



Bergische Universität Wuppertal

Fachbereich D

Abteilung Bauingenieurwesen

**Berichte des Lehr- und
Forschungsgebietes Geotechnik**

Nr. 33

September 2012

Tim Welskopf

**Untersuchungen zum Tragverhalten von Pfählen
unter aktiver Horizontalbelastung**

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. M. Pulsfort

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: Wuppertal, Univ., Diss., 2012

Copyright Shaker Verlag 2012

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1302-3

ISSN 1867-3325

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Zusammenfassung:

Vertikale Pfähle tragen horizontale Belastungen am Pfahlkopf im umgebenden Boden durch horizontale Bettungsspannungen ab. In diesem Prozess wird der mobilisierbare Pfahlwiderstand durch die Pfahl-Boden-Interaktion bestimmt. Trotz zahlreicher Untersuchungen in den vergangenen Jahren ist der aktuelle Wissensstand bezüglich der horizontalen Pfahl-Boden-Interaktion noch immer unzureichend. In der Praxis wird sie häufig vernachlässigt oder in stark vereinfachter Form, wie im sogenannten Bettungsmodulverfahren, berücksichtigt, was zu unwirtschaftlichen oder sogar fehlerhaften Entwürfen führen kann. Die schon bei statischer Belastung zu beobachtende Komplexität der Pfahl-Boden-Interaktion ist auf das nichtlineare Tragverhalten des Bodens, die Phänomene in der Kraftübertragung zwischen Pfahl und Boden sowie die räumliche Komponente des Problems zurückzuführen. Im Falle einer zyklischen oder dynamischen Belastung des Pfahles wird der Schwierigkeitsgrad zusätzlich durch die unterschiedliche Steifigkeit des Bodens bei einem Richtungswechsel der Beanspruchung sowie die belastungsinduzierte Veränderung der Lagerungsdichte erhöht. Deshalb sind nur solche Methoden zur Untersuchung der Pfahl-Boden-Interaktion geeignet, die der Komplexität des Problems gerecht werden. Dementsprechend wurden in dieser Arbeit kleinmaßstäbliche Modellversuche sowie numerische Untersuchungen mit Hilfe dreidimensionaler Finite-Elemente-Modelle durchgeführt.

In den physikalischen Modellversuchen mit unterschiedlich dicht gelagertem trockenem Sand wurden Einzelpfähle (schwimmend) unter statischer, zyklischer und dynamischer ($f \leq 7 \text{ Hz}$) Horizontalbelastung betrachtet; Ergebnisse waren Last-Verschiebungskurven des Pfahlkopfes sowie aus den Dehnungsmessungen am Pfahlschaft zurückgerechnete Momentenverteilungen. Der geometrische Modellmaßstab betrug 1:12, wobei als Prototyp ein Stahlbetonpfahl mit einem Durchmesser von 30 cm und einer Einbindetiefe von 5 m diente. Um herstellungsbedingte Einflüsse zu berücksichtigen, erfolgte der Einbau der Modellpfähle durch vertikales Einpressen.

Das entwickelte FE-Modell des umgebenden Bodens, das auf dem hypoplastischen Stoffgesetz - erweitert um das Konzept der intergranularen Dehnung - basiert, wurde zur Nachrechnung der Modellversuche, der Verbesserung des Modellgesetzes und für Parameterstudien am Prototyp verwendet. Es ist in der Lage, die Veränderung der Bodeneigenschaften während der statischen, der zyklischen oder der dynamischen Belastung zu simulieren. Während die Pfahl-Boden-Interaktion bei Bohrpfählen zufriedenstellend beschrieben wird, so dass verschiedene Parameterstudien bezüglich der Boden- und Kontakteigenschaften durchgeführt werden konnten, lässt sich das im Modellversuch beobachtete Verhalten eines Verdrängungspfahles unter zyklischer oder dynamischer Belastung noch nicht zutreffend reproduzieren. Hier sind weitere Untersuchungen zur Verbesserung des numerischen Modells notwendig.

Abstract:

Vertical piles carry off lateral loads at the pile head towards the surrounding soil by means of horizontal bedding stresses. In this process the pile's bearing performance is determined by the pile-soil-interaction. Despite numerous investigations throughout the past years, the actual knowledge in lateral pile-soil-interaction is still insufficient. In practice, the pile-soil-interaction is commonly disregarded or represented in extremely simplified forms like subgrade reaction models, which can lead to uneconomic or even defective design. The complexity of pile-soil-interaction is due to the non-linear behaviour of the soil, the contact phenomena developing in direct transition of pile surface and soil and - last but not least - to the spatial circumstances of the matter. In case of a periodic or dynamic loading at the pile head, the level of complexity is even elevated by the extreme disparities of rigidity of the soil for loading and unloading as well as by the simultaneous change of the soil's density. Therefore only those techniques are suited for the examination of pile-soil-interaction, which allow consideration to the complexity of the problem. Accordingly, in this thesis small-scale simulation tests in a sand box as well as numerical investigations by means of the Finite Element Analysis under three-dimensional conditions were carried out.

In the physical model tests in dry sand of different initial densities, the single floating pile models were exposed to static, cyclic and dynamic (up to 7 Hz) lateral loads, leading to results like load-displacement-curves of the pile top and the distribution of the bending moments, which were counted back from strain measurements along the pile shaft. The geometrical scale in the physical modeling was taken to 1:12, representing a prototype reinforced concrete pile of 30 cm in diameter and 5 m in embedded length. The model piles were jacked, in order to take the installation process into account.

A Finite-Element-model of the surrounding soil, based upon the hypoplastic material law with intergranular strain, was developed, which was used for the recalculation of the small scale model tests leading to a calibration of the model law figures as well as in order to vary several parameters in the prototype scale. This model is able to simulate the change of soil properties during the excitation under static, cyclic or dynamic loading. While pile-soil-interaction of bored piles in prototype scale can be described sufficiently, so that different parameter studies concerning soil and contact properties could be conducted successfully, the model is still failing in predicting the behaviour of a jacked pile under cyclic or dynamic loading as observed in the physical model tests. Here further research is needed to enhance the numerical model.