



Doctoral Thesis

Die Alterung von Bahnschotter aus bodenmechanischer Sicht

Author(s):

Guldenfels, Rolf

Publication Date:

1995

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001513133> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

**DIE ALTERUNG VON BAHNSCHOTTER AUS
BODENMECHANISCHER SICHT**

ABHANDLUNG
zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

Rolf Guldenfels
Dipl. Bauing. ETH Zürich

geboren am 9. Februar 1955
von Thun/BE und Basel/BS

Angenommen auf Antrag von:

Prof. H.-J. Lang, Referent
Dr. F. Bucher, Korreferent



Zusammenfassung

Mit dem Ziel, die Alterung von Bahnschotter anhand bodenmechanischer Kenngrössen nachweisen und bahnpraktische Beobachtungen nachvollziehen und erklären zu können, wurden im Labor Grosstriaxialversuche durchgeführt.

Die Alterung von Bahnschotter im Gleis ist gekennzeichnet durch ein Abrunden und Verkleinern der Schotterkörner, was zu einer Zunahme der Feinanteile und damit zu einer Abflachung der Korngrössenverteilung des Schottermaterials führt. Die prozentualen Massenanteile < 22.4 mm werden in diesem Zusammenhang als Verschmutzung bezeichnet.

Um die Veränderungen im bodenmechanischen Verhalten während der Lebensdauer eines Bahnschotters untersuchen zu können, wurden dessen Gebrauchsphasen durch unterschiedlich verschmutzte Triaxialproben substituiert. Als Ausgangsmaterial für die Untersuchungen wurde ein aus einem SBB-Gleisbett ausgebauter Altschotter gewählt. Das Material wurde in einzelne Fraktionen ausgesiebt und anschliessend zu verschiedenen stark verschmutzten Schotterproben mit Korngrössenverteilungen zusammengesetzt, die aufgrund von analysierten Schotterproben aus Gleisen mit verschiedenen Verschmutzungsgraden entworfen worden waren.

Die ausschliesslich trockenen Probenmaterialien wurden schichtweise auf einem Rütteltisch mit konstanter Verdichtungsenergie in die Grosstriaxialzelle eingebaut. Um die Materialien bezüglich des Korngerüsts in einen mit dem realen Schotterbett vergleichbaren quasistabilen Zustand zu bringen, wurden die Proben in einer ersten Versuchsphase durch 100'000 dynamische und quasistatische, kraftgesteuerte Lastwechsel in einer Hydropulsanlage belastet, wobei diese Phase jeweils mit 10 quasistatischen Lastwechseln abgeschlossen wurde. Die Grösse des bei allen Versuchen konstant gehaltenen Seitendruckes ergab sich anhand von Erfahrungswerten aus der Literatur. Die maximale Deviatorspannung während der Wechselbelastungen wurde möglichst gross gewählt, um klare Unterschiede im Verhalten der unterschiedlich verschmutzten Probenmaterialien zu provozieren. Anschliessend an die erste Phase wurden die Proben bei gleichbleibendem Seitendruck weggesteuert bis zum Bruch belastet. Insgesamt wurden in drei Versuchsserien 30 Grosstriaxialversuche mit zwischen 0 und 100 % verschmutzten Proben durchgeführt.

In Funktion des Verschmutzungsgrades wurden neben den Verdichtungseigenschaften das Spannungs-Dehnungs- und das Volumenverhalten, die Entwicklung der Energiedissipation und des Dämpfungsverhältnisses, die Veränderung von Steifigkeit und Poissonzahl sowie die

Scherfestigkeit untersucht und verglichen. Aufgrund der ausgewerteten Kenngrößen wird das grundsätzliche bodenmechanische Verhalten von Bahnschotter durch die Zunahme der Verschmutzung abgeleitet und erklärt.

Die Resultate zeigen, dass sich eine Verschmutzungszunahme in einem markanten Anstieg der dissipierten Energie und des davon abhängigen Dämpfungsverhältnisses äussert. Die Scherfestigkeit hingegen wird durch den Anstieg der Verschmutzung nur wenig beeinflusst. Anhand von Anwendungsbeispielen wird demonstriert, dass sich auch der festgestellte Steifigkeitsabfall mit zunehmender Verschmutzung des Schottermaterials nur unbedeutend auf die Beanspruchung von Gleis und Bettung auswirkt.

Beim untersuchten Schottermaterial kann ein kritischer Zustand, bei dem sich das bodenmechanische Verhalten ändert, nachgewiesen werden. Während bis zu einer Verschmutzung von ca. 50 % generell nur geringfügige Veränderungen im bodenmechanischen Verhalten feststellbar sind, nehmen diese bis zu einer Verschmutzung von ca. 70 % deutlich und bei weiterer Verschmutzungszunahme markant zu.

Summary

In order to demonstrate and understand the ageing process of ballast material on the basis of fundamental soil properties, large size triaxial tests have been carried out.

In reality, the ageing of ballast material is mainly characterized by a continuous degradation (rounding off edges and reduction of the grain sizes) of the single ballast components. This degradation process, predominantly caused by grain crushing and abrasion, produces a higher content of fines and thus a corresponding flattening of the grain size distribution. The portion of < 22.4 mm in mass % on the grain size distribution is called fouling of the ballast.

For the investigation of the relative changes of the mechanical behavior of the ballast material during its life cycles, triaxial test samples have been reconstituted with varying degrees of fouling corresponding to a grain structure similar to real ballast material. The testing material has been an old ballast that had been recovered from an actual rail track. It was then separated into different grain sizes. Afterwards the ballast test samples have been reconstituted to represent the entire range of possible grain size distributions of typically encountered ballast material.

The ballast samples have been prepared on a vibration table, applying a constant compaction energy to compact layer by layer. In order to produce samples with a grain structure comparable to actual ballast material, the test samples had first been loaded by a series of 100'000 dynamic and quasi-static, load-controlled cycles by means of hydropulses. This initial testing phase has been completed with 10 quasi-static load cycles. The required confining pressure was estimated on the basis of published data. It was held constant for all triaxial tests. The maximum deviatoric stress was selected as high as possible for the loading-unloading cycles with the intention to produce differences in the response of the samples with varying degrees of fouling. After this first testing phase the samples were loaded up to failure. The different series of experiments, totalling 30 large size triaxial tests, have been carried out on samples with degrees of fouling between 0 and 100 %.

The series of experimental results with varying degrees of fouling have been analyzed and compared for the following key characteristics: compaction properties, stress-strain relationships, volumetric straining, development of energy dissipation as well as material damping, changes in the deformation modulus (stiffness) as well as Poisson's ratio and shear strength.

The experimental results demonstrate that an increase in the degree of fouling, produced by abrasion and particle crushing, produces a considerable increase in dissipated energy and the corresponding damping ratio. The shear strength however, does not show any observable changes with differing degrees of fouling. Based on practical examples it was shown that the observed decrease in material stiffness only exerts a negligible influence on the mechanical behavior of the rails and the underlying ballast bed.

The testing results indicate a critical state of the ballast composition, after which the physical properties gradually begin to change. Up to a degree of fouling of approximately 50 % only minor changes in the mechanical behavior have been observed. After the 50 %, these changes gradually increase up to 70 %, after which a rapidly increasing rate of degradation has clearly been found.