

Tragfähigkeit von gerammten und vibrierten Stahlrohrpfählen

Dipl.-Ing. Patrick Lammertz, Universität Duisburg-Essen

Während bei gerammten Pfählen die Rammenergie ein Maß für die Tragfähigkeit eines Pfahls darstellt, gibt es für vibrierte Pfähle solche abgesicherten Korrelationen zwischen Herstelldaten und Pfahltragfähigkeit nicht. Auch weisen vibrierte Pfähle unter sonst gleichen Bedingungen oft eine geringere Tragfähigkeit und bei gleichen Pfahllasten größere Setzungen auf als gerammte Pfähle. Deshalb wird heute meist bis rund zwei Meter oberhalb der endgültigen Rammtiefe mit den schonenderen und schnelleren Vibrationsrammen gearbeitet, und die letzten zwei Meter werden in herkömmlicher Weise nachgerammt, womit dann über die Rammenergie auch ein verlässliches Maß für die Tragfähigkeit gewonnen wird. Dadurch geht aber ein großer Teil des ökologischen und wirtschaftlichen Vorteils der modernen Vibrationsrammen verloren.

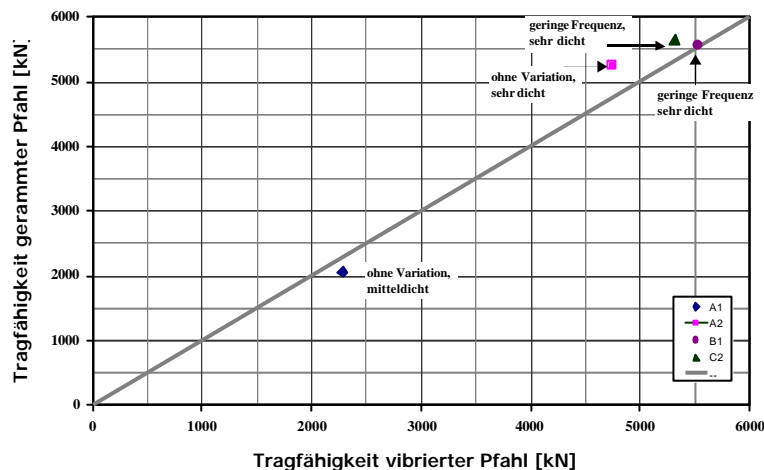
In der einschlägigen Literatur finden sich nur wenige und zum Teil auch widersprüchliche Angaben bezüglich des Tragfähigkeitsvergleichs von gerammten und vibrierten Pfählen. Während in großmaßstäblichen Versuchen fast ausschließlich eine höhere Tragfähigkeit der gerammten Pfähle festgestellt wurde, sind in kleinmaßstäblichen Versuchen sowohl Ergebnisse dokumentiert, die eine deutlich geringere Tragfähigkeit von vibrierten Pfählen belegen als auch solche, die eine gleiche oder sogar höhere Tragfähigkeit ergaben. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass derzeit eine zuverlässige Ermittlung der Tragfähigkeit vibrierter Pfähle im Allgemeinen und eine Ableitung der Tragfähigkeit aus den Daten der Einbringung im Speziellen nicht möglich ist.

Vibrationsrammen erzeugen ihre Kraftwirkung durch die Fliehkräfte paarweise gegenläufig rotierender Unwuchten. In vertikaler Richtung addieren sich die Fliehkräfte, in horizontaler Richtung heben sie sich gegenseitig auf. Der resultierende Kraftverlauf ist sinusförmig, wobei die Frequenz und das statische Moment die Amplitude der Erregerkraft bestimmen. Im Gegensatz zu dieser harmonischen Erregerkraft wird bei der Schlagrammung die Erregerkraft durch eine auf den Kopf des Pfahls aufprallende Fallmasse erzeugt und ist daher impulsartig. In beiden Fällen erfährt der Baugrund eine dynamische Beanspruchung und die damit verbundenen Veränderungen der Bodeneigenschaften können sich auf unterschiedlicher Weise nachhaltig auf die Pfahltragfähigkeit auswirken. Hierbei ist entscheidend, ob und in welchem Maße durch den Einbringvorgang eine Verdichtung oder sogar Auflockerung des Bodens um den Pfahl stattfindet. So findet bei der Schlagrammung in der Regel eine Verdichtung des den Pfahl umgebenden Bodens statt, wogegen beim Vibrieren im Vorhinein nicht klar ist, ob es den Boden in eine dichtere Lagerung bringt. So kann sich ein ursprünglich relativ dicht gelagerter Boden durch das Vibrieren sogar auflockern. Die Umorientierung und Umlagerung der den Pfahl umgebenden Bodenkörner ist abhängig von dem ursprünglichen Spannungszustand und der Lagerungsdichte, aber auch von der induzierten Beschleunigungsamplitude.

Ziel des Forschungsvorhabens ist neben einer systematischen Analyse zur Tragfähigkeit von vibrierten Pfählen die Entwicklung eines Bemessungsansatzes für die Tragfähigkeit von vibrierten Pfählen. Dabei sollen neben der Herleitung einer Vibrationsformel auch halbempirische Verfahren im Vordergrund stehen, wobei hier sowohl für vibrierte als auch für gerammte Pfähle Korrelationen zwischen Pfahlspitzendrücken bzw. -mantelreibungen in einem definierten Grenzzustand und Sondierspitzenwiderständen abgeleitet werden. Hierzu werden verschiedene bekannte Ansätze im Rahmen von Vergleichsberechnungen überprüft.

Im Rahmen des von der DFG geförderten Forschungsvorhabens (Richwien 390/8-1) wurden vergleichende Felduntersuchungen zur Tragfähigkeit von geramnten und vibrierten Pfählen durchgeführt. Grundlage der Untersuchungen sind Messungen an den Pfählen bei der Baumaßnahme Emspier in Emden. Hierbei wurden unmittelbar benachbarte Bauwerkspfähle auf Tiefe gerammt bzw. vibriert und ihre Tragfähigkeit durch Probelastungen bestimmt.

Die Feldversuche lassen sich entsprechend der Zielsetzung des Forschungsvorhabens in zwei Gruppen aufteilen. Einerseits die Versuche, bei denen die Pfähle mit gleichem Gerät (nur Vibrationsramme), aber unterschiedlichen Stellgrößen (Frequenz und statisches Moment) eingebracht wurden und andererseits diejenigen, bei denen unterschiedliches Gerät (Vibrationsramme und Hydrohammer) benutzt wurde. Eine Zusammenfassung letzterer Versuche zeigt folgende Abbildung. Hierbei stellen Punkte oberhalb der Linie Pfahlpaare dar, bei denen die Tragfähigkeit des geramnten Pfahls höher ist als die des vibrierten Pfahls. Dementsprechend zeigen Punkte unterhalb der Linie, dass der vibrierte Pfahl eine höhere Tragfähigkeit aufweist als der geramnte Pfahl.



Die Pfahlpaare A1 und A2 wurden ohne Variation der Stellgrößen, d.h. mit annähernd maximaler dynamischer Kraft einvibriert. Während das Pfahlpaar A1 in locker bis mitteldicht gelagertem Sand einbindet, stehen die Pfähle des Paares A2 in dicht bis sehr dicht gelagertem Sand.

Demgegenüber wurden die vibrierten Pfähle der Pfahlpaare B1 und C2 mit unterschiedlicher Frequenz eingebracht. So ist zu erkennen, dass der relative Unterschied in der Tragfähigkeit durch Reduzierung der Frequenz beim Vibrieren minimiert werden konnte. Je niedriger die Frequenz (bis zu 24 Hz), desto langsamer lassen sich die Pfähle einvibrieren, desto größer sind aber auch die späteren Tragfähigkeiten. Der Einfluss der Vibrationsfrequenz auf die Tragfähigkeit ist vornehmlich auf den Mantelwiderstand beschränkt.

Folgende rein qualitative Zusammenhänge lassen sich ableiten:

- In locker bis mitteldicht gelagertem Sand ist mittels Vibration eine höhere Tragfähigkeit zu erzielen als beim schlagenden Rammen.
- In dicht bis sehr dicht gelagertem Sand weisen die geramnten Pfähle höhere Tragfähigkeiten auf.
- Durch eine Reduzierung der Frequenz auf den letzten Rammmetern sind beim Vibrieren in dicht bis sehr dicht gelagertem Sand Tragfähigkeiten zu erzielen, die dem der geramnten Pfähle entsprechen.