

3. Numerische Modellierung der Pfahl-Boden-Interaktion bei Probelastungen – Gegenüberstellung von Messungen und Simulationen

Dipl.-Ing. Georg Friedrich Bsc | Technische Universität Wien

Pfahlgründungen sind die am häufigsten angewandte Tiefgründungsvariante. Trotz der weit verbreiteten Anwendung gibt es nur wenige Methoden, mit denen die Tragfähigkeit von Pfählen bestimmt werden kann. Die statische Pfahlprobelastung gilt als jene Methode, die die genauesten Widerstandswerte liefert, ist jedoch zeit- und kostenintensiv. Das Ziel dieser Arbeit war es, das mechanische Tragverhalten von Ortbeton-Bohrpfählen mithilfe von numerischen Simulationen abzubilden und zu analysieren. Dafür wurden numerische Modelle erstellt und mit realen statischen Probelastungen aus dem Forschungsprojekt „Unteres Hausfeld“ (FPUH) verglichen. Die Simulationen fokussieren sich auf die Interaktionen zwischen Pfahl und Boden unter Berücksichtigung komplexer Bodenmechanik und der Einflüsse von Bodenverformungen.

Versuchskonzept und Datenerhebung

Für die Untersuchung wurden zwei Versuchspfähle des FPUHs, ein Kiespfahl (B.K55) und ein Miozänpfahl (B.M5), herangezogen. Diese Pfähle unterscheiden sich durch die vorliegenden Bodenbedingungen. Die Prüfstrecke des Kiespfahls liegt in quartären Sedimenten (Kies), jene des Miozänpfahls in den miozänen Schichten (Wiener Tegel). Sowohl die quartären als auch die miozänen Schichten sind repräsentativ für den Wiener Baugrund. Die Versuchspfähle wurden im Rahmen des FPUHs einer statischen Pfahlprobelastung unterzogen. Die Probelastungen wurden kraftgesteuert in zwei Lastschleifen durchgeführt. Die erzielten Ergebnisse dienten als Grundlage für die numerischen Modelle.

Für die Modellierung wurde die Finite-Elemente-Software Plaxis 2D eingesetzt. Die Modelle wurden in Achsensymmetrie erstellt. Um das komplexe Bodenverhalten möglichst realitätsnah abzubilden, wurde das höherwertige Stoffmodell Hardening Soil model with small-strain stiffness (HSS) verwendet. Das mechanische Verhalten des Pfahls wurde durch linear elastische Stoffmodelle beschrieben. Mithilfe von Interface-Elementen war es möglich, die Pfahl-Boden-Kontaktfläche zu definieren und so die Reibung und Interaktion korrekt abzubilden.

Eine wesentliche Herausforderung bestand darin, die Parameter für die Modellierung festzulegen. Diese wurden teilweise aus den durchgeführten Laborversuchen und Erfahrungswerten abgeleitet, da für komplexe Bodenbedingungen wie miozäne Schichten spezifische Daten erforderlich waren, die in der Literatur nicht immer umfassend verfügbar sind.



Vergleich und Analyse der Versuchs- und Simulationsergebnisse

Die Aufbereitung der Simulationsergebnisse umfasste den Vergleich der Widerstand-Verschiebungs-Linien der Modelle mit den realen Versuchsergebnissen. Dabei wurden insbesondere die vertikalen Verschiebungen und die Belastungen der Pfahlköpfe sowie die Verteilung der Mantelreibung und des Spitzendrucks untersucht. Für eine genauere Analyse des Tragverhaltens wurden zudem die im Boden auftretenden mechanischen Prozesse untersucht.

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass die numerische Modellierung der Pfahl-Boden-Interaktionen insbesondere bei Pfählen in miozänen Schichten sehr gut mit den realen Probelastungen übereinstimmt. Beim Vergleich der Widerstand-Verschiebungs-Linien wurde festgestellt, dass der Miozänpfahl B.M5 nahezu die gleichen Widerstandswerte wie im realen Versuch aufwies. Die Unterschiede beim Kiespfahl B.K55 hingegen waren signifikant, da der im Modell berechnete Widerstand deutlich geringer ausfiel als in den Versuchen. Dies lässt sich durch die komplexen Dilatationsprozesse und die variablen Scherparameter in den quartären Kiesen erklären.

Eine weitere Erkenntnis der Studie war, dass die numerische Modellierung komplexer Pfahl-Boden-Interaktionen möglich ist, die Ergebnisse aber gewissen Schwankungen unterliegen. Diese ergeben sich aus der Unsicherheit der Eingangsparameter. Die durchgeführte

Parameterstudie zeigt deutlich, welche Parameter einen großen und welche einen geringen Einfluss auf die Ergebnisse haben. Bei miozänen Böden spielt vor allem die Vorkonsolidierungsspannung eine wesentliche Rolle, da sie sich direkt auf die Normalspannung und damit auf die Reibung zwischen Pfahl und Boden auswirkt. Bei kiesigen Schichten haben vor allem die Scherparameter einen großen Einfluss auf das Tragverhalten des Pfahls.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die durchgeführten numerischen Simulationen der Pfahl-Boden-Interaktion haben gezeigt, dass eine numerische Modellierung realistische Ergebnisse liefern kann, insbesondere bei Pfählen in miozänen Schichten, da diese sich mehr wie ein Kontinuum ver-

halten. Für quartäre Schichten ist die Annahme eines Kontinuums und einem derartigen mechanischen Verhalten nicht vollständig zutreffend. Die Abweichungen zwischen Realität und Modell lassen darauf schließen, dass nicht alle auftretenden mechanischen Prozess mithilfe dieses Modells abgebildet werden können. Diese Arbeit hat gezeigt, dass eine detaillierte Analyse und Modellierung der Pfahl-Boden-Interaktion wesentlich zur Optimierung von Pfahlgründungen beitragen kann. In zukünftigen Projekten sollten daher weitere numerische Modelle unter variierenden Bodenbedingungen entwickelt werden, um das Verständnis der Interaktionen zu vertiefen und die Genauigkeit der Modellierungen weiter zu verbessern. Eine zusätzliche Sensitivitätsanalyse könnte helfen, die Einflüsse einzelner Parameter auf das Gesamtverhalten besser zu verstehen.