

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
2 Stand der Wissenschaft und Technik	5
2.1 Allgemeines	5
2.2 Begriffe und Definitionen	5
2.3 Untersuchungen zur Grenztragfähigkeit	8
2.3.1 Konventionelle Pfähle unter monotoner Horizontallast	8
2.3.2 Aufgeweitete Pfahlquerschnitte	11
2.4 Untersuchungen zum Verformungsverhalten	12
2.4.1 Konventionelle Pfähle unter monotoner Horizontallast	13
2.4.2 Aufgeweitete Pfahlquerschnitte	20
2.4.3 Berücksichtigung einer zyklischen Belastung	20
2.5 Fazit	29
3 Zielsetzung	31
4 Untersuchungsmethoden	33
4.1 Allgemeines	33
4.2 1g-Modellversuche	35
4.2.1 Wahl des Modellgesetzes	35
4.2.2 Versuchsstand	38
4.2.3 Untersuchung von Aufweitungen	41
4.2.4 Untersuchung von zyklischen Lasten	43
4.3 Feldversuch	53
4.3.1 Versuchsfeld	53
4.3.2 Versuchspfähle	54
4.3.3 Versuchsaufbau	58

4.3.4	Verwendete Messtechnik	59
4.4	Finite Elemente Methode	60
4.4.1	FE-Modell zum Einfluss von Aufweitungen	60
4.4.2	FE-Modell zum Einfluss zyklischer Lasten	63
4.5	Diskrete Elemente Methode	65
4.5.1	Kurzbeschreibung der Methode	65
4.5.2	Untersuchtes Modell	65
5	Einfluss von Aufweitungen	67
5.1	Last-Verformungsverhalten	67
5.1.1	1g-Modellversuche	67
5.1.2	Feldversuch	69
5.2	Mobilisierung von Bettungswiderständen	72
5.2.1	Numerische Analyse	72
5.2.2	Feldversuch	76
5.3	Fazit	82
6	Einfluss zyklischer Lasten	85
6.1	Statische Last-Verschiebungskurven	85
6.2	Abhängigkeit von Pfahl und Boden	87
6.3	Zyklische Belastung	88
6.4	Belastungsgeschichte	89
6.5	Zyklisches Lastverhältnis	92
6.6	Extremereignisse	93
6.7	Veränderlicher Lastangriffswinkel	94
6.7.1	Modellversuche	94
6.7.2	Diskrete Elemente Analyse zur Pfahldrift	98
6.8	Pfahlschaftaufweitung	99
6.9	Änderung der Bettungseigenschaften	100
6.10	Fazit	103

7 Prognosemodelle für Pfahlverformungen	105
7.1 Modell zur Berücksichtigung einer Schaftaufweitung	105
7.1.1 Flügelfaktor	105
7.1.2 Implementierung in das Strain-Wedge Modell	108
7.1.3 Implementierung in das P-y Verfahren	109
7.1.4 Validierung des Modells	109
7.2 Akkumulationsmodell für Pfahlkopfverschiebungen	116
7.2.1 Anwendung bestehender Ansätze auf die eigenen 1g-Versuche	116
7.2.2 Ableitung eines überlogarithmischen Ansatzes	124
7.2.3 Validierung anhand der 1g-Modellversuche	128
7.2.4 Vergleichsrechnung eines Feldversuchs aus der Literatur	128
7.3 Kombination der Modelle	130
7.4 Fazit	131
8 Parameterstudie zu Pfahlschaftaufweitungen	133
8.1 Offshore-Monopiles mit nichtlinearen P-y Kurven	133
8.1.1 Randbedingungen der Variation	133
8.1.2 Auswertung mit CLM	134
8.1.3 Einfluss der Pfahlänge	135
8.1.4 Pfahlkopfsteifigkeitsmatrix eines Monopiles	135
8.1.5 Einfluss der Flügeltiefenlage h_1	137
8.1.6 Einfluss der Flügelgröße	138
8.1.7 Vorbemessungsverfahren für Monopiles mit Aufweitung	138
8.1.8 Bemessungsbeispiel	140
8.2 Bettungsmodulverfahren	141
8.2.1 Randbedingungen der Variation	142
8.2.2 Pfahl ohne Flügel	142
8.2.3 Berücksichtigung der Flügel	143
8.2.4 Anwendungsbeispiel	144
8.3 Fazit	147

9 Pfahlbemessung für zyklische Lasten	149
9.1 Bettungsmodulverfahren	149
9.1.1 Starrer Pfahl, konstanter Bettungsmodul	149
9.1.2 Starrer Pfahl, linear zunehmender Bettungsmodul	150
9.1.3 Biegeweicher Pfahl, konstanter Bettungsmodul	150
9.1.4 Biegeweicher Pfahl, linear zunehmender Bettungsmodul	151
9.2 P-y Verfahren	153
9.3 Strain-Wedge Modell	157
9.4 Fazit	159
10 Zusammenfassung und Ausblick	161
10.1 Zusammenfassung	161
10.2 Ausblick	163
10.3 Summary and perspectives	165
Literaturverzeichnis	176
Anhang	176
A Laborversuche Wunder Sand	177
A.1 Indexwerte	177
A.2 Kornverteilung	178
A.3 Ödometerversuche	178
A.4 Direkter Scherversuch	179
A.5 Zyklischer triaxialer Versuch (CD-Versuch)	180
B Baugrunduntersuchungen zum Testfeld Blumensand	183
B.1 Indexwerte	183
B.2 Kornverteilung	184
B.3 Triaxialversuch (CD-Versuch)	184
B.4 Einaxialer Versuch	185
C Ergebnisse der Modellversuche mit Wunder Sand	187
D Symbole und Einheiten	197