

Gleisgebundene Verdichtung der Tragschicht

Weiterentwicklung des Plattenverdichters

OLJA BARBIR | JULIAN SIGMUND

Plattenverdichter spielen eine zentrale Rolle bei der Verdichtung der Tragschicht beim Einsatz von Planumsverbesserungsmaschinen. Bei Maschinen wie der AHM 800 R von Plasser&Theurer (P&T) sorgen mehrere Verdichter für gleichmäßige und ausreichende Verdichtung. Der in Österreich verbreitete Wimmer WBB530 (Abb. 1) verdichtet Tragschichten bis 50 cm Dicke. Dieser Fachbeitrag untersucht das Bewegungsverhalten des Verdichters anhand von Feldversuchen und eines mechanischen Modells. Der Vergleich mit Messdaten bestätigt die zuverlässige Abbildung bestimmter Prozessparameter. Abschließend wird die weiterentwickelte, funktional verbesserte Konstruktion vorgestellt.

Einleitung

Die Qualität der Tragschicht hat den größten Einfluss auf die Lebensdauer der Gleisanlage sowie auf den Instandhaltungsaufwand. Sie verteilt die durch den Zugverkehr entstehenden Lasten über Schienen, Schwellen und Schotter auf eine größere Fläche – idealerweise auf einen gleichmäßig verdichteten Untergrund. Somit trägt sie wesentlich zur Verringerung von Setzungen und zur Minimierung von Abweichungen der Gleisgeometrie bei [1, 2].

Eine effiziente Methode des gleisgebundenen Einbaus von Tragschichten ist der Einsatz von Planumsverbesserungsmaschinen der PM-, AHM- und RPM-Serie von P&T. Diese Maschinen heben den Gleisrost an, entfernen das Schotter- und Tragschichtmaterial und ersetzen es durch neue, sorgfältig aufgebraute Schichten, was die Effizienz des gesamten Erneuerungsprozesses erheblich steigert [3]. Die AHM 800 R ist beispielsweise mit zwei Aushubketten ausgestattet, die das alte Material abtragen. Dieses wird recycelt und teilweise als Tragschichtmaterial wiederverwendet, während der Rest durch zertifiziertes Neumaterial ergänzt wird. Abhängig vom E_{vd} -Wert (dynamisches Verformungsmodul, ermittelt aus dem dynamischen Lastplattenversuch) des Untergrunds wird nach dem Aushub ggf. ein Geotextil gelegt, um Durchmischung von Untergrund und Tragschicht zu verhindern. Das neue Trag-



Abb. 1: Wimmer WBB530 Plattenverdichter

Quelle: [4]

schichtmaterial wird mit einer Schichtdicke von etwa 50 cm eingebaut, die sich nach der Verdichtung auf etwa 40 cm reduziert. Sechs Wimmer WBB530 Plattenverdichter arbeiten parallel unter dem angehobenen Gleisrost, teilweise an der Grenze ihrer technischen Möglichkeiten.

Um diese Herausforderungen zu meistern, starteten P&T und die TU Wien ein Forschungsprojekt zur Analyse des Bewegungsverhaltens der Wimmer WBB530 Plattenverdichter und zur Verbesserung der

Verdichtungsqualität. Dabei wurden umfangreiche Feldversuche durchgeführt und wurde ein vereinfachtes mechanisches Modell entwickelt, um die Interaktion zwischen Verdichter und Boden zu analysieren.

Die gewonnenen Ergebnisse ermöglichten einen Vergleich beider Ansätze. Auf Grundlage der Erkenntnisse aus diesem Projekt wurde der neue Prototyp eines Plattenverdichters entwickelt, dessen innovative Konstruktion eine effizientere Verdichtung der Tragschicht gewährleistet [1].



Abb. 2: Plattenverdichter während der Feldversuche in einer Kiesgrube bei Wien

Quelle: [4, 5]

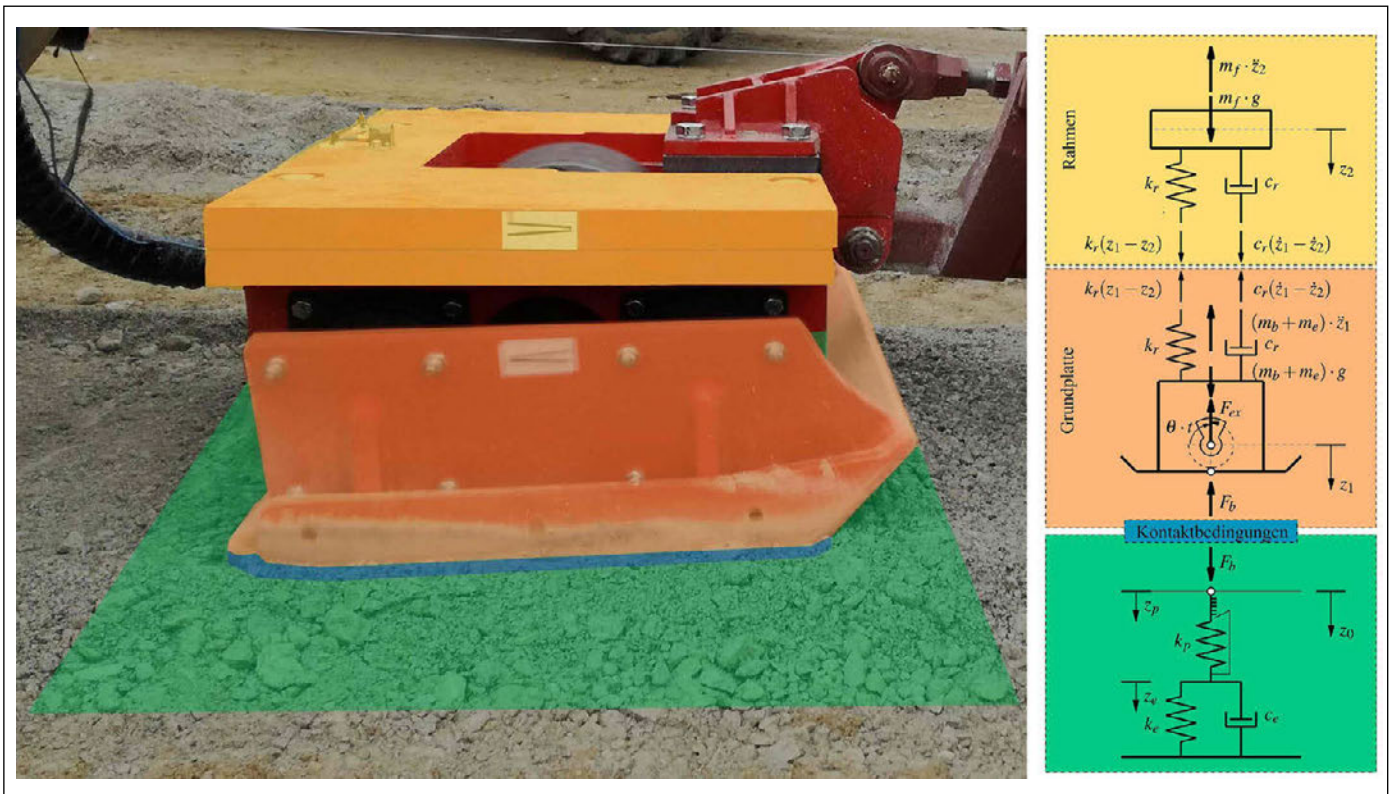


Abb. 3: Plattenverdichter (links) und dessen mechanisches Modell (rechts), unterteilt in Komponenten: grün – Tragschicht, orange – Verdichter, gelb – Rahmen des Verdichters, blau – Kontaktbedingungen Quelle: [4, 6, 7]

In-situ-Versuche

Das Ziel der im Zuge des Forschungsprojekts durchgeführten Feldversuche war die Überwachung und Analyse des Bewegungsverhaltens des Verdichters, der mit einer speziellen Halterung an einem Bagger montiert war (Abb. 2). Dieser wurde entlang der Teststrecken gezogen, um eine langsame und gleichmäßige Bewegung zu gewährleisten, die der Arbeitsgeschwindigkeit der AHM von etwa 70 m/h entspricht. Das für die Teststrecken verwendete Tragschichtmaterial stammte aus zertifizierten Kiesgruben in Österreich. Die Schichtdicke betrug etwa 40 cm, vergleichbar mit der Schichtdicke der Tragschicht einer Eisenbahnstrecke in Österreich. Der Plattenverdichter war mit einem Messsystem ausgestattet, bestehend aus mehreren Beschleunigungs- und Näherungssensoren. Vier 3D-Beschleunigungssensoren waren um die Erregereinheit und ein weiterer am Rahmen des Plattenverdichters angebracht. Zusätzlich erfassten induktive Näherungssensoren die Position der Unwucht. Der Hydraulikzylinder war mit einer Kraftmessdose ausgestattet, um die vertikale Belastung zu erfassen. Das Versuchsprogramm umfasste Referenzmessungen und mehrere Versuchsdurchläufe mit unterschiedlichen Prozessparametern wie vertikaler Last, Erregerfrequenz und Rotationsrichtung [5]. Die Ergebnisse dieser Versuche wurden den Ergebnissen der mechanischen Modellierung gegenübergestellt und nachfolgend in dieser Arbeit erläutert. [1].

Modell zur Wechselwirkung zwischen Plattenverdichter und Boden

In der zweiten Phase dieses Projekts wurde ein mechanisches Modell entwickelt, das die Interaktion zwischen Plattenverdichter und Tragschicht simuliert. Die ersten Ergebnisse zeigen, dass das Modell das Kontaktverhalten zwischen beiden Systemen ausreichend abbilden kann und in der Lage ist, die drei Phasen des Arbeitsvorgangs – Belasten, Entlasten und Abheben – realitätsnah zu simulieren. Eine der wichtigsten Vereinfachungen des Modells besteht darin, dass nur vertikale Bewegungsgrößen (Beschleunigung, Geschwindigkeit und Verschiebung) berücksichtig

werden, da der Plattenverdichter überwiegend in vertikaler Richtung arbeitet und die Verdichtung der Tragschicht hauptsächlich vertikal erfolgt. Abb. 3 zeigt ein Schema des mechanischen Modells, das aus zwei Teilsystemen besteht – der Tragschicht und dem Plattenverdichter, die über Kontaktbedingungen verbunden sind. Der Plattenverdichter lässt sich weiter in Rahmen und Grundplatte unterteilen (Abb. 3), die durch Gummipuffer zur Schwingungsentkopplung miteinander verbunden sind. Im Modell sind diese als Kelvin-Voigt-Element abgebildet (Abb. 3, rechts). Durch diese Unterteilung lassen sich die Bewegungs-

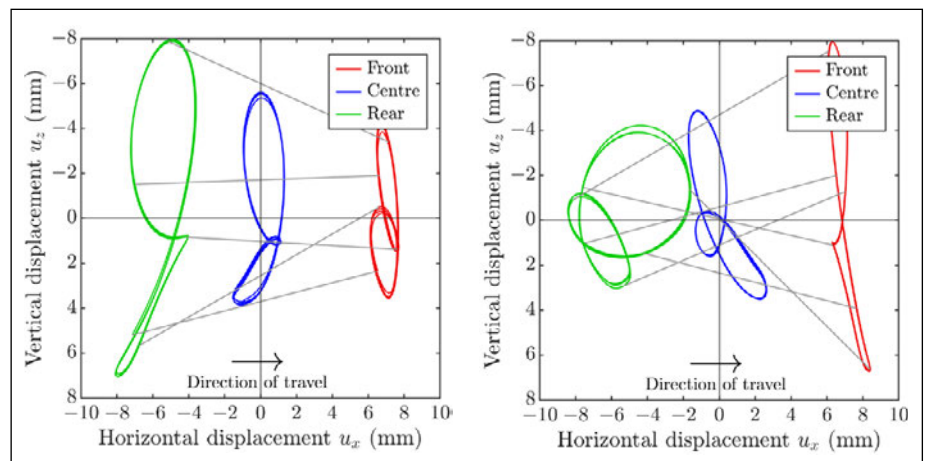


Abb. 4: Darstellung der orbitalen Verschiebung für zwei Messausschnitte Quelle: [1]

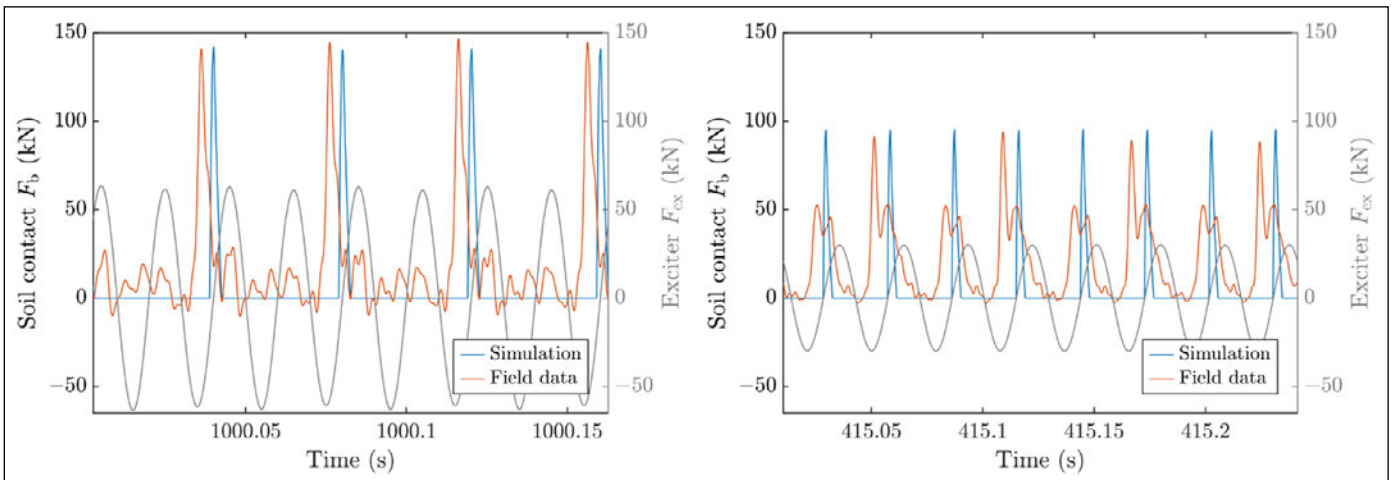


Abb. 5: Vergleich der Bodenkontaktkraft F_b zwischen Simulation und Feldversuch für zwei Zeitabschnitte

Quelle: [1]

gleichungen der beiden Komponenten separat darstellen und die Bodenkontaktkraft F_b berechnen, welche die Wechselwirkung zwischen Plattenverdichter und Tragschicht beschreibt. Drei verschiedene Betriebsphasen – Belastung, Entlastung und Abheben – werden durch Randbedingungen definiert. Die Belastung ist durch Zunahme der Bodenkontaktkraft F_b gekennzeichnet, die Entlastung durch Abnahme dieser Kraft, und das Abheben ist durch eine Bodenkraft F_b definiert, die gleich 0 ist. Die detaillierten Berechnungen, Bewegungsgleichungen und Parameterwerte sind in Pistrol (2022) ausführlich beschrieben [6].

Gegenüberstellung der Ergebnisse aus Simulation und Feldversuch

Die Auswertung der Feldversuchsdaten zeigt, dass der Hydraulikdruck des Baggers nicht ausreichte, um gleichzeitig konstante Vertikallasten und Erregerfrequenzen aufrechtzuerhalten. Hohe Vertikallasten konnten nur bei niedrigen Frequenzen aufgebracht werden und umgekehrt. Das Bewegungsverhalten des Plattenverdichters erwies sich dabei als stark abhängig von den Prozessparametern, insbesondere von Vertikallast und Erregerfrequenz. Bei sehr gerin-

gen Vertikallasten traten sehr geringe Bodenkontaktkräfte auf, und es stellte sich ein Bewegungsverhalten ein, das auf Anheben des Plattenverdichters durch die Aufhängervorrichtung zurückzuführen ist. Bei mittlerer Auflast zeigte der Plattenverdichter ein periodisches, jedoch wenig ausgeprägtes Verhalten. Mit zunehmender Vertikallast wurde die Bewegung regelmässiger und stabiler [1]. Für den Vergleich zwischen Simulation und Feldversuchsdaten wurden zwei Zeitabschnitte ausgewählt – einer mit mittlerer und einer mit hoher Vertikallast. Die Messergebnisse zeigen, dass der Verdichter in beiden Fällen ein deutlich periodisches Bewegungsverhalten aufweist, das in der orbitalen Verschiebung in Abb. 4 dargestellt ist. Im ersten Messausschnitt (Abb. 4, links) treten an der Rückseite deutlich größere Amplituden auf als an der Stirnseite, was auf die unausgeglichene Konstruktion und die Rotationsrichtung der Unwucht zurückzuführen ist. Diese Unterschiede führen zu einer Neigung der Grundplatte, die in der Abbildung schematisch und stark überhöht durch graue Linien dargestellt ist. Durch die geänderte Rotationsrichtung im zweiten Messausschnitt (Abb. 4, rechts) vergrößert sich der Neigungswinkel der Grundplatte weiter [1].

Abb. 5 zeigt den Vergleich der Bodenkontaktkraft F_b zwischen den gemessenen Feldversuchsdaten und der Simulation. In beiden Fällen ist in jeder zweiten Erregerperiode ein deutlicher Spitzenwert der Bodenkontaktkraft erkennbar. Der erste Messausschnitt (Abb. 5, links) zeigt ein periodisches Verhalten über zwei Erregerperioden. Nach einem starken Aufschlag der Grundplatte verliert sie kurzzeitig den Kontakt zur Tragschicht und bleibt für eine gesamte Erregerperiode in der Luft, bevor sie erneut auf die Tragschicht aufschlägt – ein Verhalten, das in der dynamischen Verdichtung als vollständiges Springen bezeichnet wird [8]. Die zeitliche Abweichung zwischen Simulation und Versuch ist auf eine leichte Neigung der Grundplatte während der Messungen zurückzuführen, wodurch der Kontakt mit der Tragschicht früher einsetzt. Abb. 5 (rechts) zeigt den Vergleich der Bodenkontaktkraft für den zweiten Messausschnitt. Während die Feldversuchsdaten ein periodisches Verhalten über zwei Erregerperioden zeigen, stellt sich in der Simulation lediglich ein periodisches Verhalten über eine Erregerperiode ein. Die Versuchsdaten zeigen ein Aufschlagen des Plattenverdichters jede Erregerperiode, jedoch mit alternierender Stärke. Dies wird als Übergang von Abheben zu Springen interpretiert. Aufgrund der vereinfachten Modellannahmen können Neigung und Doppelschlag der Grundplatte nicht vollständig abgebildet werden. Zudem zeigt sich hier, dass sich die Übergänge zwischen unterschiedlichen Betriebszuständen in Feldversuchen und Simulation leicht unterscheiden [1].

Entwicklung eines neuen Plattenverdichters

Die Ergebnisse der experimentellen Feldversuche und der Simulation ermöglichten tieferes Verständnis des Bewegungsverhaltens des Plattenverdichters. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wurde ein Prototyp eines neu-

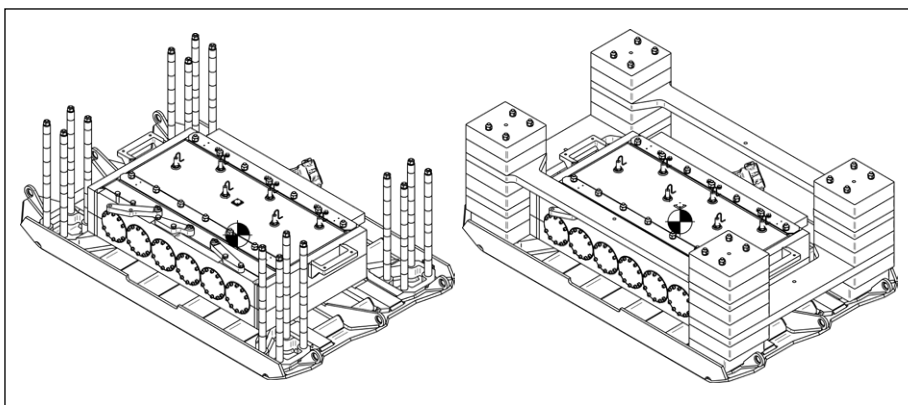


Abb. 6: Prototyp des neuen Plattenverdichters ohne / mit Ballastierung

Quelle: [4]

konstruierten Plattenverdichters gebaut. Abb. 6 zeigt diesen sowohl ohne (links) als auch mit (rechts) zusätzlichem Ballast. Für Forschungszwecke wurden Größe und Gewicht des Prototyps erhöht, da sowohl die Abmessungen der Grundplatte als auch die schwingende Masse des Plattenverdichters entscheidenden Einfluss auf die Verdichtungsqualität haben. Darüber hinaus verfügt der Prototyp über eine neu entwickelte Erregereinheit, die aus sechs Unwuchten besteht und zur Erhöhung der Verdichtungsenergie ausgelegt ist. Dadurch werden während der für 2026 geplanten Feldversuche unterschiedliche Konfigurationen von Amplitude und Frequenz möglich sein [1, 4].

Zusammenfassung

Feldversuche und Simulationen des Plattenverdichters Wimmer WBB530 zeigten, dass das Simulationsmodell das charakteristische Bewegungsverhalten zuverlässig abbildet. Geringe Abweichungen treten in den Übergangsbereichen zwischen den Betriebsmodi auf. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde eine Neukonstruktion mit optimierter Erre-

gerinheit und angepasster Plattengröße initiiert. Der neue Prototyp soll die Verdichtungseffizienz erhöhen und eine kontinuierliche Verdichtungskontrolle ermöglichen. ■

QUELLEN

- [1] Sigmund, J. A.; Pistor, J.; Adam, D. (2026) (im Druck): Comparison of simulation and field tests of subballast compaction with plate compactors during rail track rehabilitation. Proceedings of the 21st International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vienna 2026
- [2] Indraratna, B.; Rujikiatkamjorn, C.; Salim, W. (2023): Advanced Rail Geotechnology – Ballasted Track. 2nd. London: CRC Press
- [3] Auer, F.; Zuzic, M.; Schilder, R.; Breyman, H. (2008): 13 years of experience with rail-mounted formation rehabilitation on the Austrian network, RTR 01/2008 S. 29–36
- [4] Barbir, O. (2025): Die Evolution der Unterbausanie rung: Geschichte, Technik und Zukunft. 5. VDEI Geotechnik-Kolloquium, Neustadt an der Weinstraße, Deutschland
- [5] Sigmund, J.; (2021): Messtechnische Erfassung und Analyse des Bewegungsverhaltens von Plattenverdichtern im Bahnbau. Diplomarbeit, Institut für Geotechnik TU Wien
- [6] Pistor, J.; Adam, D.; Hofbauer, T.; Kopf, F.; Anthony, B.; Auer, F. (2022): Subballast compaction in track rehabilitation by means of plate compactors. Proc. ICSMGE – 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Sydney, Australia, pp. 1005–1010
- [7] Sigmund et al. (2025): The Quality of the Substructure as the key to Success. Proceedings of 13th International Heavy Haul Association Conference (IHHA 2025), Colorado Springs, CO, USA
- [8] Adam, D. (1996): Continuous compaction control (CCC) with vibrating rollers. PhD Thesis (German). TU Wien, Austria



Dipl.-Ing. Dr. techn. Olja Barbir

System Engineer
Plasser & Theurer, AT-Wien
olja.barbir@plassertheurer.com



**Univ. Ass. Dipl.-Ing.
Julian Sigmund, B.Sc.**

Institut für Geotechnik
Technische Universität Wien, AT-Wien
julian.sigmund@tuwien.ac.at