

Technischer Bericht **Beeinflussung von Fertigmörtelsäulen beim Überbauen mit schweren Verdichtungsgeräten**

von

Prof. Dr.-Ing. Otfried Beilke

Einleitung

Insbesondere im norddeutschen Raum stehen häufig weiche bindige Böden als Baugrund an, und die Gründung von Dämmen insbesondere für Verkehrswege erfordert häufig pfahlartige Gründungen zur Abtragung der Lasten in tieferliegende tragfähige Schichten. Bislang wurden häufig aufwendige sogenannte Moorbrücken zur Gründung von Dämmen ausgeführt. In neuerer Zeit kommen zunehmend geokunststoffbewehrte Erddämme über pfahlartigen Elementen zur Ausführung. Hierbei werden die Dammlasten über Gewölbewirkung und ein membranartiges Tragverhalten der Geogitter in die pfahlartigen Elemente abgetragen.

Da die pfahlartigen Elemente nur geringe Achsabstände aufweisen, ist deren erforderliche vertikale Tragfähigkeit nur gering, z.B. ca. 470 kN bei einem 9 m hohen Damm und einem Achsabstand von 1,4 m. Somit können auch unbewehrte Beton- oder Fertigmörtelsäulen zum Einsatz kommen.

Im Zuge des Überbauens der Fertigmörtelsäulen (z.B. durch den lagenweisen Einbau von Mineralstoffen) kommt es während der Verdichtungsarbeiten zu einer statischen und dynamischen Beanspruchung der Fertigmörtel.

Anhand von Schwingungsmessungen wird eine qualitative Beurteilung der auftretenden Beanspruchungen infolge der dynamischen Wirkungen beim Überbauen vorgenommen.

Für die Verdichtungsarbeiten ist eine Arbeitsweise zu wählen, die bei einer möglichst geringen Beanspruchung der Säulen gleichzeitig einen hohen Verdichtungserfolg gewährleistet. Zur Beurteilung verschiedener Arbeitsweisen hinsichtlich ihrer Wirkung auf die Säulen wurde in Zusammenarbeit mit der Bauunternehmung Wittfeld GmbH, Wallenhorst, ein Testfeld angelegt, auf dem mit unterschiedlichen Verdichtungsgeräten und –verfahren Betonsäulen mit einem Mineralgemisch überbaut wurden. Während des Überbauens wurden zur Feststellung der jeweils auftretenden Beanspruchungen fortlaufend Schwingungsmessungen an den Betonsäulen durchgeführt.

Ziel der Untersuchungen war es, unter Berücksichtigung des erzielten Verdichtungserfolges und der dabei auftretenden Beanspruchungen der Betonsäulen eine schonende Arbeitsweise zu ermitteln.



Bild 1:
Testfeld (Draufsicht)

Das Testfeld

Das Testfeld besteht aus Betonsäulen mit einem Durchmesser von ca. 90 cm. Der Abstand der Säulen beträgt ca. 1,4 m bzw. 2 m (Bild 1). Zwischen den Säulen wurde Torf eingebracht.

Die Länge der Säulen beträgt ca. 1 m. Sie binden im unteren Bereich in die anstehenden Sande ein.

Verdichtungsarbeiten und Verdichtungskontrollprüfungen

Über den Betonsäulen wurde ein Mineralgemisch aufgebracht. Der Einbau erfolgte in drei Lagen mit Lagenstärken von $d = 25$ cm (1. Lage) bzw. $d = 30$ cm (2. und 3. Lage). Vor dem Aufbringen der 1. Lage wurde zwischen den Säulen ein grober Schotter eingebracht, der zur Stabilisierung der Säulenköpfe dienen soll. Zwischen den Lagen 1 und 2 sowie 2 und 3 wurde jeweils ein Geogitter eingebaut.

Für die Verdichtung kamen 3 verschiedene Verdichtungsgeräte zum Einsatz:

- Anbau-Verdichtungsplatten Typ Stehr SBV 55-H3,
- 13to-Walzenzug Typ Hamm 3412 HT VIO,
- 7to-Walzenzug Typ Hamm 3307 HT VIO.

Die Walzenzüge wurden sowohl mit einer oszillierenden als auch mit einer vibrierenden Verdichtung betrieben.

Zur Beurteilung des Verdichtungserfolges wurde der dynamische Verformungsmodul mit der leichten Fallplatte bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengestellt.



Bild 2:
Anbau-
Verdichtungsplatten

Tabelle 1 Ergebnisse der Verdichtungskontrollprüfungen

| Lage | Gerät | Art | Anzahl der Übergänge | Dynamischer Verformungsmodul E _{vd} in MN/m ² |
|------|----------------------|-------------|----------------------|---|
| 1 | Verdichtungsplatten | Vibration | 3 | 18,7 |
| | Hamm 3412 VIO (13to) | Oszillation | 2 | 11,9 |
| | | Vibration | 2 | 11,6 |
| | Hamm 3307 VIO (7to) | Oszillation | 2 | 7,8 |
| | | | 3 | 11,3 |
| | | Vibration | 2 | 9,8 |
| | | | 3 | 10,9 |
| 2 | Verdichtungsplatten | Vibration | 3 | 39,5 |
| | Hamm 3412 VIO (13to) | Oszillation | 1 | 18,3 |
| | | | 2 | 17,2 |
| | | Vibration | 2 | 15,8 |
| | | | 2 | 17,6 |
| | | | 3 | 16,8 |
| | Hamm 3307 VIO (7to) | Oszillation | 2 | 20,8 |
| | | | 3 | 23,9 |
| | | Vibration | 2 | 25,9 |
| | | | 3 | 27,4 |
| 3 | Verdichtungsplatten | Vibration | 4 | 55,1 |
| | Hamm 3412 VIO (13to) | Oszillation | 1 | 33,2 |
| | | Vibration | 1 | 24,9 |
| | Hamm 3307 VIO (7to) | Oszillation | 2 | 24,6 |
| | | | 3 | 28,9 |
| | | Vibration | 2 | 32,1 |
| | | | 3 | 33,5 |
| | | | 4 | 37,4 |
| | | 5 | 37,3 | |

Es zeigt sich, dass mit einer Verdichtung durch Verdichtungsplatten die besten Ergebnisse erreicht wurden (s.a. Bild1). Mit dem 13to-Walzenzug wurden insgesamt die ungünstigsten Werte ermittelt. Insbesondere bei den unteren Lagen ist die Verdichtungswirkung durch das Fehlende „Widerlager“ (Torf als Untergrund) relativ gering. Der 7to-Walzenzug ist hier aufgrund des geringeren Eigengewichtes und der geringeren Verdichtungsenergie günstiger zu beurteilen.

Beim Überfahren der unteren Lagen mit dem 13to-Walzenzug wurden zusätzlich Brucherscheinungen im Torf mit entsprechenden horizontalen Beanspruchungen der Säulen festgestellt.

Durchführung der Schwingungsmessungen

Die Schwingungsmessungen wurden an 3 Betonsäulen durchgeführt. Dabei kamen zwei Messsysteme zum Einsatz.

An zwei Messpunkten (MP 1 und MP 2) wurden die Schwingungsmessungen mit einem VIBRATION-MONITORING-SYSTEM der Firma IFCO durchgeführt. Am dritten Messpunkt (MP 3) wurden zu Vergleichszwecken Messungen mit einem Erschütterungsmesssystem MR-2002 der Firma BARTEC vorgenommen.

In beiden Fällen besteht die Messeinrichtung aus einer Messstelle, welche die Schwinggeschwindigkeiten mit Geofonen in x, y und z-Richtung aufnimmt, sowie einer Messwerterfassung. Alle gemessenen Daten werden in der Messwerterfassung zwischengespeichert. Die vollständige Auswertung der Daten erfolgt nach Übertragung auf einem PC mit der zugehörigen Software.

Die Messpunkte liegen ca. 50 cm unterhalb der Säulenköpfe (Bild 2). Zum Schutz der Messgeber wurden zusätzlich Stahlkästen angebaut.



Bild 3:
Ankopplung des VMS-
Messgebers an eine
Betonsäule

Ergebnisse der Schwingungsmessungen

Ziel der durchgeführten Untersuchungen war es, eine qualitative Bewertung der auftretenden Schwingungen und damit verbunden der auftretenden Beanspruchungen zu ermöglichen. Eine quantitative Beurteilung ist grundsätzlich auch möglich, erfordert jedoch zusätzliche Analysen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Einzelwerte der gemessenen Schwinggeschwindigkeiten von einer Vielzahl von Parametern abhängen.

In Bild 4 sind beispielhaft die Ergebnisse einer einzelnen Messung grafisch dargestellt.

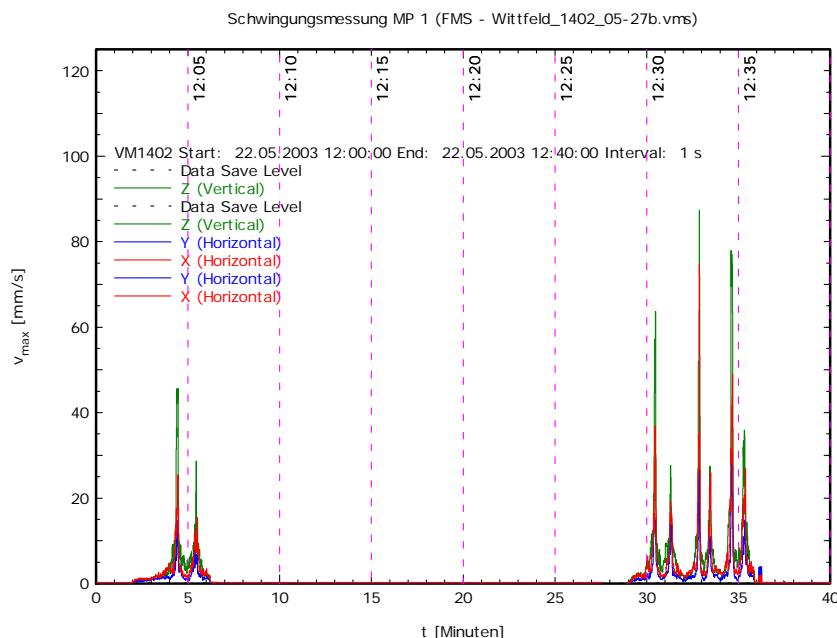


Bild 4:
Ergebnisse der Schwingungsmessungen: Anbau-Verdichtungsplatten - 1. Schüttlage

In Tabelle 2 ist eine qualitative Zusammenfassung der maximal gemessenen Schwinggeschwindigkeiten enthalten. Sofern eine Richtung der maximalen Beanspruchung deutlich dominiert, ist diese zusätzlich angegeben.

Tabelle 2 Qualitative Zusammenfassung der gemessenen Schwinggeschwindigkeiten

| Lage | Gerät | Art | Niveau der maximal gemessenen Schwinggeschwindigkeiten | |
|------|----------------------|-------------|--|----------------------------|
| | | | max v_i in m/s | Anmerkung |
| 1 | Verdichtungsplatten | Vibration | 80 bis 90 | z-Richtung dominiert |
| | Hamm 3412 VIO (13to) | Oszillation | 100 bis 110 | x, y-Richtung relativ hoch |
| | | Vibration | > 125 | z-Richtung dominiert |
| | Hamm 3307 VIO (7to) | Oszillation | bis 10 | |
| | | Vibration | 30 bis 40 | z-Richtung dominiert |
| 2 | Verdichtungsplatten | Vibration | bis 40 | z-Richtung dominiert |
| | Hamm 3412 VIO (13to) | Oszillation | bis 20 | |
| | | Vibration | 60 bis 80 | z-Richtung dominiert |
| | Hamm 3307 VIO (7to) | Oszillation | 5 bis 10 | |
| | | Vibration | 20 bis 35 | |
| 3 | Verdichtungsplatten | Vibration | 20 bis 25 | z-Richtung dominiert |
| | Hamm 3412 VIO (13to) | Oszillation | 10 bis 15 | |
| | | Vibration | 40 bis 70 | z-Richtung dominiert |
| | Hamm 3307 VIO (7to) | Oszillation | bis 5 | |
| | | Vibration | 20 bis 35 | z-Richtung dominiert |

Aus den Messergebnissen lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- Die Schwinggeschwindigkeiten nehmen mit zunehmendem Dammaufbau ab.
- Die Beanspruchungen sind bei dem 7to-Walzenzug deutlich geringer als bei dem 13to-Walzenzug.
- Beim Einsatz eines 7to-Walzenzuges (Hamm 3307 HT VIO) mit oszillierender Verdichtung sind insgesamt auch geringere Schwinggeschwindigkeiten zu erwarten als beim Einsatz der Anbau-Verdichtungsplatten Typ Stehr SBV 55-H3.
- Eine oszillierende Verdichtung erzeugt insgesamt geringere Schwinggeschwindigkeiten als eine vibrierende Verdichtung.

Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse

Bei der Bewertung der durchgeführten Untersuchungen sind im wesentlichen folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- der Verdichtungserfolg,
- die statische Beanspruchungen des Untergrundes und der Säulen, sowie
- die dynamischen Wirkungen aus der Art der Verdichtung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit der Verdichtung durch angebaute Verdichtungsplatten die besten Verdichtungserfolge erzielt worden sind. Bei der Bewertung der gemessenen E_{vd} -Werte ist jedoch zu berücksichtigen, dass nach einer längeren Liegezeit erfahrungsgemäß deutlich höhere Werte gemessen werden.

Der 13to-Walzenzug hat infolge des hohen Eigengewichtes lokale Brucherscheinungen im Untergrund verursacht. Diese führen zu horizontalen Verformungen des Untergrundes und entsprechenden Beanspruchungen der Säulen.

Eine oszillierende Verdichtung ist insgesamt als schonender einzustufen als eine vibrierende Verdichtung der Schüttlagen. Diese Beobachtungen werden durch Ergebnisse anderer Untersuchungen bestätigt¹

¹ Beilke, O. 2003 Vergleichende Bewertung von auftretenden Schwingungsgrößen beim Verdichten von Asphalt (interner Bericht)