

# **MITTEILUNGEN**

**Institut für Geotechnik (IGtH)  
Leibniz Universität Hannover**

**Heft 77**

**Untersuchungen zum Tragverhalten zyklisch lateral  
belasteter Pfähle in nichtbindigen Böden**

**von**

**Johannes Albiker**

**Hannover 2016**

# INHALT

<b>SYMBOLVERZEICHNIS.....</b>	<b>IV</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 Motivation .....	1
1.2 Zielstellung.....	2
<b>2 DAS VERHALTEN NICHTBINDIGER BÖDEN UNTER ZYKLISCHER BELASTUNG.....</b>	<b>4</b>
2.1 Generelle Grundlagen.....	4
2.2 Empirische Ansätze zum zyklischen Last-Verformungsverhalten aus Elementversuchen .....	10
2.3 Das Bodenverhalten unter variabler zyklischer Belastung.....	12
<b>3 DAS TRAGVERHALTEN HORIZONTAL BELASTETER PFÄHLE IN NICHTBINDIGEN BÖDEN.....</b>	<b>15</b>
3.1 Das Pfahltragverhalten unter statischer horizontaler Belastung.....	15
3.1.1 Generelles .....	15
3.1.2 Abbildung des Pfahlverformungsverhaltens .....	18
3.1.3 Methoden zur Bestimmung der maximalen horizontalen Pfahltragfähigkeit .....	20
3.2 Das Pfahltragverhalten unter zyklischer horizontaler Belastung .....	25
3.2.1 Generelles .....	25
3.2.2 Untersuchungen und Ansätze zur Beschreibung der zyklischen Verformungsakkumulation .....	27
<b>4 DIE „STIFFNESS DEGRADATION METHOD“ (SDM) .....</b>	<b>36</b>
4.1 Allgemeines.....	36
4.2 Regressionsparameter aus zyklischen Triaxialversuchen .....	38
4.3 Numerische Simulation der zyklischen horizontalen Pfahlbelastung .....	39
4.4 Kritische Beurteilung der SDM.....	41
4.4.1 Generelles .....	41
4.4.2 Einfluss der Pfahlrammung .....	42
4.4.3 Konstanz der Querdehnhzahl.....	43
4.4.4 Unterschiede zwischen Triaxialversuch und Pfahl-Boden-System bzgl. der Belastungssituation .....	47
4.4.5 Vernachlässigung des elastischen Dehnungsanteils .....	47

4.4.6	Beschränkung der Gültigkeit für zyklische Schwelllast.....	48
4.4.7	Zusammenfassende Beurteilung der Anwendbarkeit der SDM .....	49
<b>5</b>	<b>KALIBRIERUNG VON REGRESSIONSPARAMETERN UND VALIDIERUNG DER SDM.....</b>	<b>50</b>
5.1	Vorgehensweise.....	50
5.2	Vorstudie bezüglich des Einflusses der Wahl der Werte für die Regressionsparameter in numerischen Simulationen.....	50
5.3	Durchführung zyklischer Triaxialtests .....	53
5.3.1	Probenmaterial und Probenherstellung.....	53
5.3.2	Einbau ins Triaxialgerät und Testdurchführung.....	55
5.3.3	Auswertung der Triaxialversuche.....	57
5.3.4	Ergänzende Versuche an Leighton Buzzard Sand.....	59
5.3.5	Ergebnisse zyklischer Triaxialversuche aus der Literatur .....	60
5.4	Nachrechnung von Modelltests mit der SDM.....	62
5.4.1	Nachrechnung von Tests in mitteldicht gelagertem Sand .....	62
5.4.2	Nachrechnung von Tests in dicht gelagertem Sand.....	69
5.5	Zusammenfassende Bewertung.....	73
<b>6</b>	<b>UNTERSUCHUNG DES ZYKLISCHEN VERFORMUNGSVERHALTENS HORIZONTAL BELASTETER PFÄHLE MIT HILFE DER SDM.....</b>	<b>75</b>
6.1	Einleitung .....	75
6.2	Die Pfahl-Boden-Systemsteifigkeit als mutmaßlich relevante Einflußgröße.....	75
6.3	Dimensionierung und Skalierung der numerischen Modelle .....	79
6.4	Der Einfluss des Lastniveaus .....	84
6.4.1	Der Bereich moderater Belastungsniveaus.....	84
6.4.2	Der Bereich erhöhter Belastungsniveaus.....	87
6.5	Die Bedeutung des Pfahlschlankheitsgrades $L/D$ bzgl. der Systemsteifigkeit und der zyklischen Verformungsakkumulation.....	89
6.6	Untersuchung des Einflusses der Lastexzentrizität .....	93
6.7	Zusammenfassende Betrachtung der zyklischen Verformungsakkumulation als Funktion der Anfangssteigung der normierten Pfahlbiegeline .....	97
6.8	Mathematische Berechnung der Anfangssteigung der normierten Biegelinie.....	103
6.9	Ableitung empirischer Parameter bei variierten Lagerungsbedingungen .....	111
6.10	Zusammenfassung der hergeleiteten Funktionen .....	118

6.11	Übertragung der Erkenntnisse zum zyklischen Tragverhaltens vom massiven Pfahl auf einen Rohrpfahl.....	119
6.12	Abbildung des zyklischen Pfahlverformungsverhaltens bei besonderen Belastungsbedingungen.....	124
6.12.1	Betrachtung besonders niedriger Lastniveaus .....	124
6.12.2	Betrachtung von Schwelllast ohne vollständige Entlastung.....	129
<b>7</b>	<b>UNTERSUCHUNG DES PFAHLVERFORMUNGSVERHALTENS BEI WECHSELLASTEN DURCH MODELLVERSUCHE .....</b>	<b>133</b>
7.1	Allgemeines.....	133
7.2	Vorangegangene Untersuchungen zum zyklischen Pfahlverformungsverhalten bei horizontaler Wechsellast.....	134
7.3	Zielsetzung .....	137
7.4	Untersuchungsprogramm .....	137
7.4.1	Allgemeines .....	137
7.4.2	Skalierung.....	140
7.5	Testausrüstung und -durchführung.....	142
7.5.1	Teststand und Lastvorrichtung .....	142
7.5.2	Sandeinbau.....	144
7.5.3	Versuchsdurchführung.....	146
7.6	Auswertung der Tests .....	147
7.6.1	Statische Tests .....	147
7.6.2	Zyklische Tests .....	148
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>159</b>
<b>9</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>162</b>