung . . . . .	7
1.4 Ziele und Umfang der Arbeit . . . . .	14
1.5 Gliederung der Arbeit . . . . .	15
<b>2 Modellierung des Tunnelvortriebs</b>	<b>17</b>
2.1 Modellierung des Bodens . . . . .	17
2.2 Modellierung der Ortsbrust . . . . .	18
2.2.1 Modellierung der Ortsbruststützung . . . . .	18
2.2.2 Umsetzung der Ortsbruststützung im Simulationsmodell . . . . .	24
2.2.3 Modellierung des Bodenabbaus . . . . .	26
2.3 Modellierung der Schildmaschine . . . . .	29
2.4 Modellierung der Vortriebspresen und Schildsteuerung . . . . .	31
2.5 Modellierung der Ringspaltverpressung . . . . .	34
2.6 Modellierung des Tübbingausbaus . . . . .	39
2.7 Modellierung des Nachläufers . . . . .	40
2.8 Simulationsablauf . . . . .	40
2.8.1 Primärzustand . . . . .	40
2.8.2 Vortriebssimulation . . . . .	41
2.8.3 Konsolidierung . . . . .	44
2.9 Automatisierung der Simulation . . . . .	44
2.10 Ergebnisauswertung . . . . .	45

<b>3</b>	<b>Zweiphasenformulierung für Boden und Ringspaltverpreßmörtel</b>	<b>51</b>
3.1	Grundgleichungen . . . . .	51
3.2	Numerische Umsetzung . . . . .	54
3.2.1	Anfangs- und Randbedingungen . . . . .	54
3.2.2	Schwache Form des Anfangsrandwertproblems . . . . .	55
3.2.3	Zeitliche Diskretisierung . . . . .	55
3.2.4	Linearisierung . . . . .	56
3.2.5	Räumliche Diskretisierung . . . . .	56
3.2.6	Iterative Lösung . . . . .	59
3.3	Verifikation: eindimensionale Konsolidierung . . . . .	59
<b>4</b>	<b>Materialmodelle für den Boden</b>	<b>63</b>
4.1	Volumetrisch-deviatorische Aufspaltung von Spannungen und Verzerrungen	63
4.2	Das Drucker-Prager Modell . . . . .	64
4.3	Das Cam-Clay Modell für bindige Böden . . . . .	65
4.3.1	Kompressionsverhalten toniger Böden . . . . .	66
4.3.2	Nichtlinear elastisches Gesetz . . . . .	67
4.3.3	Elastoplastizität . . . . .	69
4.3.4	Cam-Clay Modellverhalten . . . . .	76
4.3.5	Konvergenzstabilität des Return-Mapping Algorithmus . . . . .	79
<b>5</b>	<b>Materialmodell für den Ringspaltverpreßmörtel</b>	<b>84</b>
5.1	Grundlagen . . . . .	84
5.2	Zeitabhängige Elastizität . . . . .	88
5.3	Zeitabhängige Permeabilität . . . . .	90
<b>6</b>	<b>Beispiel und Verifikation</b>	<b>91</b>
6.1	Beispiel: oberflächennaher Tunnelvortrieb in weichem, bindigem Boden . . . . .	91
6.2	Berechnungsergebnisse . . . . .	97
<b>7</b>	<b>Parameterstudien</b>	<b>111</b>
7.1	Übersicht . . . . .	111
7.2	Filterkuchenbildung und Stützdruck an der Ortsbrust . . . . .	113
7.3	Verpreßdruck im Ringspalt . . . . .	121
7.4	Nachläufergewicht . . . . .	124

---

7.5	Gewicht der Schildmaschine . . . . .	127
7.6	Länge der Schildmaschine . . . . .	130
7.7	Schildkonizität . . . . .	133
7.8	Biegesteifigkeit der Pressen . . . . .	136
7.9	Nachgiebigkeiten des Bodens . . . . .	141
7.10	Reibungswinkel des Bodens . . . . .	145
7.11	Vorkonsolidierung des Bodens . . . . .	148
7.12	Permeabilität des Bodens . . . . .	152
7.13	Permeabilität des Verpreßmörtels . . . . .	156
7.14	Ansteifverhalten des Verpreßmörtels . . . . .	158
7.15	Tiefenlage des Tunnels . . . . .	161
7.16	Schildmantelreibung . . . . .	165
7.17	Zusammenfassung der Parameterstudien . . . . .	169
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>171</b>
8.1	Zusammenfassung . . . . .	171
8.2	Ergebnisse der Arbeit . . . . .	172
8.3	Ausblick . . . . .	174