

# Inhaltsverzeichnis

<b>Symbolverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungen .....</b>	<b>VI</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielsetzung .....	2
1.3 Aufbau der Arbeit .....	3
<b>2 Stand der Technik .....</b>	<b>5</b>
2.1 Tiefbohrtechnik und Tiefbohrprozess .....	5
2.1.1 Bohrturm und Bohrparameter .....	5
2.1.2 Bohrstrang .....	6
2.1.3 Bohrmeißel .....	8
2.2 Bohrstrangdynamik .....	15
2.2.1 Laterale Schwingungen .....	16
2.2.2 Axiale Schwingungen .....	17
2.2.3 Torsionale Schwingungen .....	18
2.2.4 Selbsterregte Schwingungen .....	20
2.3 Gesteinsmechanik und Gesteinsschneidprozess beim Tiefbohren .....	24
2.3.1 Experimentelle Charakterisierung der Gesteinsmechanik .....	24
2.3.2 Ratenabhängigkeit in den Gesteinsversuchen .....	29
2.3.3 Modellierung und Simulation des Gesteinsschneidprozesses .....	31
<b>3 Ausgangsverfahren der Partikelmethode und Erweiterungen der Simulationsumgebung .....</b>	<b>39</b>
3.1 Grundmodelle der Partikelmethode .....	39
3.1.1 Ursprüngliches <i>Bonded-Particle</i> -Modell .....	39
3.1.2 Modifiziertes <i>Bonded-Particle</i> -Modell .....	45
3.2 Implementierung und zugehörige Behandlungen .....	48
3.2.1 Zeitintegration und numerische Stabilität .....	49
3.2.2 Generierung von Gesteinsproben .....	50
3.2.3 Kalibrierung und Skalierung .....	52

3.2.4	Modellierung des untertägigen Schneidprozesses .....	53
3.3	Interpretation und Analyse der Simulationsergebnisse.....	55
3.3.1	Schnittkraftantworten.....	56
3.3.2	Interpretation im Rahmen der Kontinuumsmechanik.....	58
3.3.3	Mittelung.....	61
3.3.4	Versagensmechanismen beim Gesteinsschneidprozess .....	62
3.4	Parameterstudien .....	64
3.4.1	Variation des Spanwinkels .....	64
3.4.2	Variation der Fasengröße.....	67
3.5	Erweiterung des Schneidsimulationsszenarios .....	69
3.5.1	Implementierung einer konstanten Axialkraftregelung.....	69
3.5.2	Validierung .....	71
3.6	Fazit.....	74
<b>4</b>	<b>Modifikation des Partikelmodels zur Nachbildung der Ratenabhängigkeit beim Gesteinsschneidprozess .....</b>	<b>75</b>
4.1	Charakterisierung der Ratenabhängigkeit .....	75
4.2	Strategien der Modifikation.....	78
4.3	Erweiterungen des Partikelkontaktmodells.....	80
4.3.1	Erweiterung mit variablen Kontaktparametern.....	80
4.3.2	Erweiterung mit zusätzlichen rheologischen Elementen .....	83
4.4	Modifikation mit mikroskopischer Ratenabhängigkeit .....	89
4.5	Modellierung mit makroskopischer Ratenabhängigkeit .....	91
4.5.1	Schnittgeschwindigkeitsabhängige Bindungszugfestigkeit.....	91
4.5.2	Schnittgeschwindigkeitsabhängige Kornelastoplastizität.....	93
4.5.3	Vergleich beider Modifikationen .....	94
<b>5</b>	<b>Untersuchung der Ratenabhängigkeit und Selbsterregung beim Schneidprozess .....</b>	<b>97</b>
5.1	Ratenabhängigkeit in stationären Schneidsimulationen .....	97
5.1.1	Abfallende Widerstandskennlinie wegen der Ratenabhängigkeit ...	97
5.1.2	Parametersensitivität der abfallenden Widerstandskennlinie .....	98
5.2	Ratenabhängigkeit mit schwankender Schneidbewegung .....	100
5.2.1	Schnittkraftreaktion bei oszillierender Schneidbewegung .....	100

---

5.2.2	Axial-tangentiale Kopplung aufgrund der Ratenabhängigkeit .....	102
5.2.3	Generierung des ratenabhängigen Meißelkraftkennfelds und der abfallenden Widerstandskennlinie .....	103
5.3	Dynamische Kopplung mit Bohrstrangmodell.....	106
5.3.1	Modellierung des Bohrstrangs .....	106
5.3.2	Analyse der Selbsterregung mit ratenabhängiger Meißelkrafttrandbedingung.....	112
5.3.3	Einfluss der Schneidenform .....	118
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	<b>123</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>127</b>
	<b>Anhang .....</b>	<b>141</b>
A.1	Modellparameter .....	141
A.2	Analyse des Rauschsignals der Schnittkräfte bei Einzelschneidversuchen .....	142
A.3	Transformationsmodell zwischen Schneide und Meißel .....	143
A.4	Bohrstrangkonfiguration .....	144