

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 Pfahllänge | 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 |