

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis IV

Abkürzungen VI

1 Einleitung 1

- 1.1 Motivation..... 1
- 1.2 Zielsetzung..... 2
- 1.3 Aufbau der Arbeit 3

2 Stand der Technik 5

- 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

3 Ausgangsverfahren der Partikelmethode und Erweiterungen der Simulationsumgebung..... 39

- 3.1 Grundmodelle der Partikelmethode..... 39
 - 3.1.1 Ursprüngliches *Bonded-Particle*-Modell 39
 - 3.1.2 Modifiziertes *Bonded-Particle*-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

INHALT

| | | |
|----------|--|-----------|
| 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 |
| 4 | Modifikation des Partikelmodels zur Nachbildung der Ratenabhängigkeit beim Gesteinsschneidprozess | 75 |
| 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 |
| 5 | Untersuchung der Ratenabhängigkeit und Selbsterregung beim Schneidprozess | 97 |
| 5.1 | Ratenabhängigkeit in stationären Schneidsimulationen | 97 |
| 5.1.1 | Abfallende Widerstandskennlinie wegen der Ratenabhängigkeit...97 | 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-tangentielle Kopplung aufgrund der Ratenabhängigkeit | 102 |
| 5.2.3 | Generierung des ratenabhängigen Meiβelkraftkennfelds 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 Meiβelkraftrandbedingung..... | 112 |
| 5.3.3 | Einfluss der Schneidenform | 118 |
| 6 | Zusammenfassung und Ausblick | 123 |
| Literaturverzeichnis | | 127 |
| Anhang | | 141 |
| A.1 | Modellparameter | 141 |
| A.2 | Analyse des Rauschsignals der Schnittkräfte bei Einzelschneidversuchen | 142 |
| A.3 | Transformationsmodell zwischen Schneide und Meiβel | 143 |
| A.4 | Bohrstrangkonfiguration | 144 |