



## Umweltbelastung durch Schall- oder Schwingungs- emissionen beim Vibrieren von Pfählen

Peter Loster, 29.6.2009

*Im folgenden skizziere ich einige Denkansätze, wie die Problematik der Emissionen beim Einbringen von Pfählen betrachtet werden können. Die Ideen beruhen auf Erfahrungen und einigen kleinen Berechnungen zur Abschätzung der Größenordnungen. Einige physikalische Zusammenhänge über Schwingungen und Wellenausbreitung lassen folgendes erwarten.*

*Die aufgeführten Punkte sind als Anregung für Lösungsansätze gedacht und erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder exakte Ausführung/Berechnung der angesprochenen Effekte. Eine genauere messtechnische Untersuchung steht zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch aus und wäre sicher lohnend für alle Beteiligten.*

Die Energie des Hammers bzw. Vibrators wird über den Pfahl umgewandelt in

- Vortriebsarbeit,
- Bodenwellen
- Schallwellen in Wasser
- Schallwellen in Luft

Der erste Punkt ist erwünscht, die folgenden drei Punkte sind unerwünschte Emissionen.

Die Schallübertragung (Impedanz) vom Pfahl zur Luft und zum Wasser ist auch wegen der Bewegungsrichtung sehr schlecht, sodass die meiste Energie in die Vortriebsarbeit und in Bodenwellen umgewandelt wird. Dabei ist es vorteilhaft, wenn der Hammer und der Vibrator nicht unter Wasser betrieben werden. Schwingungen dieser Geräte werden kaum von der Luft in das Wasser übertragen.

Der Pfahl ist so konstruiert (in der Mitte dicker), dass Schwingungen quer zur Schlagrichtung kaum auftreten. Diese würden auch den Impuls auf die Pfahlspitze und damit das Vortriebsergebnis verringern.

Problematisch sind Resonanzen, hervorgerufen durch die Eigenresonanz des Pfahls, des Bodens und der vertikalen Wassersäule im Nahbereich des Pfahls. Bei 30m Wassertiefe könnte diese bei 15 Hz liegen, eine Resonanzstelle des Pfahls in Längsrichtung könnte bei 25Hz liegen (abgeschätzt über die Schallgeschwindigkeit). Die Bodenresonanzen können kaum berechnet werden. Daraus folgt, dass auf Messungen der Emissionen nicht verzichtet werden kann.

Erfahrungen und Messungen belegen, dass beim Einvibrieren von Pfählen pro Meter Tiefe weniger Energie benötigt wird, als dies beim Schlagen der Fall ist. Der Wirkungsgrad kann dabei - abhängig vom Bodenaufbau und den Einbringparametern zwei bis fünfmal höher liegen. Die Verluste des Vibrators sind dabei nicht berücksichtigt, was bedeutet, dass bei gleicher Tiefe die Summe der



Emissionen in Form von Schall oder Schwingungen vom Pfahl in die Umwelt entsprechend niedriger sind.

Allerdings erfolgt das Vibrieren nach ersten Erfahrungen in unserem Fall erheblich schneller. Daher können die eingebrachten Leistungen höher ausfallen:

$$\text{Leistung} = \text{Energie} / \text{Zeit}$$

Die Emissionen werden geringer, wenn ein möglichst großer Teil der Energie in Vortriebsarbeit umgewandelt werden kann. Dazu gilt es, die Einbringparameter zu optimieren.

Beim Schlagen mit dem Hammer entsteht ein relativ kurzer Impuls, der die Umgebung breitbandig zu Eigenschwingungen anregt. Wenn z. B. zwei schwingfähige Systeme wie Wassersäule und Boden Resonanzen bei jeweils 15 Hz bzw 25 Hz besitzen würden, so können die Schläge diese beiden Frequenzen gleichzeitig anregen. Durch Optimierung der Schlagparameter können die Emissionen möglichst gering gehalten werden was gleichzeitig optimalem Vortrieb entspricht.

Beim Vibrieren wird nur ein schmales Frequenzband mit deutlich geringerer Amplitude angeregt. Gelingt es, die Frequenz in einen Bereich mit geringen Resonanzen zu legen, so können Emissionen und Vortrieb ebenfalls optimiert werden. Da hier mit einer Bewegung von ca. 20 bis 30 'kleinen Schlägen' pro Sekunde gerechnet werden kann, dürften die Amplituden wesentlich geringer ausfallen. Die Frequenz ist schmalbandig über den Vibrator bestimmt. Durch geeignete Auslegung können Resonanzen mit ihren hohen Emissionen und Verlusten vermieden werden.

Bei beiden Verfahren ist neben der Erfahrung aus früheren und dem laufenden Projekt die Erfassung und Anzeige der Einbringparameter eine wichtige Voraussetzung zur Einhaltung der als optimal ermittelten Vorgaben.

Betrachtungen für ein geplantes Verfahren:

- Das Wasser kommt nur mit dem Pfahl und dem Boden in Kontakt. Schall, der direkt vom Hammer oder Vibrator ausgeht wird über die Luft und die schlechte Anpassung des Schalls beim Übergang von Luft in Wasser stark gedämpft.
- Der Pfahl regt im Wasser eine Schwingungsrichtung transversal zur Ausbreitungsrichtung von Schall vom Pfahl weg an, woraus ebenfalls eine geringe Schalleinkopplung resultiert.
- Die Bodenwellen verschiedener Art teilen sich wiederum in Oberflächenwellen und Wellen die unter dem Boden bleiben. Nur die Oberflächenwellen erzeugen Schall im Wasser.
- Der größte Anteil des emittierten Schalls wird wohl über Oberflächen-Bodenwellen an der Grenze zwischen Boden und Wasser in Form von Druckwellen abgegeben. Die unterschiedliche Laufzeit der Wellen im Boden und im Wasser wird zu Auslöschungen in der näheren und weiteren Umgebung des Pfahls führen ('Gegenschall'). Es wäre daher sinnvoll, die Schallamplituden im Wasser in verschiedenen Entfernungen zu messen und deren Abfall zu beobachten. Die Messstationen können dabei durchaus fest angebracht werden. Die Abstände würden durch die verschiedenen Positionen der Bohlen verändert.
- Ohne diese Auslöschungen könnte man eine relativ geringe Dämpfung von  $1/r$  ( $r$  = Abstand vom Pfahl) im Gegensatz zu  $1/r^2$  im Raum erwarten. Tatsächlich sollte die Dämpfung höher liegen.



- Die besten Vortriebsergebnisse treten gleichzeitig mit geringsten Emissionen auf, da dann maximale Energie für den Vortrieb umgesetzt wird.

Weitere Gedanken:

- Die Messungen des Schalls sollten in verschiedenen Entfernungen erfolgen.
- Die Auswertung der Emissionen muss mit den Parametern beim Einbringen korreliert werden
- Die Erwartung höherer Effizienz bei geringeren Emissionen ist sowohl für die Umwelt als auch für das Bauverfahren positiv.
- Beim Hämmern werden über einen längeren Zeitraum kurze hohe Pulse im Takt einiger Sekunden breitbandig emittiert. Beim Vibrieren ist der Zeitraum kürzer und die Belastung ist nur auf einen schmalen Frequenzbereich beschränkt. In diesem können aber höhere Amplituden erreicht werden, insbesondere wenn Resonanzfrequenzen aus der Umgebung angeregt werden. Dieser Nachteil kann durch geeignete Wahl der Frequenz minimiert werden.
- Speziell beim Hammer könnten z. B. durch einige Schläge geringer Energie mit nachfolgender, langsamer Steigerung der Schlagenergie Fische aus der Umgebung vertrieben werden. Beim Vibrieren entsteht dieser Effekt automatisch, da die Energie und damit die Emissionen mit zunehmender Tiefe allmählich ansteigen.