

Technischer Bericht: **Schwingungsausbreitung bei der Rammung von  
Stahlrohrpfählen**

von

Prof. Dr.-Ing. Otfried Beilke

**Einleitung**

Im norddeutschen Raum stehen oftmals weiche bindigen Böden als Baugrund an, so dass bei der Erstellung von Gebäuden häufig Pfahlgründungen zur Abtragung der Lasten in tieferliegende tragfähige Schichten erforderlich werden.

Insbesondere im innerstädtischen Bereich müssen diese Pfahlgründungen häufig in unmittelbarer Nachbarschaft zu bereits bestehenden Bebauungen ausgeführt werden. Beim Einbringen der Pfähle in den Baugrund kommt es zu Rammerschütterungen, die auf die Nachbarbebauung einwirken und dort gegebenenfalls Schäden verursachen können.

Zu diesen Rammerschütterungen liegen bislang nur grundsätzliche Erkenntnisse vor. Speziell für die unterschiedlichen Arten von Stahlrohrrammpfählen sind weitere Untersuchungen erforderlich. Bild 1 zeigt einen im Fußbereich teilverschlossenen Stahlrohrpfahl. Ziel dieser Untersuchungen ist es, langfristig eine zutreffende Prognose der beim Rammen von unterschiedlichen Stahlrohrpfählen auftretenden Erschütterungen zu ermöglichen.



Bild 1:  
teilverschlossene Stahlrohrpfähle

In einer ersten Untersuchungsphase wurden Messungen zur Optimierung der Ankopplung des Messsystems an den Baugrund sowie zur Beurteilung des Abklingverhaltens von Schwinggeschwindigkeiten durchgeführt.

### **Die Messeinrichtung**

Die Schwingungsmessungen wurden mit einem VIBRATION-MONITORING-SYSTEM der Firma IFCO durchgeführt (Bild 2). Dieses System zeichnet sich durch seine Kompaktheit (geringes Gewicht) und seine einfache Handhabung aus.

Die Messeinrichtung besteht aus einer Messstelle, welche die Schwinggeschwindigkeiten mit Geofonen in x, y und z-Richtung aufnimmt und einer Messwerterfassung. Die Messwerterfassung zeigt die jeweils gemessenen Schwinggeschwindigkeiten  $v_x$ ,  $v_y$  und  $v_z$  sowie die zugehörigen Frequenzen online an. Zusätzlich werden die in einem Messintervall gemessenen Maximalwerte angezeigt. So lässt sich bereits während der Durchführung der Messungen eine erste Beurteilung der auftretenden Schwingungen vornehmen. Alle gemessenen Daten werden in der Messwerterfassung zwischengespeichert. Die vollständige Auswertung der Messungen erfolgt nach Übertragung der Messdaten auf einen PC mit Hilfe der VMS-Software.



Bild 2:  
VMS-Messsystem

### Untersuchungen zur Ankopplung des Messgebers an den Baugrund

Die zu messende Schwingungsgröße muss im Arbeitsfrequenzbereich der Messeinrichtung verzerrungsfrei vom Messobjekt (hier: Baugrund) an den Messgeber übertragen werden. Hierbei ist das Problem der sogenannten „Ankopplung“ zu lösen. Die Ankopplungsvorrichtung ist grundsätzlich so zu wählen, dass eine kraftschlüssige Verbindung zwischen Messgeber, Ankopplungsvorrichtung und Baugrund hergestellt wird und keine Resonanzen im Arbeitsfrequenzbereich der Messeinrichtung erzeugt werden.

Häufig wird zur Ankopplung an den Baugrund sogenannte Erdspieße (Länge beispielsweise ca. 30 cm) verwendet (Bild 4). Alternativ besteht auch die Möglichkeit, den Messgeber auf eine handelsübliche Gehwegplatte (beispielsweise 30 x 30 cm, Beton) zu stellen.



Bild 4:  
Messgeber auf einer  
Gehwegplatte und auf  
einem Erdspieß

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen sollte ermittelt werden, welchen Einfluss diese unterschiedlichen Ankopplungsarten auf die Messergebnisse haben.

Für die Messungen wurden zwei Messgeber nebeneinander aufgestellt; ein Messgeber wurde auf eine Gehwegplatte gestellt, der andere auf einem Erdspieß montiert. Es wurden Messungen im Rahmen verschiedener Projekte durchgeführt.

Die Auswertung der Messergebnisse erfolgt auf der Basis der resultierenden Schwinggeschwindigkeiten  $v_R$ .

$$v_R = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Die Ergebnisse sind in den Bildern 5 und 6 zusammengestellt.

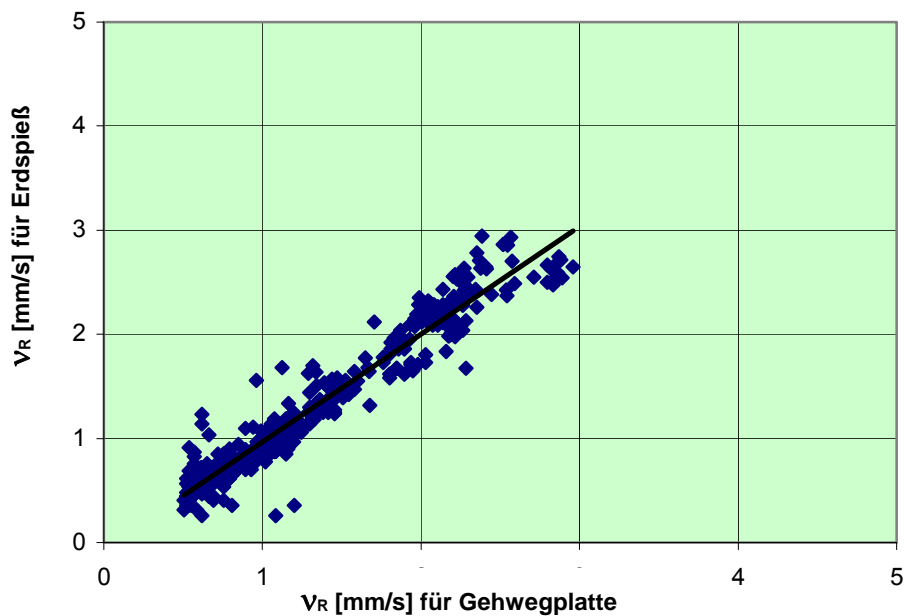


Bild 5: Vergleich Gehwegplatte – Erdspieß  
für Schwinggeschwindigkeiten  $v_R < 3$  mm/s

Für kleine Schwinggeschwindigkeiten von  $v_R < 3$  mm/s zeigen sich praktisch keine Unterschiede zwischen den beiden Ankopplungsvorrichtungen (Bild 5). Im Mittel entsprechen die auf der Gehwegplatte gemessenen Werte den Werten, die auf dem Erdspieß gemessen wurden ( $v_{R, \text{Erdspieß}} : v_{R, \text{Gehwegplatte}} \approx 1 : 1$ ).

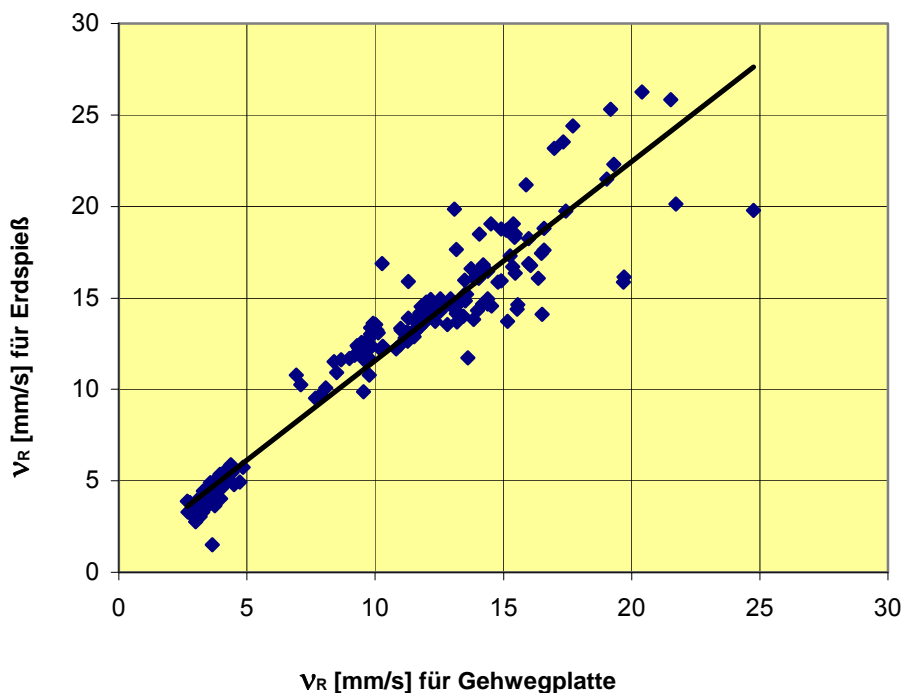


Bild 6: Vergleich Gehwegplatte – Erdspieß  
für Schwinggeschwindigkeiten  $v_R > 3$  mm/s

Für die größere Schwinggeschwindigkeiten von  $v_R > 3$  mm/s sind dagegen deutliche Unterschiede zwischen den beiden Ankopplungsvorrichtungen festzustellen (Bild 6). Die mit dem Erdspieß gemessenen Werte sind im Mittel rd. 20% höher als die Werte, die mit der Gehwegplatte als Ankopplungselement gemessen wurden ( $v_{R, \text{Erdspieß}} : v_{R, \text{Gehwegplatte}} = 1 : 0,83$ ). Ursache hierfür ist die Dämpfung, welche durch die Masse der Betonplatte hervorgerufen wird.

Betrachtet man die einzelnen Schwingungsrichtungen, so bestätigen die in den beiden horizontalen Richtungen (x- und y-Richtung) gemessenen Werte diese Annahme. In vertikaler Richtung (z-Richtung) liegen die gemessenen Schwinggeschwindigkeiten die mit Gehwegplatte ermittelt wurden in der Regel jedoch etwas höher als die mit dem Erdspieß ermittelten Werte. Zur Klärung der Ursachen sind weiterführende Untersuchungen erforderlich.

Grundsätzlich erscheinen beide Verfahren anwendbar. Die Vorteile einer Ankopplung mit einer Gehwegplatte liegen in der Anwendung bei aufgeweichten oder sehr locker gelagerten Böden, in denen ein Erdspieß keinen ausreichenden Halt findet.

### Abklingverhalten der Schwingungen

Die Untersuchungen zum Abklingverhalten wurden im Zuge der Gründungsarbeiten für ein neues Logistik-Zentrum in Brake durchgeführt. Im Rahmen dieses Bauvorhabens waren mit einem Rüttler teilverschlossene Stahlrohrpfähle von rd. 18 m Länge in den Baugrund einzubringen (Bild 1).

Die Messgeräte wurden in unterschiedlichem Abstand zur Erschütterungsquelle aufgestellt. Der minimale Abstand betrug rd. 2,5 m, der maximale Abstand rd. 34 m. Da die äußeren Randbedingungen (eingesetzte Geräte, Baugrund- und Grundwasserverhältnisse, Nachbarbebauung u.ä.) während der Versuchsdurchführung als annähernd konstant anzunehmen sind, ist die Höhe der gemessenen Schwinggeschwindigkeiten im wesentlichen vom Abstand zwischen Erschütterungsquelle und Messgerät abhängig.

Bei der Auswertung wurde aus den gemessenen drei Maximalwerten (x-,y- und z-Richtung) vereinfachend eine resultierende Schwinggeschwindigkeit ermittelt.

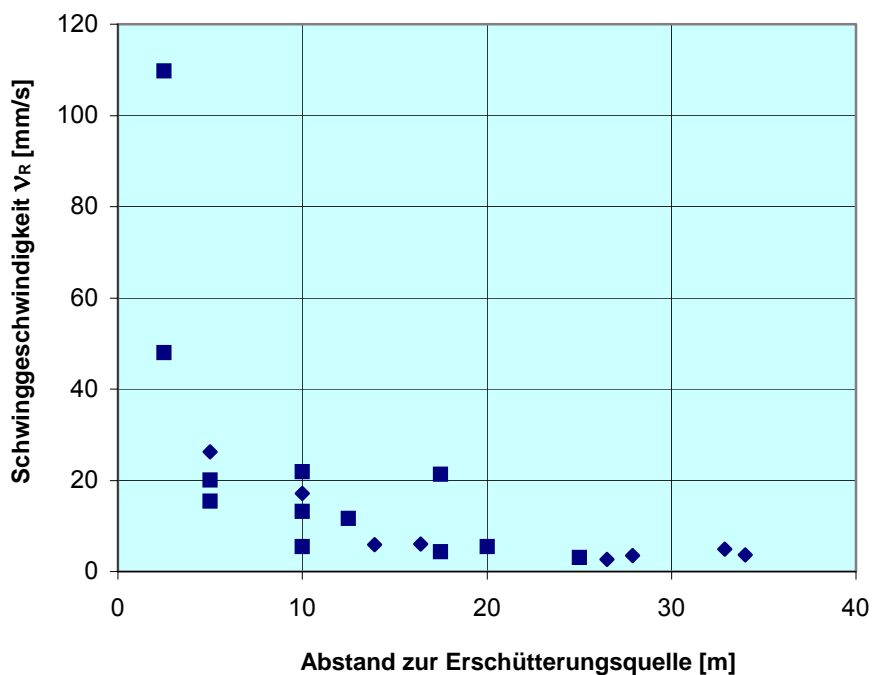


Bild 7: Gemessene Schwinggeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Entfernung zur Erschütterungsquelle

In Bild 7 sind die ermittelten  $v_R$ -Werte den Abständen zur Erschütterungsquelle gegenüber gestellt. Es zeigt sich, dass die Schwinggeschwindigkeiten - wie erwartet - mit zunehmendem Abstand rasch abklingen, und bereits in einem Abstand von rd. 15 m zur Erschütterungsquelle nur noch Werte von  $v_R \leq 6$  mm/s registriert werden.

Bei der Beurteilung der Einwirkungen dieser Erschütterungen auf bauliche Anlagen ist zu berücksichtigen, dass durch die Masse des Bauwerks selbst eine weitere Dämpfung der Schwinggeschwindigkeiten eintritt. Am Fundament eines Bauwerkes werden deshalb deutlich geringere Schwinggeschwindigkeiten gemessen als im Boden unmittelbar davor (Freifeld). Vorangegangene Untersuchungen für ein Bauvorhaben in Oldenburg haben ergeben, dass durch diesen Effekt eine Abnahme der Schwinggeschwindigkeiten auf rd. 1/5 der im Freifeld gemessenen Werte eintritt. Andere Erfahrungswerte gehen von einer Reduktion auf ungefähr die Hälfte der im Freifeld gemessenen Schwinggeschwindigkeiten aus.

Die Beurteilung von gemessenen Erschütterungen hinsichtlich möglicher schädlicher Einwirkungen auf bauliche Anlagen erfolgt in Deutschland nach den Kriterien der DIN 4150. In dieser Norm werden Anhaltswerte angegeben, bei deren Einhaltung schwingungsbedingte Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes nach bisherigen Erfahrungen nicht auftreten.

Gemäß DIN 4150 sind bei Schwinggeschwindigkeiten von  $v_i < 3$  mm/s (gemessen am Fundament) auch bei erschütterungsempfindlichen Bauwerken keine Schäden zu erwarten. Unter Berücksichtigung der o.g. Dämpfung durch das Bauwerk bedeutet dies, dass die Schwinggeschwindigkeiten im Freifeld nicht höher als 6 – 15 mm/s sein dürfen. Nach den durchgeführten Untersuchungen sind diese Anforderungen erfüllt, wenn der Abstand zur Erschütterungsquelle mindestens rd. 15 m beträgt.

Dieser Anhaltswert gilt zunächst nur für die speziellen Projektrandbedingungen und ist durch zusätzliche Untersuchungen unter anderen Randbedingungen (z.B. anderer Baugrund, andere Pfähle und Rüttler) zu verifizieren. Ferner ist zu berücksichtigen, dass innerhalb eines mehrgeschossigen Gebäudes vom Fundament bis zur obersten Deckenebene eine erhebliche Verstärkung der Schwinggeschwindigkeiten eintreten kann.