

Flächendeckende Verdichtungskontrolle (FDVK) mit Oszillationswalzen im Erdbau

Dr.-Ing. Axel Römer und Dipl.-Ing. (FH) Werner Völkel, Tirschenreuth
Dipl.-Ing. Johannes Pistor, BSc und Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-techn. Dietmar Adam, Wien

Zahlreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten auf dem Sektor der Vibrationsverdichtung haben in den letzten zwei Jahrzehnten zu deutlichen Verbesserungen der Maschinenteknik und zur Entwicklung von Systemen zur walzen- und arbeitsintegrierten Flächendeckenden Dynamischen Verdichtungskontrolle (FDVK) für Vibrationswalzen geführt. Die Firma Hamm AG entwickelte, aufbauend auf den Erkenntnissen eines gemeinsamen Forschungsprojektes mit der TU Wien, das erste funktionierende FDVK-System für Oszillationswalzen im Erdbau, welches in diesem Beitrag vorgestellt wird.

Walzenverdichtung und FDVK im Erdbau

Bei der Errichtung zahlreicher Bauwerke des konstruktiven Ingenieurbaus spielt die oberflächennahe Verdichtung des Erdbaus eine ganz entscheidende Rolle. Dazu zählen Infrastrukturbauten, wie Straßen, Flugpisten und Bahntrassen ebenso wie Deiche und Stützbauwerke. Zum Einsatz kommen dabei überwiegend dynamische Walzen, bei denen die Bandage, der eigentliche Walzkörper, in Schwingungen versetzt wird, was eine kurzfristige Herabsetzung der Korn-zu-Kornspannungen bewirkt und die Umlagerung der Gesteinskörner in eine dichtere Lagerung begünstigt.

Für die Anregung der Bandage einer dynamischen Walze gibt es verschiedene Möglichkeiten, die sich nicht nur hinsichtlich der Konstruktion sondern auch hinsichtlich des Arbeitsprinzips und der Wirkung der Walze auf den Boden deutlich unterscheiden können. Die weiteste Verbreitung haben im Erdbau Vibrationswalzen erreicht, bei denen eine um die Achse der Bandage rotierende Unwucht eine kreisförmig translatorische Schwingung erzeugt, die in einer vorwiegend vertikal gerichteten Belastung des zu verdichtenden Bodens resultiert. Der vergleichsweise großen Tiefenwirkung steht eine ausgeprägte Erschütterungswirkung gegenüber [1].

Eine alternative Art der dynamischen Anregung ist das Prinzip der Oszillation. Im Falle einer Oszillationsbandage rotieren zwei zur Bandagenachse punktsymmetrische, gegenüberliegende Unwuchtmassen gleicher Größe und Exzentrizität synchron und zwingen der Bandage eine rotatorische Schwingung und damit eine rasch wechselnde Vorwärts-Rückwärtsrotation auf, die der Fahrbewegung überlagert ist. Durch die Reibung zwischen dem Walzmantel der Bandage und der Oberfläche des zu verdichtenden Materials werden vorwiegend Schubkräfte in den Untergrund übertragen und dieser wird folglich durch Schubverzerrungen verdichtet. Mit Oszillationswalzen können nicht nur sehr gleichmäßige Oberflächen hergestellt werden, auch die Erschütterungswirkung auf umliegende Bereiche der Bautätigkeit wird signifikant reduziert [1].

Neben reinen Vibrations- und Oszillationswalzen wurden durch die Firma Hamm AG auch sog. VIO-Bandagen entwickelt, die in der Lage sind, den Boden sowohl vibratorisch als auch oszillatorisch zu verdichten.

Aus der gesteigerten Effizienz der Verdichtungsarbeiten durch dynamische Walzen resultiert auch eine gehobene Anforderung an das Qualitätsmanagement und damit an die Verdichtungskontrolle. Konventionelle punktuelle Prüfmethode, die zudem den Bauablauf unterbrechen, sind

nicht mehr in der Lage, den Bedürfnissen einer modernen Baustelle gerecht zu werden. Im Laufe der vergangenen Jahrzehnte wurden deshalb für Vibrationswalzen Systeme zur Flächendeckenden Dynamischen Verdichtungskontrolle (FDVK) entwickelt. Bei der FDVK handelt es sich um ein System, das es ermöglicht, den Verdichtungszustand walzen- und arbeitsintegriert zu erfassen. Die dynamische Walze dient somit nicht nur als Verdichtungsgerät sondern gleichzeitig auch als Messwerkzeug.

Das Grundprinzip der FDVK ist es, unter der Voraussetzung konstanter Parameter des Verdichtungsprozesses, vom Schwingungsverhalten der Bandage auf den Verdichtungszustand des Bodens zu schließen. In Kombination mit modernen Positionierungssystemen (GPS) ist somit eine lückenlose und manipulationssichere Dokumentation des Verdichtungserfolges möglich.

Während zahlreiche Forschungsarbeiten zu derartigen Entwicklungen auf dem Sektor der Vibrationswalzen geführt haben, existierte bis vor Kurzem kein funktionierendes FDVK-System für Oszillationswalzen. Aus diesem Grund lancierte Hamm im Jahr 2011 ein gemeinsames Forschungsprojekt mit dem Institut für Geotechnik der TU Wien, mit dem Ziel, die Anwendung von Oszillationswalzen zu optimieren und ein FDVK-System für Oszillationswalzen im Erdbau zu entwickeln.

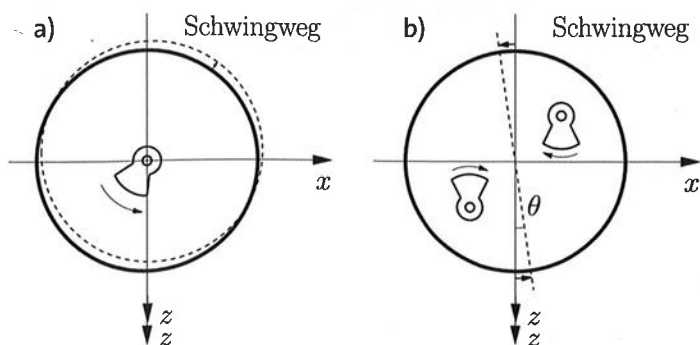


Abb. 1:
Anregung einer
Vibrationsbandage a)
und einer
Oszillationsbandage b) [2]

STRASSENFERTIGER

**FÜR DIE
NIVELLIERAUTOMATIK
Komplettes Abspannzubehör**

**Schroer & Gutmann
Tel 07745 444 / Fax 07745 5379
D 79798 Jestetten Weinbergstr.4**

www.strassenfertiger.de

Forschungsprojekt „Verdichtung mit Oszillation im Erdbau“

Im Zuge des Forschungsprojektes wurden experimentelle Untersuchungen durchgeführt. Dafür wurde in einer Kiesgrube nahe dem Flughafen Wien Schwechat ein Testfeld eingerichtet, bei dem lagenweise aufgebracht Schüttmaterial (sandiger Kies) in parallelen Walzenspuren verdichtet wurde. Unterhalb einer Walzenspur wurden zwei Schwachstellen eingebaut, um gezielt den Einfluss von Inhomogenitäten im Untergrund auf das Bewegungsverhalten der Walze zu untersuchen. Als Verdichtungsgerät wurde eine HD+ 90 VO Tandemwalze, mit einer Vibrationsbandage an der Front und einer Oszillationsbandage am Heck, eingesetzt. Sowohl die Walze selbst als auch der Boden wurden messtechnisch instrumentiert, um die Wirkung der dynamischen Walze auf den Boden und auch das Bewegungsverhalten der beiden Bandagen erfassen zu können.

Im Zuge der Messungen hat sich gezeigt, dass es im ungedämpften mitschwingenden Teil der Oszillationsbandage zu einer charakteristischen Ausbildung des Verlaufes von Vertikal- und Horizontalbeschleunigungen kommt, deren Größe eindeutig und reproduzierbar vom Verdichtungszustand des Bodens abhängt. Auf Grundlage dieser Erkenntnis wurde ein Algorithmus zur Beschreibung der integralen Betrachtung von Vertikal- und Horizontalbeschleunigungen im Lager der Oszillationsbandage entwickelt und als FDVK-Wert für Oszillationswalzen definiert [3].

Die Analyse der Beschleunigungssignale erfolgt dabei partiell im Zeitbereich. Das bedeutet, dass die kontinuierlich aufgezeichneten Beschleunigungssignale einer festgelegten Dauer, beispielsweise einer Sekunde, analysiert werden und für diesen Bereich ein FDVK-Wert berechnet wird. Die theoretisch minimale Größe des analysierten Zeitfensters entspricht der Periodendauer der Anregung.



Abb. 2: Fotografie des Testfeldes und der Messwalze der experimentellen Untersuchungen

Praktische Anwendung der FDVK für Oszillationswalzen

Zunächst wurde der entwickelte FDVK-Wert in einer nachlaufenden Berechnung auf die Messdaten der HD+ 90 VO Tandemwalze angewendet. Dazu wurden die aufgezeichneten Vertikal- und Horizontalbeschleunigungen abschnittsweise analysiert und für jeweils 1,024 s wurde ein FDVK-Wert berechnet.

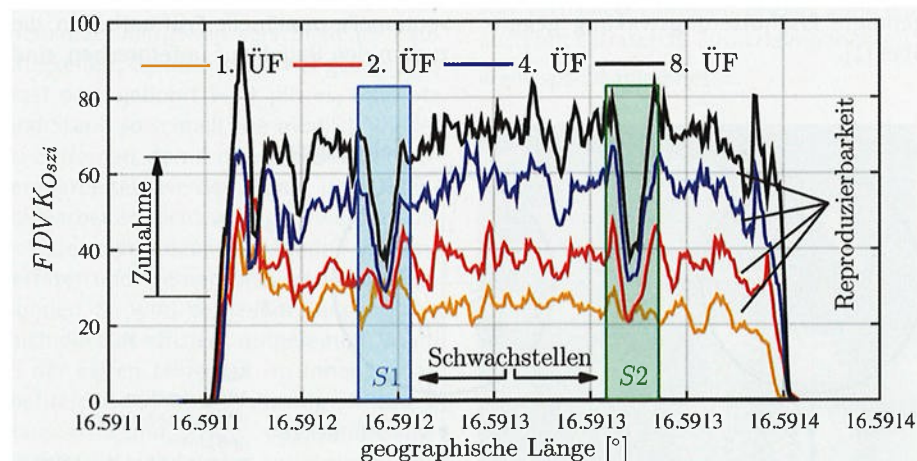
In Abbildung 3 sind die auf Basis der Messungen in der Bandagenachse berechneten FDVK-Werte für die Überfahrten 1, 2, 4 und 8 auf dem Testfeld dargestellt. Der Bezug erfolgt auf die geographische Länge aus dem GPS-Signal der Walze, um eine verlässliche Positionierung und Vergleichbarkeit der einzelnen FDVK-Verläufe zu gewährleisten. Abbildung 3 zeigt die eindeutige Reproduzierbarkeit der einzelnen Verläufe des FDVK-Wertes und die Zunahme des Wertenniveaus mit steigender Anzahl der Überfahrten und der damit einhergehenden Verdichtung. Die beiden Schwachstellen S1 (ca. 55 cm Überdeckung) und S2 (ca. 15 cm Überdeckung)

zur Simulation von schlechten Untergrundverhältnissen sind in den Verläufen klar erkennbar, bei denen erwartungsgemäß die Zunahme der FDVK-Werte deutlich weniger ausgeprägt bzw. nahezu nicht vorhanden ist.

Bei FDVK-Werten handelt es sich stets um Relativwerte zur Beurteilung der Bodensteifigkeit und nicht um physikalische Bodenkenngrößen. Aus diesem Grund ist im baupraktischen Kontext für ein funktionierendes FDVK-System die Vergleichbarkeit mit herkömmlichen Methoden der Verdichtungsprüfung von entscheidender Bedeutung. In Normen und Richtlinien sowie Bauverträgen sind stets konventionelle Bodenkennwerte, wie beispielsweise der statische oder dynamische Verformungsmodul, festgelegt, anhand derer auch eine Kalibrierung der FDVK-Systeme erfolgt.

In Abbildung 4 werden deshalb die mittleren FDVK-Werte der Oszillationswalze im homogenen Bereich des Testfeldes den dynamischen Verformungsmodul E_{vd} aus dynamischen Plattendruckversuchen mit dem Leichten Fallgewichtsgerät gegenübergestellt. Die Darstellung der beiden

Abb. 3: Verläufe des FDVK-Wertes für Oszillationswalzen für die Überfahrten 1, 2, 4 und 8 auf dem Testfeld [3]



building-construction-machinery.net

construction industry information

made in Germany



Verdichtungskennwerte erfolgt normiert – durch Division der Einzelwerte durch den Mittelwert – da sie sich nicht nur hinsichtlich der Einheiten, sondern auch hinsichtlich des Wertenniveaus unterscheiden. Die beinahe identischen Verläufe des FDVK-Wertes und des dynamischen Verformungsmoduls E_{vd} mit zunehmender Anzahl der Überfahrten verdeutlichen die sehr gute Übereinstimmung der beiden Verfahren der Verdichtungsprüfung.

Aus Abbildung 4 kann auch abgelesen werden, dass die mit dem gewählten Verdichtungsgerät maximal mögliche Verdichtung nach etwa elf Überfahrten erreicht wurde. Die gute Übereinstimmung der Resultate der beiden Verdichtungsprüfungen ist auch auf die experimentell festgestellte vergleichbare Messtiefe der beiden Systeme zurückzuführen. Darin besteht ein wesentlicher Vorteil gegenüber FDVK-Systemen für Vibrationswalzen, deren Messtiefe ein Vielfaches der Messtiefe des dynamischen Plattendruckversuches betragen kann, wodurch nicht mehr zwischen Schwachstellen in der verdichteten Schicht und Schwachstellen, die aus dem Untergrund herrühren, unterschieden werden kann.

Auf Grundlage der experimentellen Untersuchungen und der Forschungen der TU Wien entwickelte die Firma Hamm AG ein Messsystem für Oszillationswalzen zur Echtzeitermittlung des FDVK-Wertes für Oszillation. Ein 7-t-Walzenzug (H7i VIO), ein 13-t-Walzenzug (H13i VIO) und eine schwere Tandemwalze (HD+ 140i VO) wurden zur Verifizierung der FDVK für Oszillationswalzen mit dem neuen Messsystem ausgestattet (Abb. 5 und Abb. 6).

In Abbildung 7 werden die FDVK-Verläufe der drei Testwalzen von aufeinanderfolgenden Messfahrten gezeigt. Die Darstel-

Abb. 5: Die drei Testwalzen zur Erprobung des FDVK-Systems für Oszillationswalzen



Abb. 6: Erprobung des FDVK-Systems für Oszillationswalzen unter Baustellenbedingungen mit einem HAMM H7i VIO Walzenzug



lung erfolgt abermals normiert, da sich das Wertenniveau aufgrund der verschiedenen Massenverhältnisse der Walzen unterscheidet. Abbildung 7 zeigt deutlich, dass der Verdichtungsstatus des Bodens durch alle drei Walzentypen reproduzierbar erfasst werden kann.

Durch die Installation des FDVK-Messsystems für Oszillation auf Walzenzügen mit VIO-Bandagen, die sowohl vibratorisch als auch oszillatorisch angeregt werden können, sind erstmals FDVK-Messungen mit beiden Anregungsarten möglich.

Nach der erfolgreichen Validierung des FDVK-Systems für Oszillationswalzen steht die Erprobung des Systems auf Baustellen im Vordergrund zukünftiger Untersuchungen. Darüber hinaus wird die Aufnahme der FDVK mit Oszillationswalzen in nationale und internationale Normen und Richtlinien angestrebt.

Literaturhinweise

- [1] Pistol, J.; Kopf, F.; Adam, D.; Villwock, S.; Völkel, W.: Ambient vibration of oscillating and vibrating rollers. In: Proceedings of the Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2013 (VEESD 2013). Hrsg. von Adam, D.; Heuer, R.; Lenhardt, W.; Schranz, C.; 2013, Paper No. 167
- [2] Adam, D.: Flächendeckende Dynamische Verdichtungskontrolle (FDVK) mit Vibrationswalzen. Dissertation, Technische Universität Wien, 1996
- [3] Pistol, J.: Verdichtung mit Oszillationswalzen. Dissertation, Technische Universität Wien, 2016

Autoren:

Dr.-Ing. Axel Römer und
Dipl.-Ing. (FH) Werner Völkel,
Hamm AG

Dipl.-Ing. Johannes Pistol, BSc und
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Techn. Dietmar Adam,
Technische Universität Wien

Abb. 4: Mittlere FDVK-Werte (Oszillationswalze) auf dem Testfeld im Vergleich mit dem dynamischen Verformungsmodul E_{vd} (Leichtes Fallgewichtgerät); normierte Darstellung [3]

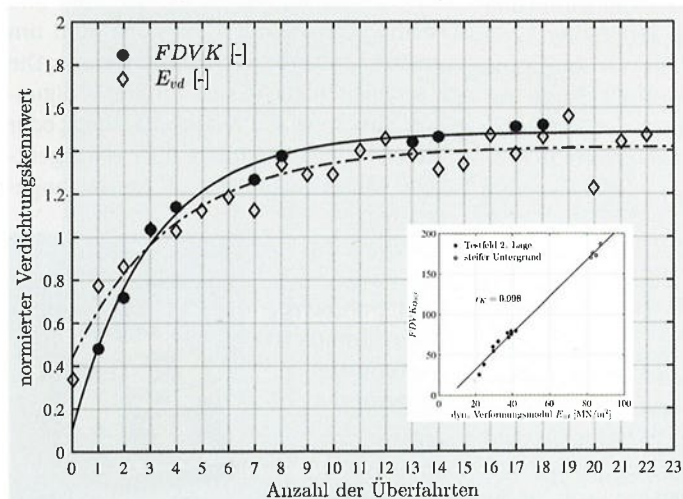


Abb. 7: Vergleich der normierten FDVK-Verläufe der drei Testwalzen mit Oszillationsanregung (HAMM 7i VIO, HAMM H13i VIO und HAMM HD+ 140i VO) [3]

