

## 2. Beurteilung von Bahntrassen durch Inversion von Dispersionskurven

Dipl.-Ing. Georg Joachim Wagner | Technische Universität Wien

Im Zuge der Gleisinstandhaltung wird die Gleislage durch kombinierte Hebe-, Richt- und Stopfmaschinen korrigiert. Durch lokale Auflockerungen des Oberbauschotters im Zuge des Stopfprozesses wird dabei der Querverschiebewiderstand herabgesetzt, was sich negativ auf die Verwerfungssicherheit des Gleises auswirkt. Um Langsamfahrstellen nach der Instandhaltung zu vermeiden, wird der Schotter nach der Gleislagekorrektur oftmals mit dem Dynamischen Gleisstabilisator (DGS) verdichtet. Im Sinne einer Qualitätssicherung soll der Verdichtungserfolg dieser Maßnahme überprüft und aufgezeichnet werden. Es existiert jedoch keine Methode, mit der die Verdichtungskontrolle zum einen prozessintegriert und flächendeckend und zum anderen für die verschiedenen Schichten des Gleiskörpers getrennt (also über die Tiefe differenziert) durchgeführt werden kann. Deshalb wurde in der eingereichten Arbeit ein Verfahren vorgestellt und untersucht, das diese beiden Anforderungen erfüllen soll.

Das untersuchte Verfahren stammt ursprünglich aus der Seismik und wird dort zur Untergrunderkundung und Erdbebenlokalisierung eingesetzt: Seismische Oberflächenwellen werden von Sensor-Array-Messeinrichtungen erfasst und Dispersionskurven (also der Zusammenhang zwischen Frequenz und Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen) abgeleitet. Durch Inversion der Dispersionskurven kann auf den Schichtaufbau und die Steifigkeiten des Untergrunds geschlossen werden. Für die genannte Problemstellung musste also zum einen eine Messvorrichtung entworfen werden, die während der Fahrt des Schienenfahrzeugs kontinuierlich Oberflächenwellen anregt und diese mit einem geeigneten Sensor-Array misst. Zum anderen musste ein geeigneter Auswertungsalgorithmus entwickelt werden, mit dem Dispersionskurven berechnet und durch Inversion derselben Bodenprofile abgeleitet werden können.

### Messvorrichtung und Versuchsdurchführung

Das Ziel der Arbeit war die Entwicklung einer neuartigen Methode zur Verdichtungskontrolle im Gleisbau mit einem Verfahren aus der Seismik, der sogenannten Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). Die Messauswertung erfolgt in mehreren Schritten (Erfas-

sung der Signale, Berechnung einer Dispersionskurve, Inversion der Dispersionskurve zur Ableitung von Bodenprofilen). Da dies prozessintegriert – also in Echtzeit – umgesetzt werden soll, ist der Einsatz verschiedener Software-Lösungen für die einzelnen Schritte nicht geeignet. Aus diesem Grund wurde der gesamte Prozess in einem Matlab-Algorithmus automatisiert.



Die Messvorrichtung besteht aus vier Radachsen, die über Stahlstangen gelenkig verbunden sind und von einem Schienenfahrzeug über das Gleis gezogen werden (siehe Abbildung 1): Auf der ersten Achse befindet sich eine Schlagvorrichtung, die durch ein Fallgewicht Oberflächenwellen im Gleiskörper anregt. Die restlichen Achsen dienen der Montage von jeweils zwei Beschleunigungsaufnehmern zur Erfassung und weiteren Verarbeitung der Oberflächenwellen. Bei der Hauptuntersuchung auf einem Versuchsgleis in Linz konnten Messdaten in einer ausreichend guten Qualität gewonnen werden, um den Auswertungsprozess zu simulieren und Aussagen über die Eignung des Verfahrens zur Verdichtungskontrolle treffen zu können.

### Ergebnisse und Erkenntnisse

Mit dem entwickelten Messverfahren konnten Dispersionskurven der generierten Oberflächenwellen berechnet werden. Durch Inversion dieser Dispersionskurven war es möglich, Bodenprofile mit Schichtgrenzen und Steifigkeiten der einzelnen Schichten abzuleiten (siehe Abbildung 2). Diese Steifigkeiten können in weiterer Folge als Kennwerte der indirekten Verdichtungskontrolle herangezogen werden.

Da das entwickelte Messverfahren erstmals getestet wurde, konnten einige Problemfelder identifiziert und Verbesserungsvorschläge für die weiterführende Forschung und Umsetzung getroffen werden: Vor allem während der Fahrt über das Gleis treten starke Stör-

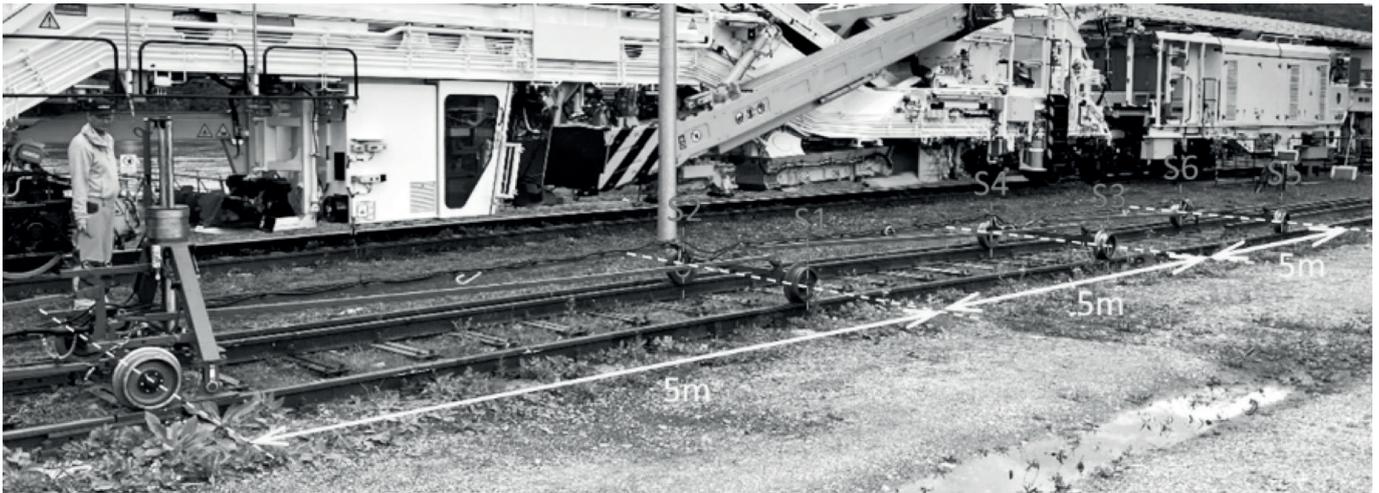


Abbildung 1: Messvorrichtung mit Schlagvorrichtung auf der ersten Achse (links) und drei Messachsen mit Beschleunigungsaufnehmern (S1 bis S6).

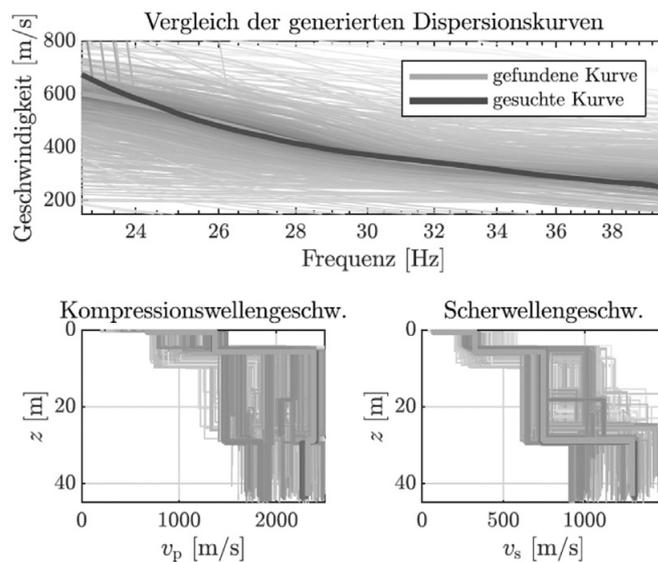


Abbildung 2: Ergebnisse der Inversion einer Dispersionskurve: In grün jenes Bodenprofil und die dazugehörige Dispersionskurve mit der besten Übereinstimmung zur gemessenen Dispersionskurve (rot).

signale auf, deren Ursachen mit den vorliegenden Messdaten nicht final geklärt werden konnten. Hier ist weiterer Forschungsbedarf gegeben.

Außerdem haben die Messachsen jeweils denselben Abstand zueinander. Dieser Umstand stellte sich als besonders problematisch heraus, da dadurch der untersuchbare Frequenzbereich der Oberflächenwellen stark eingeschränkt wird und in weiterer Folge die Kennwerte der abgeleiteten Bodenprofile zunehmend streuen. Es wurde daher eine optimierte Geometrie entwickelt, die mittlerweile umgesetzt und getestet wurde.

### Schlussfolgerungen

Die untersuchte Methode zur Verdichtungskontrolle im Gleisbau mittels Analyse von seismischen Oberflächenwellen befindet sich noch im Entwicklungsstadium. Weitere Forschungstätigkeiten erscheinen vielversprechend, da mit der eingereichten Arbeit die Grundlagen und weitere Verbesserungsmöglichkeiten für ein flächendeckendes und prozessintegriertes System zur Verdichtungskontrolle im Gleisbau dargelegt werden konnten. Ein solches System besteht bis dato nicht und könnte durch eine umfassende Qualitätskontrolle der Verdichtungsarbeiten den Instandhaltungsprozess im Bahnbau maßgeblich verbessern.