

Kombination bildbasierter Algorithmen und klassischer Sensorik zur Analyse der Wirkungsweise innovativer Bodenverdichtungstechnologien

Alexander Knut, Holger Pankrath, Marco Barthel, Ralf Thiele
Hochschule für Technik Wirtschaft und Kultur Leipzig, Fakultät
Bauwesen, Institut für Grundbau und Verkehrsbau

Kurzfassung

Eine effektive Bodenverdichtung und Weiterverwendung des vorhandenen Baugrundes hat in Zeiten knapper werdender Ressourcen eine enorme ökonomische und ökologische Bedeutung. Zur Verbesserung und Neuentwicklung innovativer Bodenverdichtungstechnologien wurde in einem mehrjährigen Forschungsprojekt ein hochwertiger Versuchstand für skalierte Modelle verschiedener Verdichter entwickelt. In diesem wird das Bodenverhalten optisch, mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera erfasst. Die Kalibrierung der Bilddaten erfolgt auf Basis der nvision Bibliothek. Dadurch gelingt es, die Daten schnell und einfach für die folgende Auswertung mit Hilfe der PIV-Methode aufzubereiten.

Abstract

The development of an effective tool for ground improvement is a recent research field, national and international. Especially in times of ever growing shortage of resources. Since 2012 a group of civil and mechanical engineers work on this topic. Within this project we developed an experimental setup to investigate the behavior of soil under transient loading. Therefore we use a high speed camera to observe the soil. We accomplish the necessary nonlinear calibration with LabVIEW. Thus we process the image data quickly for the post-processing with the PIV-Method.

Bodenverdichtung: aktueller Forschungsbedarf

Für nahezu jede Gründung eines Ingenieurgebäudes bedarf es einer adäquaten Maßnahme zur Bodenverbesserung. Ein ökologisches, weil ohne den Austausch des Bodenmaterials bzw. der Einbringung eines Zusatzmaterials auskommende Methode ist dabei die Bodenverdichtung. Bei der Bodenverdichtung wird die Steifigkeit sowie die innere Reibung des Bodenmaterials durch aufbringen äußerer Energie erhöht.

Maschinendynamisch betrachtet erfolgt dieser Energieeintrag entweder durch eine harmonische Schwingung [1] mit Hilfe von z.B. Walzenzügen oder transient, wie bei der dynamischen Intensivverdichtung, bzw. der Impulsverdichtung. Hinsichtlich der erreichbaren Verdichtungstiefe ist bekannt, dass harmonisch angeregte Systeme maximal 3 m verdichten [2]. Transiente Systeme, wie z.B. der Impulsverdichter, erreichen Wirktiefen von ca. 7 m [3]. Bedingt durch die kontinuierliche Arbeitsweise erreichen Walzenzüge einen hohen Flächenertrag (überfahrene Oberfläche pro Zeit), wohingegen die transient arbeitenden Systeme durch ihr, in Rastern arbeitendes Verfahren nur geringe Flächenerträge generieren. Die Diskrepanz zwischen dem hohen Flächenertrag dynamisch angeregter Walzen und der hohen Wirktiefe transient arbeitender Systeme ist der Forschungsansatz des vom BMBF geförderten Projekts ECOcompact (FKZ. 03FH02712). Das Projekt verfolgt das Ziel einen Technologievorschlag zur effektiven Bodenverdichtung des mitteltiefen Bereichs um 5 m zu erarbeiten [4].

Unter anderem wurde dazu ein Versuchsstand entwickelt, mit dem es möglich ist, eine ungestörte Bodenprobe während der Verdichtung zu analysieren.

Versuchsaufbau für kleinskalige Verdichtungsversuche

Mit dem entwickelten Versuchsaufbau (Bild 1) werden bodenmechanische Effekte während der Verdichtung optisch erfasst und im Post-Processing unter Anwendung der PIV-Methode quantifiziert. PIV steht für Particle Image Velocimetry. Dieses, aus der Fluidmechanik stammende Verfahren, quantifiziert die Verschiebung diskreter Bildbereiche durch einen paarweisen Vergleich dieser. Es wurde gezeigt, dass dieses berührungslose und somit störungsfreie Messprinzip auch für die Beantwortung geotechnischer Fragestellungen genutzt werden kann [5].

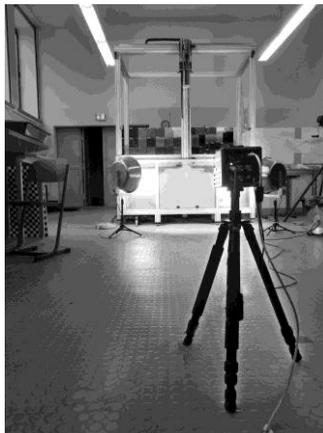


Bild 1: Versuchsaufbau mit Hochgeschwindigkeitskamera im Vordergrund und Probenträger im Versuchsstand im Hintergrund

Im speziellen untersuchen wir die geotechnischen Effekte während impulsartiger Verdichtungsvorgänge. Wir sind in der Lage Fallmaßen mit unterschiedlichem Durchmesser aus maximal 1,2 m auf eine Bodenprobe fallen zu lassen. Die Bodenprobe von etwa 300 kg wird dazu mit einem speziellen Verfahren, definiert und reproduzierbar eingebaut [6, 7], so dass die Ausgangsdichte homogen und bekannt ist. Zur Erfassung der Bilder während der Verdichtung nutzen wir eine Hochgeschwindigkeitskamera (IDT Motion Scope X3) und zeichnen mit 1000 fps (Frames pro Sekunde) den Vorgang, der nach ca. 100 ms abgeschlossen ist, auf. Synchron dazu erfassen wir durch Beschleunigungssensoren das Geräteverhalten am jeweiligen Verdichtungswerkzeug. Um die Datenerfassung in einer Anwendung zu gewährleisten, wurde ein LabVIEW VI (Virtual Instrument) erstellt. Neben der reinen Erfassung, Visualisierung und Sicherung der Daten, bereitet das von uns entwickelte Programm die Bild- und Sensordaten für eine optimale und schnelle Auswertung auf.

Beschreibung der Datenerfassungsplattform

Grundaufbau und verwendete Technik

Das Frontpanel des erstellten VI's ist in Bild 2 dargestellt. Es erlaubt die Steuerung der Kamera sowie die Spezifikation der Abtastrate der Beschleunigungssensoren. Wir verwenden zwei 50g-Sensoren mit analogem Spannungs-Ausgangssignal. Die Datenerfassung wird durch ein NI USB-6211 realisiert. Nach erfolgreicher Messung werden die Sensordaten im *.tdms Format abgelegt.

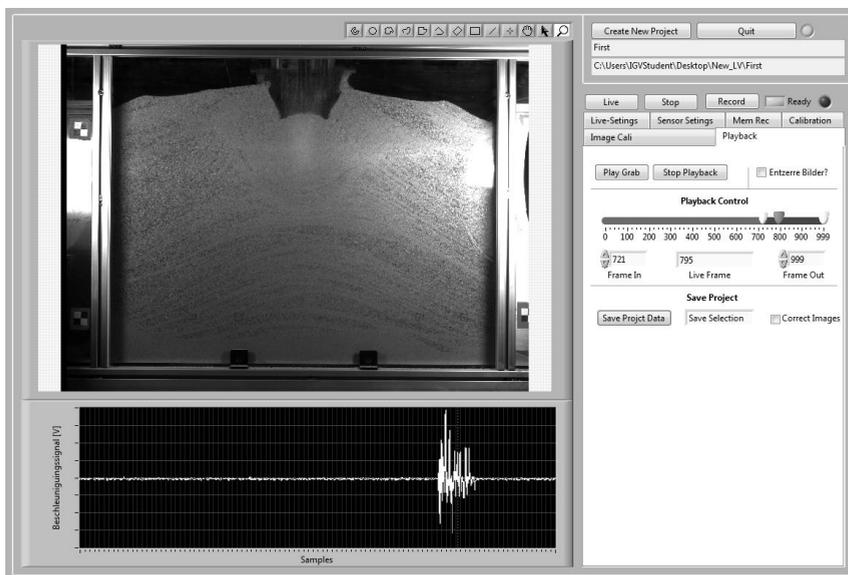


Bild 2: Frontpanel des entwickelten VI

Die Bilder werden in kalibrierter Form im Projektordner abgelegt. Eine direkte Weiterverarbeitung des Datenmaterials ist somit möglich. Das VI basiert auf dem Entwurfsmuster des Zustandsautomaten [8]. Die Flexibilität dieses Entwurfsmusters, hinsichtlich etwaiger Anpassungen der geforderten Spezifikation während der Programmierung, verkürzt den Entwicklungsprozess deutlich. Durch das Ablegen der definierten Zustände in einer Typdefinition ist eine Erweiterung des Automaten sehr einfach.

Bildkalibrierung

Da wir ein Ein-Kamera-System verwenden, sind die Anforderungen insbesondere an die Kalibrierung der Bilddaten sehr hoch. Neben der Entzeichnung des Kamera-Objektiv-Systems ist eine Entzerrung zur Wahrung der 2D-Konvention von besonderer Bedeutung. Die einfache Bildkalibrierung unter Verwendung des NI Vision Development Module ermöglicht uns die Bereitstellung aufbereiteter Bilddaten für die Weiterverarbeitung mit der PIV-Methode. Im speziellen wird die LV_LearnCalibrationTemplate Funktion der nivision Bibliothek genutzt. Das nichtlineare Verzeichnungsmodell korrigiert dabei nicht nur die perspektivische Verzerrung, sondern auch die Verzeichnung des Kamera-Objektiv-Systems im Bereich des bekannten Musters. Bild 3 verdeutlicht dies exemplarisch. Sind die Kalibrierinformationen erfasst, können Sie genutzt werden, um einen Stapel nicht kalibrierter Bilder in kurzer Zeit aufzubereiten. Durch den Einsatz dieser Bibliothek speichert unsere Anwendung die kalibrierten Bilder direkt, was eine Nachbearbeitung auf einer anderen Plattform überflüssig macht. Der Zeitaufwand und die Fehleranfälligkeit in der Datenerfassung sind dadurch stark reduziert.

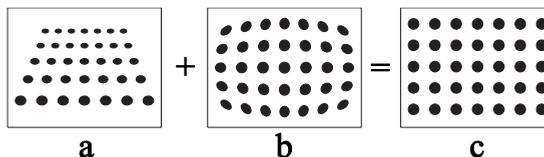


Bild 3: Exemplarische Darstellung von Bildfehlern [Verzerrung(a) und Verzeichnung(b)] und deren Korrektur durch die verwendete nivision-Bibliothek (c). Bildmaterial aus [9]

Zusammenfassung

Der Einsatz von LabVIEW sowie der nivision Bibliotheken hat uns die schnelle Entwicklung einer Datenerfassungsplattform ermöglicht. Mit dieser sind wir in der Lage die Datengrundlage zur Untersuchung von bodenmechanischen Effekten während der Verdichtung zu schaffen. Speziell der Einsatz des Entwurfsmusters des Zustandsautomaten hat sich bei der Entwicklung des VIs bewährt. Durch die Ablage der Zustände in einer Typdefinition ist eine einfache Erweiterung des bestehenden Programms gewährleistet. Der Einsatz der nivision-Bibliothek ermöglicht

die Bereitstellung korrekt aufbereiteter Bilddaten zur 2D-Auswertung mit Hilfe der PIV-Methode.

Literatur

- [1] Floss, R.: Verdichtungstechnik im Erdbau und Verkehrswegebau. BAND 1, Grundprinzipien der Vibrationsverdichtung; Verdichtung von Boden und Felsgestein; Verdichtung von Asphaltsschichten, 2. Auflage 2010 2001.
- [2] Pankrath, H.; Bracciale, M.; Barthel, M.; Knut, A.; Thiele, R.: *Nachsimulation dynamischer Bodenverdichter und Ansätze zur klein- und großskaligen Validierung*, Deutsche SIMULA Konferenz 2014. Dresden 2014.
- [3] Adam, C.; Adam, D.; Falkner, F.-J.; Paulmichl, I.; Fürpass, J.: *Der Impulsverdichter zur mitteltiefen Verdichtung und Verbesserung von Böden*. In: Adam; Herrmann (Hrsg.): Baugrundverbesserung in der Geotechnik 2011.
- [4] Pankrath, H.; Barthel, M.; Knut, A.; Thiele, R.: *Tragfähige Idee gesucht – numerische Simulationen von Bodenverdichtung als Entwicklungsbaustein innovativer Geräteansätze*. Paper No. 099. In: Brandl, H.; Adam, D. (Hrsg.): XV Danube - European Conference on Geotechnical Engineering (DECGE 2014), Wien 2014.
- [5] White, D. J.; Take, W. A.; Bolton, M. D.: *Soil deformation measurement using particle image velocimetry (PIV) and photogrammetry*. In: Géotechnique 53 (2003) No. 7, S. 619–31.
- [6] Rad NS, T. M. T.: *Factors Affecting Sand Specimen Preparation by Raining*. In: Geotechnical Testing Journal 3 (1987) 1, S. 31–37.
- [7] Schleier, A.: *Untersuchung an kleinskaligen Modellen zur dynamischen Bodenverdichtung*, Masterarbeit. Leipzig 2014.
- [8] National Instruments: *LabVIEW - Grundlagen 2*. Kurshandbuch 2012.
- [9] National Instruments: *IMAQ Vision for LabVIEW User Manual*. Part Number 371007A-01 2014.