

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Methodik	2
2	Separationsfreie Verfahrenstechnik für den Mikrotunnelbau	6
2.1	Verfahrenstechnik des Mikrotunnelbaus	6
2.2	Schildsysteme im Mikrotunnelbau	10
2.2.1	Flüssigkeitsschilde	13
2.2.1.1	Funktionsprinzip	13
2.2.1.2	Hydraulische Förderung und Separation	14
2.2.2	Erddruckschilde	16
2.2.2.1	Funktionsprinzip	16
2.2.2.2	Schneckenförderer	20
2.2.2.3	Bodenkonditionierung	21
2.2.3	Abgrenzung der Einsatzbereiche der Flüssigkeits- und Erddruckschilde	29
2.3	Entwicklung eines Konzepts zur separationsfreien Abraumförderung	32
2.3.1	Mechanische Förderung	33
2.3.2	Feststoffförderung durch Rohrleitungen	34
2.3.2.1	Pneumatische Förderung	34
2.3.2.2	Direkte Pumpförderung von Dickstoffen	37
2.3.3	Auswahl einer geeigneten Pumpentechnik	40
3	Schaum als Konditionierungsmittel	44
3.1	Theoretische Grundlagen der Schaumkonditionierung	45
3.1.1	Tenside zur Schaumherstellung	46
3.1.1.1	Verhalten an flüssig-gasförmigen Grenzflächen	47
3.1.1.2	Verhalten an flüssig-festen Grenzflächen	48
3.1.2	Herstellung und Umweltverträglichkeit von Tensiden	50
3.1.3	Schaumbildung und Zerfall	51

3.1.4 Technische Verfahren der Schaumherstellung	53
3.2 Experimentelle Untersuchung der Schaumherstellung	56
3.2.1 Versuchsanlage zur Schaumherstellung	56
3.2.2 Ermittlung der Betriebsparameter	58
3.2.3 Untersuchung des Schaumzerfalls	60
3.3 Versuche zur Konditionierung mit Tensidschaum	65
3.3.1 Untersuchungen zum Konditionierungsprozess	66
3.3.2 Bestimmung der Materialeigenschaften schaumkonditionierter Böden	77
3.3.2.1 Untersuchung der Konsistenz	77
3.3.2.2 Untersuchung der Dichte	83
3.3.2.3 Kompressionsverhalten	85
3.4 Zusammenfassung	90
4 Berechnung des Förderdrucks bei Rohrleitungsströmungen	92
4.1 Allgemeine Rohrströmungsmechanik	93
4.2 Förderdruckberechnung beim Pumpen von Beton	99
4.3 Analytisches Strömungsmodell für schaumkonditionierte Böden	104
4.3.1 Modellansatz für die Pumpförderung schaumkonditionierter Böden	104
4.3.2 Auswertung des Modellansatzes	107
5 Untersuchungen zur Rheologie schaumkonditionierter Böden	113
5.1 Rheometrische Messverfahren für Suspensionen	113
5.2 Entwicklung eines rheometrischen Messverfahrens für schaumkonditionierte Böden	115
5.2.1 Versuchsaufbau	117
5.2.2 Analyse des Strömungsfelds	120
5.3 Rheometrische Messung an schaumkonditionierten Böden	123
5.3.1 Versuchsdurchführung	123
5.3.2 Versuchsauswertung und -ergebnisse	123

6 Experimentelle Untersuchungen zur Pumpförderung schaumkonditionierter Böden	128
6.1 Versuchsaufbau	128
6.2 Versuchsprogramm	129
6.3 Versuchsauswertung	130
6.4 Versuchsergebnisse	132
6.4.1 Einfluss der Konditionierung	132
6.4.2 Einfluss der Fördergeschwindigkeit	137
6.4.3 Einfluss des Rohrdurchmessers	139
6.4.4 Einfluss des Rohrmaterials	141
6.4.5 Einfluss des Förderdrucks	143
6.5 Zusammenfassung	146
7 Baubetriebliche Umsetzung	148
7.1 Beurteilung der technischen Umsetzbarkeit	148
7.2 Wirtschaftliche Vergleichsbetrachtung	153
8 Zusammenfassung und Ausblick	161
9 Literatur- und Quellenverzeichnis	164
9.1 Allgemeine Literatur	164
9.2 Normen und Regelwerke	186