



Ricardo Gubler

Diplomand	Ricardo Gubler
Examinator	Prof. Dr. Rainer Bunge
Experte	François Boone, GEVAG, Untervaz, GR
Themengebiet	Mechanische Verfahrenstechnik

Verdichtung von Schüttgut

Verdichtung von granularem Bentonit durch Schall



Abbildung 1: Versuchstand beim Hauptversuch der Beschallung

Ausgangslage: Zur Verfüllung von horizontalen Stollen ist es wichtig, dass das eingebrachte Schüttgut ideal verdichtet wird, sodass später keine Setzungen mehr eintreten. Erschwerend bei der Verfüllung von horizontalen Stollen ist die beschränkte Zugänglichkeit, wodurch eine Verdichtung mittels schweren Geräts oft nicht möglich ist. Möglichkeiten zur Verdichtung von Schüttgut sind Vibration oder statischer Druck. In dieser Arbeit wurde untersucht, wie solche Vibrationen auf das Schüttgut (Bentonit) übertragen werden können. Auch wurde die Relevanz der Verdichtung durch statische Belastung untersucht.

Vorgehen: Im Rahmen dieser Arbeit wurden experimentelle Studien durchgeführt, in denen granularer Bentonit verdichtet wurde. Das verdichtete Bentonit sollte dabei mindestens eine Trockendichte von $1,45 \text{ g/cm}^3$ aufweisen. Praktische Experimente wurden in folgenden Bereichen durchgeführt:

- schallinduzierte Vibration: Die Eignung von Schall zur berührungslosen Verdichtung von Bentonit wurde mit Hilfe eines Zug-Horns (ZH) bzw. Schiffs-Horns (SH) evaluiert. Dabei wurde das granulare Schüttgut in Versuchsbehältern mit niederfrequentem Schall (110–150 Hz) beschallt,
- mechanische Vibration: Die Eignung von mechanischen Vibrationen zur Verdichtung von Bentonit wurde mit Hilfe einer Rüttelflasche und eines Exzenters untersucht,
- statische Belastung/Stopfen: Die Eignung von statischer Belastung zur Verdichtung von Bentonit wurde mit Hilfe von Gewichten und das Stopfen mit Hilfe einer Förderschnecke (FS) untersucht.

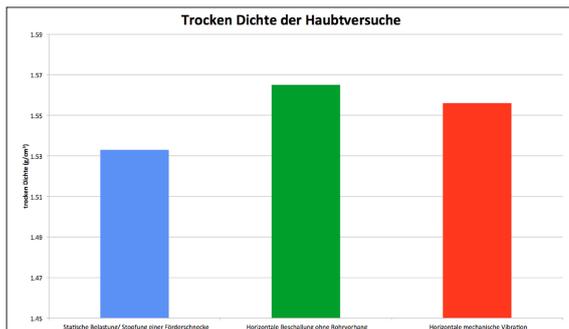


Abbildung 2: Trockendichte der Hauptversuche im direkten Vergleich

Für die drei möglichen Verdichtungsarten wurden Vorversuche mit dem granularen Schüttgut Bentonit durchgeführt. Diese zeigten auf, dass sowohl durch schallinduzierte Vibrationen als auch durch mechanische Vibrationen eine Trockendichte von $> 1,45 \text{ g/cm}^3$ erreicht wurde. Durch statische Belastung konnte die angestrebte Trockendichte mit den durchgeführten Belastungen jedoch nicht erreicht werden. Die Hauptversuche der Verfahren, welche dem direkten Vergleich dienen sollten, wurden im Versuchsstollen Hagerbach VSH durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in der Abbildung 1 dargestellt. Bei den Hauptversuchen wurde der Versuchsstand mit einer Förderschnecke gefüllt und mit dem gegebenen Verdichtungsverfahren verdichtet. Die Förderschnecke stopfte bei der Befüllung mit konstantem Gegendruck. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 2 links im direkten Vergleich aufgeführt. Als letzter Hauptversuch wurde der Böschungswinkel in Abhängigkeit von Beschallungsimpulsen untersucht. Dieser Versuch wurde mit dem Zug-Horn durchgeführt und ergab, dass durch kürzere Beschallungsimpulse, bei gleichbleibender aufsummierter Beschallungszeit, der Böschungswinkel weniger abflachte.

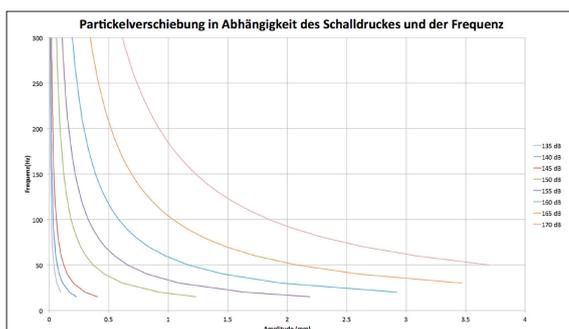


Abbildung 3: Partikelverschiebung in Abhängigkeit des Schalldruckes und der Frequenz

Fazit: Anhand der Versuche wurden Berechnungen für den Einsatz der Verfahren in der Praxis angestellt. Diese ergaben, dass rund 24% der maximalen Verdichtung durch die Stopfung mit der Förderschnecke erreicht werden. Es wäre somit reichlich Optimierungspotential vorhanden. Der Einsatz von Rüttelflaschen könnte Abhilfe verschaffen. Diese wirken jedoch nur in einem Radius von etwa einem halben Meter. Im Gegensatz dazu kann Schall durch Reflexionen an den Wänden oder durch die Ausrichtung der Schallquelle eine wesentlich homogenere Verdichtung bewirken. Die Variante schallinduzierte Vibration erwies sich als die Variante mit dem höchsten Potential. Meine Berechnungen zeigten, dass bei tieferen Frequenzen und höherem Schalldruck als im Versuchsaufbau eine höhere Verdichtungsleistung erzielt würde. Die Verdichtungsleistung ist abhängig von der Partikelverschiebung und in der Abbildung 3 links dargestellt. Ich empfehle, weitere Versuche mit anderen Schallquellen durchzuführen.