

7. Geokunststoff-Kolloquium

Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

M.Sc. Steffen Großmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO
Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, Henning Ehrenberg, NAUE GmbH & Co. KG



Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

1 Veranlassung

Mit der Weiterentwicklung der Erdbautechnologien ist es möglich, die anstehenden Böden und eingesetzten Tragschichtmaterialien im Eisenbahnunterbau intensiver zu verdichten. Gleichzeitig werden Konzepte entwickelt, den kostspieligen Einbau von Tragschichten durch die Aufbereitung der anstehenden Böden mit Bindemitteln zu minimieren. Diese Maßnahmen führen im Allgemeinen zu besseren Eigenschaften der Erdbauwerke hinsichtlich ihrer Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. Die bessere Verdichtung der Böden und Tragschichtmaterialien sowie die Bodenbehandlung mit Bindemitteln ist jedoch auch mit geringen elastischen Einsenkungen des Gleises und des Tragsystems bei den Zugüberfahrten verbunden. Je größer aber der Bettungsmodul, umso weniger Schwellen sind an der Lastübertragung beteiligt, so dass die Flächenpressung steigt.

Die Folge einer zu hohen Flächenpressung ist die zunehmende Beanspruchung und Schädigung von Schotterbettung und Eisenbahnunterbau. Ein Lösungsansatz, um die übermäßige Schädigung der Schotterbettung (Abbildung 1) zu vermeiden, ist der Einsatz von zusätzlichen elastischen Elementen.



Abbildung 1: Geschädigte Schotterbettung

Gleichzeitig werden Vliesstoffe im Tragsystem des Eisenbahnfahrweges eingesetzt, um durch die Funktionen Trennen, Filtern und Dränen einen positiven Effekt auf die Langzeitbeständigkeit zu erhalten und somit die Gleislage zu verbessern.

Durch die NAUE GmbH & Co. KG wurde deshalb in Zusammenarbeit mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden und der Ingenieurgesellschaft GEPRO Dresden ein neues Produkt unter Verwendung von Vliesstoffen entwickelt, das unter der Schotterbettung verlegt wird und folgende Funktionen im System des Eisenbahnfahrweges übernehmen soll:

7. Geokunststoff-Kolloquium

Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

M.Sc. Steffen Großmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, Henning Ehrenberg, NAUE GmbH & Co. KG



- Gewährleistung der Elastizität des Fahrweges,
- Gewährleistung der mechanischen Filterstabilität des Gleisschotters zu unterschiedlichen Böden und
- Ableitung von Niederschlagswasser oberhalb des Eisenbahnunterbaus.

2 Produktbeschreibung

Das Produkt besteht aus zwei Lagen mechanisch verfestigten Geokunststoffen (Polypropylen). Als Trägergeotextil wird eine Kombination aus Vliesstoff und Gewebe, als Deckgeotextil ein Vliesstoff eingesetzt. Im Produktionsprozess des Geoverbundstoffes wird zwischen diesen Geokunststoffen ein Gummigranulat eingebracht und die beiden Lagen werden anschließend vollflächig miteinander vernadelt (Abbildung 2), wodurch eine dauerhafte, schubkraftübertragende Verbindung über alle Schichten des Geoverbundstoffes erreicht wird.

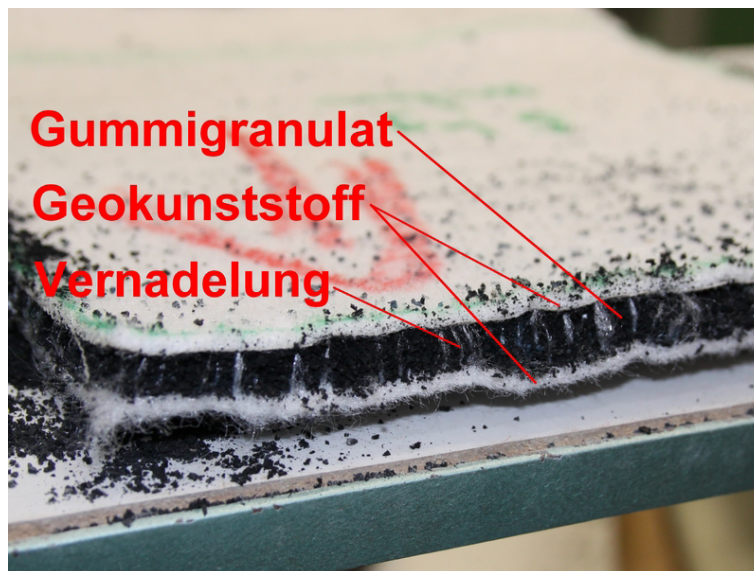


Abbildung 2: Aufbau der Vliesstoff-Gummigranulat-Matte (Probe 5 kg/m²)

In den Untersuchungen wurden Füllmengen des Gummigranulats zwischen 3000 g/m² und 7000 g/m² verwendet.

3 Untersuchungen

3.1 Voruntersuchungen

In Voruntersuchungen wurden an Produktmustern mit unterschiedlicher Füllmenge an Gummigranulat erste Untersuchungen zum statischen Bettungsmodul sowie zur Dauerhaftigkeit des Geoverbundstoffes durchgeführt. Dazu wurden die Produktmuster einer Dauerbelastung von 1 Million Lastwechseln mit einer Oberlast von 0,20 N/mm² und Unterlast von 0,02 N/mm² unter Verwendung einer Normschotterplatte (Abbildung 3) unterzogen.

7. Geokunststoff-Kolloquium

Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

M.Sc. Steffen Großmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieuresellschaft für Geotechnik, Henning Ehrenberg, NAUE GmbH & Co. KG



Abbildung 3: Normschotterplatte

Mit der Dauerschwellbelastung sollten erste Aussagen zu den Änderungen im Materialverhalten infolge Verdichtung des Vliesstoffes und Umlagerungen des Gummigranulats ermöglicht werden. In Abbildung 4 wurden die Sekantenmoduln zwischen $0,022 \text{ N/mm}^2$ und $0,160 \text{ N/mm}^2$ über die eingetragenen Lastwechsel aufgetragen.

Abbildung 4 zeigt, dass bei allen Proben eine Erhöhung des Sekantenmoduls infolge der Dauerschwellbelastung eintritt. Bei den Proben mit 5 kg/m^2 und 7 kg/m^2 Flächenmasse werden nach 200.000 Lastwechsel etwa konstante Werte erreicht, das heißt eine weitere Versteifung des Geoverbundstoffes wurde bis zum Versuche nicht festgestellt. Bei der Probe mit der geringsten Flächenmasse von 3 kg/m^2 ist dieser Vorgang auch nach 1 Million Lastwechsel noch nicht abgeschlossen.

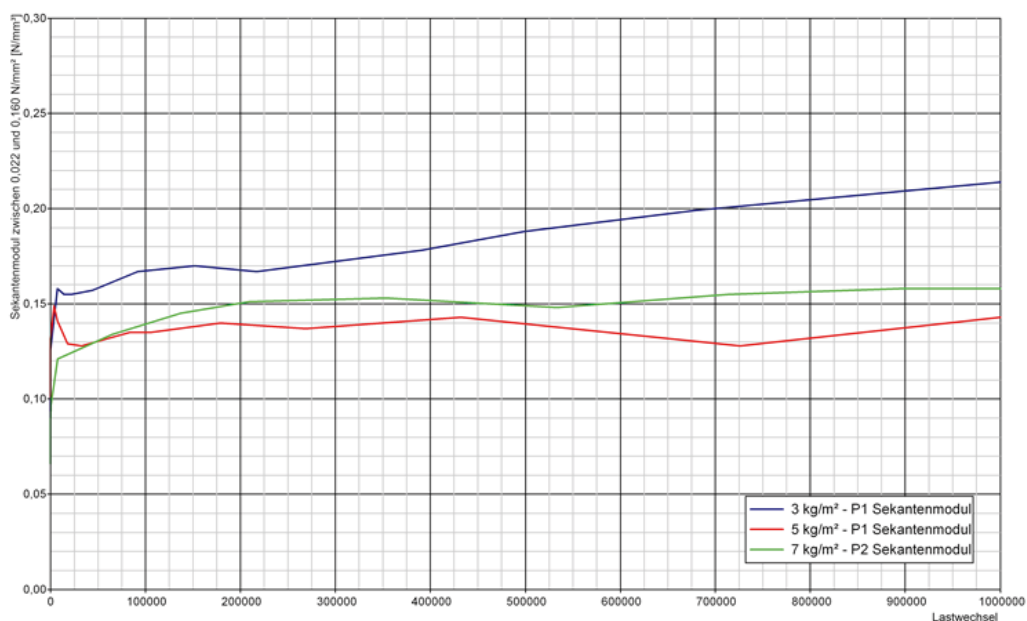


Abbildung 4: Änderung des Sekantenmoduls zwischen $0,022$ und $0,160 \text{ N/mm}^2$ infolge Dauerschwellbelastung

7. Geokunststoff-Kolloquium

Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

M.Sc. Steffen Großmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, Henning Ehrenberg, NAUE GmbH & Co. KG



Nach der Dauerschwellbelastung und der Prüfung der statischen Steifigkeit wurden die Proben ausgebaut und visuell begutachtet. Der Zustand der Proben kann wie folgt beschrieben werden:

- Es konnten augenscheinlich keine Beschädigungen festgestellt werden.
- Die Auflagerpunkte („Schottersteine“) der Normschotterplatte führen zu deutlichen Einsenkungen in den Materialproben. Der Vliesstoff ist an diesen Punkten stark verdichtet.
- In den „Tiefpunkten“ der Normschotterplatte wird der Vliesstoff gestreckt. Die im Vliesstoff verwendeten Stapelfasern begünstigen hier dieses Auseinanderziehen / Strecken des Vliesstoffes und verhindern so Beschädigungen der Vliesstofflagen.
- Ein Austreten von Gummigranulat wurde nicht festgestellt.

An den Mustern der Geoverbundstoffe wurden nach 1 Million Lastwechsel die horizontalen Wasserdurchlässigkeiten ermittelt. Es wurden je nach Prüfbedingung (2/20/200 kPa, $i = 1$, weich/weich) Abflusswerte von ca. 1×10^{-1} bis 7×10^{-4} l/(m x s) ermittelt. Weiterhin wurden die vertikalen Wasserdurchlässigkeiten k_v unter 2/20/200 kPa Auflast am Geoverbundstoff nach 1 Million Lastwechsel je nach Auflast im Bereich von ca. 1×10^{-3} bis 3×10^{-5} m/s ermittelt. Diese Werte dokumentieren für den Geoverbundstoff sowohl hohe horizontale Wasserdurchlässigkeiten/Dränwerte als auch hohe vertikale Wasserdurchlässigkeiten nach 1 Million Lastwechsel.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Voruntersuchungen wurden die folgenden Untersuchungen auf den Geoverbundstoff mit 5 kg/m² Flächenmasse beschränkt.

3.2 Untersuchungen in der Prüfgrube zur Dauerbeständigkeit und den elastischen Eigenschaften unter realitätsnahen Bedingungen

Zur weiteren Erprobung des neuen Geoverbundstoffes wurde im Prüfstand Verkehrswegebau der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden ein Großversuch unter realitätsnahen Randbedingungen durchgeführt. Dazu wurde der Geoverbundstoff auf einem mit Bindemittel verbesserten Erdplanum ausgelegt und mit 30 cm Gleisschotter überdeckt. Abbildung 5 zeigt den Prüfaufbau.

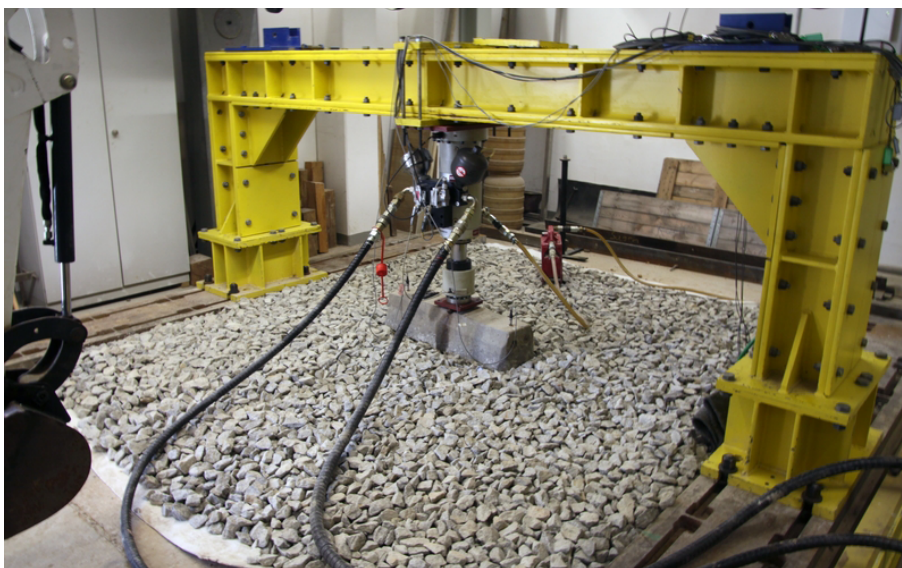


Abbildung 5: Prüfung des Geoverbundstoffes unter realitätsnahen Randbedingungen

7. Geokunststoff-Kolloquium

Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

M.Sc. Steffen Großmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, Henning Ehrenberg, NAUE GmbH & Co. KG



Es erfolgte die Belastung des Prüfaufbaus mit insgesamt 12,5 Mio. Lastwechseln. Die eingetragenen Normalspannungen entsprachen den Lasten unter einer 22,5 t Achslast. Über Beschleunigungsaufnehmer wurden auf der Halbschwelle, auf dem Geoverbundstoff sowie auf dem Erdplanum die Schwingbeschleunigungen gemessen und daraus die entsprechenden elastischen Einsenkungen in der Messebene berechnet. In Abbildung 6 sind die elastischen Einsenkungen in den einzelnen Prüfebenen über die eingetragenen Lastwechsel aufgezeichnet.

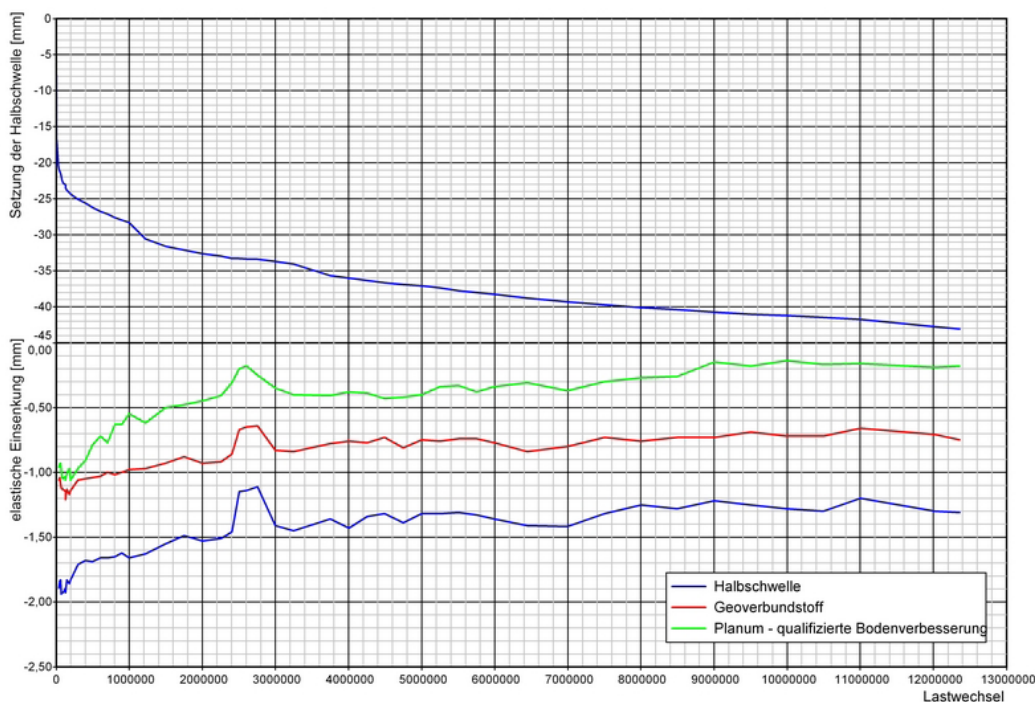


Abbildung 6: Setzung der Halbschwelle und elastische Einsenkungen in den Prüfebenen

Die Ergebnisse dieses Versuches können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der neue Geoverbundstoff hat die Elastizität im System Ober- und Unterbau deutlich erhöht.
- Der Anteil des Geoverbundstoffes an der elastischen Formänderung unter den eingetragenen Lasten war über den Versuchszeitraum etwa konstant, das heißt der Geoverbundstoff war auch am Ende der 12,5 Mio. Lastwechsel noch voll funktionstüchtig.
- In der visuellen Begutachtung des Geoverbundstoffes nach dem Dauerbelastungsversuch konnten keine Beschädigungen festgestellt werden.

Auch an den Mustern aus den Versuchen in der Prüfgrube wurden nach Ausbau (hier nach 12,5 Millionen Lastwechseln) die horizontalen und vertikalen Wasserdurchlässigkeiten ermittelt. Es wurden zwei Prüflinge direkt unter der Lastplatte und ein Prüfling außerhalb des Lastbereichs entnommen. Die Prüflinge unterhalb der Lastplatte waren visuell deutlich durch Schotterabrieb verschmutzt. Je nach Prüfbedingung (2/20/200 kPa, $i=1$, weich/weich) wurden wiederum Abflusswerte von ca. 1×10^{-1} bis 7×10^{-4} l/(m x s) ermittelt. Die vertikalen Wasserdurchlässigkeiten k_v unter 2/20/200 kPa Auflast variierten hier stärker, je nach Verunreinigung des Deckgeotextils des Geoverbundstoffes lagen die Werte im Bereich von 10^{-4} bis 10^{-5} m/s im verunreinigten Bereich und im Bereich von 10^{-2} bis 10^{-4} m/s im nicht durch Schotterabrieb verunreinigten Bereich.

7. Geokunststoff-Kolloquium

Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

M.Sc. Steffen Großmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, Henning Ehrenberg, NAUE GmbH & Co. KG



In zusätzlichen Untersuchungen am durch Schotterabrieb verunreinigten Bereich zeigte sich für das Deckgeotextil (Vliesstoff) jedoch immer noch eine um den Faktor 10 höhere Durchlässigkeit als für das Trägergeotextil (Vliesstoff-/Gewebe Kombination), wodurch sichergestellt ist das auch nach 12,5 Millionen Lastwechseln in Zusammenhang mit der hohen horizontalen Durchlässigkeit/Dränfähigkeit des Geoverbundstoffes, eintretendes Oberflächenwasser bevorzugt seitlich unterhalb des Schotterkörpers/oberhalb des Unterbaus abgeführt wird.

3.3 Untersuchungen im Schotterkasten zur Dauerbeständigkeit

Die Untersuchungen im Schotterkasten dienen der Simulation der Auflagerbedingungen bei einem harten Auflager, wie sie Brücken und auch Bahnhofsbereiche darstellen. Dieser Versuch wurde unter folgenden Randbedingungen durchgeführt. Abbildung 7 zeigt den Prüfaufbau.

Geometrie:

- Prüfkörper: 1000 x 1000 mm
- Untergrund: Betonplatte
- 30 cm Gleisschotter
- Lastplatte mit 600 mm Durchmesser

Lasten:

- 10 Mio. Lastwechsel mit $\sigma_0 = 0,275 \text{ MN/m}^2$
- 2,5 σ Mio. Lastwechsel mit $\sigma_0 = 0,366 \text{ MN/m}^2$

Auswertung:

- statischer Bettungsmodul
- dynamischer Bettungsmodul
- Beurteilung des Zustandes des Geoverbundstoffes



Abbildung 7: Versuch im Schotterkasten

Der Verlauf der in Abbildung 8 dargestellten statischen und dynamischen Bettungsmoduln bestätigt die Ergebnisse des Versuchs in der Prüfgrube auch für die harten Auflagerbedingungen dieses Versuches. In der visuellen Begutachtung nach 12,5 Mio. Lastwechseln wurden keine Beschädigungen festgestellt, die zu Einschränkungen in den Funktionen des Geoverbundstoffes geführt hätten.

7. Geokunststoff-Kolloquium

Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleisschotter bei Eisenbahnstrecken

M.Sc. Steffen Großmann, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz, GEPRO Ingenieurgesellschaft für Geotechnik, Henning Ehrenberg, NAUE GmbH & Co. KG

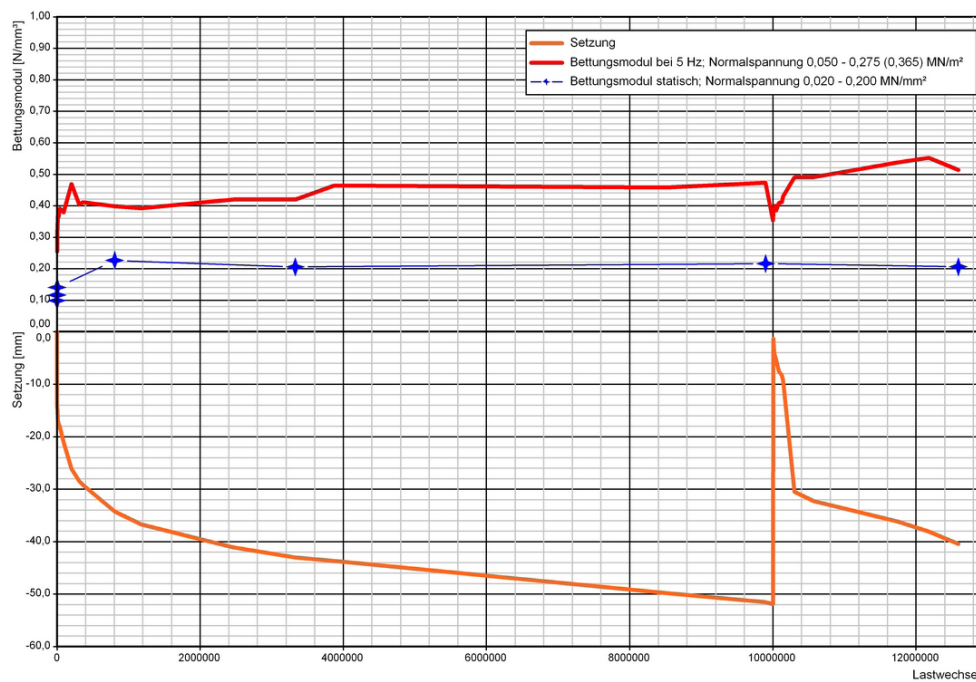


Abbildung 8: Setzung der Lastplatte und Bettungsmoduln im Schotterkastenversuch

4 Zusammenfassung

Von der NAUE GmbH & Co KG wurden 3 Geoverbundstoffe einer neuartigen Unterschottermatte für den Einsatz im Eisenbahnunterbau für Untersuchungen zur prinzipiellen Eignung zum Einsatz auf den Erdbauwerken der Bahn hergestellt. An diesen Geoverbundstoffen wurden erste Untersuchungen zur Eignung und zur Dauerbeständigkeit durchgeführt.

Diese Untersuchungen zeigten unter Laborbedingungen, dass die neuartige Geoverbundstoff einerseits bei einem harten Untergrund zusätzliche Elastizität in das System des Fahrweges einbringt und gleichzeitig eine Schutz-, Trenn- und Filter und Dränwirkung gegenüber dem Planum aufweist. Dadurch können die Auflagerungsbedingungen für den Oberbau von Eisenbahnstrecken günstiger gestaltet und die Einwirkungen im Ober- und Unterbau reduziert werden.