

## Experimentelle Validierung von numerischen Modellen für Schottersetzung

**Bericht zu Allianz Projekt Nr. 100 038 201**

Im Auftrag der Allianz Fahrweg Normalspur für die Allianz Fahrweg Normalspur

<b>Version</b>	<b>Erstelldatum</b>	<b>Änderungen</b>	<b>Autor(en)</b>	<b>Freigabe</b>
5214027986	16.06.2022	-	Van Damme, B.	FB FB 03/22

Empa  
Überlandstrasse 129  
CH-8600 Dübendorf  
T +41 58 765 11 11  
F +41 58 765 11 22  
www.empa.ch

Dr. Armin Zemp  
Allianz Fahrweg Normalspur  
Genferweg 11  
3001 Bern

## Report No. 5214027986

### **Ballast settlement in Switzerland: a comparison of experimental and computational models**

Customer reference: 100 036 201

Your order from: 10.09.2021

Number of pages: 20  
Attachments: 

- 1) Regulation of advertising with Empa test reports
- 2) Test report Southampton University

---

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, Abteilung Akustik / Lärminderung  
Dübendorf, 8 Juni 2022

Project leader:

Head of Laboratory:

Bart Van Damme

Jean-Marc Wunderli

---

Clues: The examination results are only valid for the inspected object. Information on the measurement uncertainty can be requested from the laboratory. The test report and documents are kept for ten (10) years. If the Client does not wish to take back the test objects, Empa shall be entitled to freely dispose of or destroy the test objects one (1) year after completion of its activities. The use of the test report for advertising purposes is subject to authorisation (so-called advertising authorisation in accordance with the Advertising with Empa test reports regulation).

## CONTENTS

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>3</b>
<b>1 INTRODUCTION</b>	<b>4</b>
1.1 <i>Proposal outline</i>	4
1.2 <i>Background of the project</i>	4
<b>2 EXPERIMENTAL SETUP:</b>	<b>4</b>
<b>3 DEM MODEL SETUP</b>	<b>7</b>
3.1 <i>Approximation of particle shape</i>	7
<b>3 COMPARISON OF THE EXPERIMENTAL AND DEM RESULTS</b>	<b>10</b>
<b>4 PARAMETRIC STUDY</b>	<b>11</b>
4.1 <i>Effect of particle friction:</i>	12
4.2 <i>Subgrade friction:</i>	13
4.3 <i>Subgrade Modulus:</i>	15
4.4 <i>Loading amplitude and frequency:</i>	16
<b>5 CONCLUSIONS AND FUTURE SCOPE</b>	<b>19</b>
<b>6 REFERENCES</b>	<b>20</b>

## Zusammenfassung

In diesem Projekt vergleichen wir experimentelle und numerische Untersuchungen zur Setzung von Schotter. Setzung ist ein langsamer Prozess, welcher wegen der grossen Unterschiede in Achslast, Zugsgeschwindigkeit und Oberbautypen schwierig unter Betriebsbedingungen untersucht werden kann. Setzungen verursachen aber hohe Instandhaltungskosten, und ein besseres Verständnis der zugrunde liegenden Mechanismen könnte zu einem optimierten Unterhaltszyklus führen.

Im ersten Schritt wurde Schotter, welcher für Schweizer Oberbauten verwendet wird, in einem spezialisierten Prüfstand der Universität von Southampton getestet, um einen Setzungsverlauf experimentell zu vermessen. Die experimentellen Bedingungen, ein Schwellenfach welches mit einer Achslast von 20 Tonnen zyklisch belastet wird, sollten möglichst der strukturellen Realität entsprechen. So wird der Schotter in Schichten stabilisiert, und die Betonschwelle stabil eingebettet. Die regelmässige Last erlaubt eine kontinuierliche Messung über 3 Millionen Zyklen, und ergab eine Setzung von insgesamt 3.5 mm. Der Zeitverlauf der plastischen Verformung des Schotterbetts deutet auch auf unterschiedlichen Setzungsphasen mit unterschiedlichen Verformungsgeschwindigkeiten hin.

Dieses Experiment, welches über mehrere Wochen läuft, ist unpraktisch für Parameterstudien die zum Beispiel unterschiedliche Kombinationen von Zugsgeschwindigkeiten und Achslasten abbilden. Deshalb haben wir ergänzend ein detailliertes Modell zur Nachbildung der gemessenen Setzungen entwickelt. Das diskrete-Elementenmodell nimmt die einzelnen Schottersteinen explizit in Rechnung und ermöglicht die Untersuchung vieler Parameter wie Materialsteifigkeit und Reibung.

Wir haben die Setzung über 300'000 Zyklen modelliert, was Rechenzeiten von fast einer Woche in Anspruch nahm. Die Materialparameter die wir in einem parallelen Projekt bestimmt hatten, lieferten gute Übereinstimmungen mit den experimentell bestimmten Setzungen. Zusätzlich zum Vergleich mit der Messung konnten wir den Einfluss von Materialsteifigkeit von Schottersteinen und Boden, Achslast, Belastungsfrequenz, welche die Zugsgeschwindigkeit abbildet, und Reibung untersuchen. Die Ergebnisse erscheinen plausibel (z.B. schnellere Setzung bei grösserer Achslast) und liefern auch quantitativ belastbare Werte, beispielsweise zur Setzungsrate über die Zeit. Ein Übersicht dieser Setzungsraten und der zugehörigen Parameter, welche man für die klassischen Formeln aus der Literatur braucht, wird in Tabelle 3 gegeben.

Dieses Projekt bestätigt, dass diskrete Elementenmodelle mit relativ guter Genauigkeit das komplexe Setzungsprozess voraussagen können. Sie geben uns die Möglichkeit, Szenarien zur Optimierung der Instandhaltung des Oberbaus zu definieren.