

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Stand der Wissenschaft	3
2.1 Meeresboden im Einflussbereich von Wellen	3
2.1.1 Lagerungsdichte	3
2.1.2 Sättigung	4
2.1.3 Kompressibilität von Porenfluid und -gas	4
2.1.4 Interaktion von Porenfluid und Bodenmatrix	8
2.1.5 Permeabilität und Filtergeschwindigkeit	9
2.2 Meereswellen	11
2.2.1 Wellenspektrum	12
2.2.2 Welleninduzierter Porenwasserdruck	14
2.2.3 Porenwasserdruckakkumulation	17
2.2.4 Welleninduzierte Porenwasserströmung	19
2.2.5 Welleninduzierte oberflächennahe Erosion	21
2.3 Standsicherheit von Unterwasserböschungen	22
2.3.1 Natürliche Böschungen	23
2.3.2 Künstliche Böschungen	24
2.3.3 Verhaltensmechanismen infolge Wellenbeanspruchung	24
2.3.4 Gleitversagen	25
2.3.5 Bruchversagen	26
2.3.6 Verflüssigungsversagen	27
2.3.7 Stabilitätskriterien	29
2.4 Zusammenfassende Bewertung	32
3 Zielsetzung und Methodik	35
4 Grundlagen der Methoden	37
4.1 Modellgesetze und Ähnlichkeiten	37
4.1.1 Ähnlichkeitstheorie	37
4.1.2 Beschreibende Versuchsparameter	38
4.1.3 Dimensionsanalyse	39
4.1.4 Dimensionslose Kennzahlen	41
4.2 Modellversuche	44
4.2.1 Auswahl der Versuchsart und des Maßstabs	44
4.2.2 Wellenkanal	45
4.2.3 Messkonzept und -technik	46
4.2.4 Messwertauswertung	49

4.2.5	Versuchsboden	52
4.2.6	Lagerungsdichte und Sättigung	54
4.2.7	Bodeneinbau und Versuchsvorbereitung	57
4.2.8	Böschung	58
4.2.9	Wellen	59
4.2.10	Erfahrungen mit dem Versuchsaufbau	60
4.2.11	Versuchsablauf	60
4.3	Numerische Modellierung	61
4.3.1	Numerische Simulation	61
4.3.2	Fluid-Feststoff-Kopplung	62
4.3.3	Spannungs-Dehnungs-Beziehung für das Körnergerüst	65
4.3.4	Hydraulisches Modell	66
4.3.5	Netzabhängigkeit	67
4.3.6	Auflastspannung	68
4.3.7	FE-Modell	69
5	Experimentelle Untersuchungen im Wellenkanal	73
5.1	Versuchsprogramm	73
5.1.1	Monotone Wellenlast	73
5.1.2	Spektrale Wellenlast	75
5.1.3	Lagerungsdichte	76
5.1.4	Böschungsneigung	76
5.2	Versuchsauswertung	76
5.2.1	Verifizierung der Modellannahmen	76
5.2.2	Analyse der Wellenbelastung	77
5.2.3	Analyse der welleninduzierten Porenwasserdrücke	82
5.2.4	Oberflächenwellen	84
5.2.5	Ergebnisse der Modellversuche	85
5.2.6	Zusammenfassung und Bewertung der Versuchsergebnisse	98
5.3	Bewertung der physikalischen Modellierung	102
6	Numerische Simulation	103
6.1	Simulationsschritte	103
6.1.1	Anfangszustand	104
6.1.2	Welleninduzierte Belastung	105
6.2	Ergebnisse der FE-Berechnungen	106
6.2.1	Einfluss der Wellenlänge	107
6.2.2	Einfluss der Wellenperiode	108
6.2.3	Einfluss der Lagerungsdichte	109
6.2.4	Einfluss der Sättigung	112
6.2.5	Plötzliches Versagen	114
6.2.6	Langsame Veränderungen	114
6.2.7	Zusammenfassung und Ausblick	116

7 Übertragbarkeit auf reale Bedingungen	119
7.1 Auswertung der dimensionslosen Kennzahlen für Modell und Natur	119
7.2 Bewertung	122
8 Zusammenfassung und Ausblick	123
A Abkürzungsverzeichnis	137
B Materialparameter	141
B.1 K1 Sand	141
C Versuchsdurchführung	143
C.1 Versuchseinstellungen	143
C.2 Messwerte	145