

EINSENMANN J. and LEYKAUF G.

Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen der Technischen Universität München, BRD

Prüfung eines Filtervlieses für den Eisenbahnoberbau**Investigation of a non-woven fabric membrane in railway track construction**

Heavily loaded railway tracks constructed on fine-grained subgrade soils require the inclusion under the ballast of a 20 - 30 cm thick graded gravelly sand filter layer, whose function is to prevent ingress of subgrade fines into the ballast. Since 1973, the German Federal Railway has been conducting field trials to investigate the possibility of replacing these natural filters by non-woven fabrics.

The Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen of the Munich Technical University was commissioned by Deutsche ICI GmbH to undertake a laboratory investigation of the function of TERRAM non-woven fabric in comparison to conventional graded filters. To this end two extended swelling tests were carried out, each with over 3 million load repetitions in a steel box of base size 130 x 130 cm. The two different systems (fabric and conventional) were constructed on a 30 cm thick saturated subgrade of very fine particle size and covered with 30 cm thick ballast layer. To simulate the effect of traffic loading, ballast loadings shown in theoretical investigations to occur under field conditions were generated by a 60 cm diameter loading plate at a frequency of 3 Hz. To simulate the oscillations occurring under field conditions a vibrator was also installed on the loading plate. The penetration of the loading plate and the deformation of the subgrade were registered by dial gauges.

These extended tests showed that a non-woven fabric can prevent upward movement of fines in a manner similar to a conventional graded filter layer. The fabric withstood the imposed loading, which resulted in considerable plastic deformation of the subgrade, without damage. A favourable "reinforcement effect" was also observed; the use of the fabric consequently offers an additional safety factor opposite the conventional system, especially on subgrades of low bearing capacity or where track loading is high. Under the same assumptions higher load-bearing values are obtainable on top of the ballast when the fabric is incorporated. This means that the load distributing effect of the layer above the fabric is improved, leading to a reduction in compressive stresses in the subgrade.

PLANUMSSCHUTZ IM EISENBAHNOBERBAU

Zur Reduzierung der Untergrundbeanspruchung sowie zur Erzielung eines frostsicheren Ausbaues beim Eisenbahnoberbau ist die Anordnung einer Planumsschutzschicht unter dem Schotterbett erforderlich. Die Dicke dieser Planumsschutzschicht kann in Abhängigkeit von den verschiedenen Gleisparametern (Schienenprofil, Schwellenabmessungen, Schwellenabstand, Schotterbettdicke), dem Verformungsmodul des Untergrundes sowie den hydraulischen Verhältnissen im Untergrund dimensioniert werden [1]; der Aufbau der Planumsschutzschicht ist abhängig von der Bodenart des Untergrundes. Im Hinblick auf die Frostsicherheit sollte der untere Teil der Planumsschutzschicht weniger als 5 Gew.-% an Korn unter 0,063 mm enthalten, andererseits jedoch nach der Filterregel aufgebaut sein, um ein Hochsteigen des möglicherweise aufgeweichten Erdplanums (dieser Zustand

stellt sich insbesondere in Ländern mit Frost während der Tauperiode im Frühjahr ein) in den Schotter zu verhindern. Bei Vorliegen von Tonböden kann diese Filterregel nur durch einen sog. Stufenfilter mit 2 Lagen eingehalten werden, wobei die untersten 10 cm durch Feinsand mit Schluffanteil und die darüberliegende Schicht von ca. 20 cm Dicke mit Kiessand auszubilden sind. Die Herstellung dieses Stufenfilters ist sehr aufwendig und betriebsstörend. Bei der Deutschen Bundesbahn werden deshalb zur Lösung dieses Problems zunehmend Versuche mit Kunststoff-Filtervliesen unternommen, die auf das Erdplanum aufgelegt werden, wasserdurchlässig sind, jedoch die feinen Bodenteilchen zurückhalten [2]. Ein vollständiger Ersatz der Planumsschutzschicht kann durch diese Vliese jedoch nicht erfolgen, denn im Hinblick auf die Frostsicherung sowie auf eine ausreichende Lastausstrahlung im Oberbau (Reduzierung der Untergrundbean-

spruchung!) sowie im Hinblick auf einen Schutz des Vlieses bei direkter Auflagerung des Schotterbettes, insbesondere bei Einwirkung von Stopfmaschinen, ist eine, allerdings reduzierte Schichtdicke von 10 bis 20 cm erforderlich.

Im Auftrag der Deutsche ICI GmbH sollte das von ihr entwickelte TERRAM-Filtervlies aus synthetischen Fasern am Prüfamt für Bau von Landverkehrswegen der TU München hinsichtlich seiner Eignung für diese Problemlösung untersucht werden. In einer vergleichenden Prüfung sollte zunächst das konventionelle System (Versuch 1) und im Anschluß daran unter gleichen Bedingungen das System mit Vlies (Versuch 2) unter Dauerschwellbelastung geprüft werden.

VERSUCHSAUFBAU

Die beiden Systeme wurden in dem in Abb.1 dargestellten Versuchsaufbau getestet. In dem Stahlbehälter mit der Grundfläche 130 x 130 cm, Höhe 70 cm, wurde ein für den geplanten Anwendungsfall sehr ungünstiger Untergrund (Abb.2), ein leicht toniger, stark sandiger Schluff (Auelehm) mit einer Schichtdicke von 30 cm eingebaut. Die Proctordichte beträgt $1,75 \text{ t/m}^3$, der optimale Einbauwassergehalt $w_p = 17,5 \%$. Beim Einbau wurde nur ein Verdichtungsgrad von knapp über 90 % erzielt, der Wassergehalt lag im Mittel bei 24,5 %.

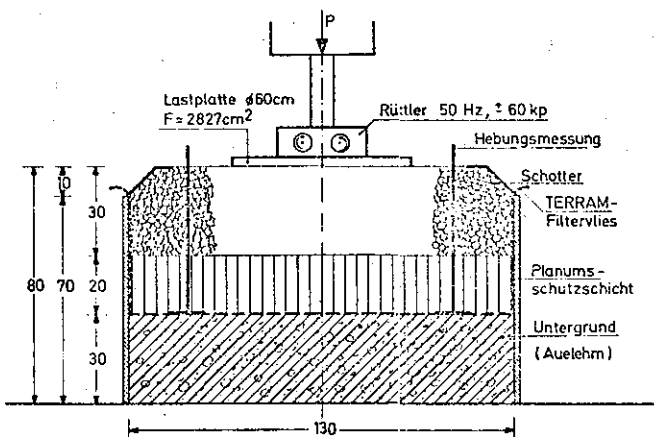


Abb.1: Versuchsaufbau

Über dem Untergrund wurde in beiden Versuchen die Planumsschutzschicht in gleicher Schichtdicke von 20 cm eingebaut; die gleiche Schichtdicke beim System mit Vlies wurde im Hinblick auf gleiche Verhältnisse bezüglich der Lastausstrahlung gewählt. Die Körnungslinie der Planumsschutzschicht ist aus Abb.2 ersichtlich. Die erreichte Verdichtung betrug 101 %, der Wassergehalt lag im Mittel bei 6,0 %. Ein auf Oberkante Planumsschutzschicht durchgeführter Lastplattenversuch erbrachte bei Versuch 1 einen Verformungsmodul von $E_{v2} = 10,7 \text{ N/mm}^2$, das Verhältnis E_{v2}/E_{v1} ergab sich zu 1,41. Aus diesem niedrigen Verformungsmodul gehen die sehr ungünstigen Randbedingungen für den

Versuch hervor. Über der Planumsschutzschicht wurde Schotter der Körnung 1 in einer Schichtdicke von 30 cm angeordnet. Das im Versuch 2 verwendete Filtervlies wurde halbseitig mit einem Gewicht von $2,8 \text{ N/m}^2$ bzw. mit einem Gewicht von $4,0 \text{ N/m}^2$ eingebaut; der Überlappungsstoß wurde auf eine Breite von 3 cm verklebt. Durch diese schmale Nahtstelle war zu erwarten, daß die Versuchsergebnisse nicht beeinflusst würden.

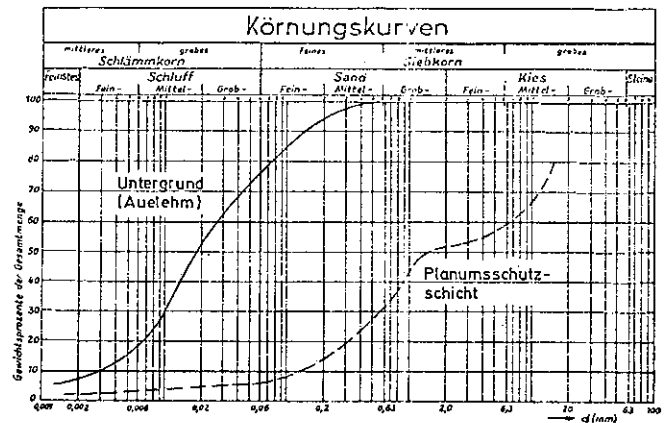


Abb.2: Körnungslinien des Untergrundes und der Planumsschutzschicht

Zur Simulation der Verkehrslasteinwirkung wurden über eine auf O.K. Schotterbett angeordnete Lastplatte, $\phi 60 \text{ cm}$, bei einer Prüffrequenz von 3 Hz Kräfte entsprechend den Schotterpressungen im Betriebsgleis eingeleitet. Die Fläche der Lastplatte ist identisch mit der Auflagerfläche einer halben Schwelle. Die Prüffrequenz von 3 Hz entspricht in Abhängigkeit von den Gleisparametern sowie Achsabstand und Achsfolge einer Zuggeschwindigkeit von 40 bis 120 km/h. Zur Simulation der im Betriebsgleis auftretenden Schwingungen, die insbesondere im Frequenzbereich zwischen 40 und 80 Hz besonders energiereich sind, wurde auf O.K. Lastplatte zusätzlich ein Unwuchtschwinger aufgesetzt, der bei einer Frequenz von 50 Hz arbeitet und dabei Fliehkräfte von $\pm 0,60 \text{ kN}$ erzeugt. Mittels 4 Meßuhren (Meßgenauigkeit $1/100 \text{ mm}$) wurde die Einsenkung der Lastplatte gegenüber dem Stahlbehälter registriert; zusätzlich wurde über drei Meßfühler, die mittels einer Feder unter leichtem Druck auf O.K. Untergrund aufgesetzt waren (Abb.1), die Verformung des Untergrundes in einem Abstand von 65 cm von der Lastachse registriert.

Über die Lastplatte sollten in verschiedenen Versuchsphasen Schotterpressungen erzeugt werden, wie sie im Betriebsgleis bei verschiedenen Oberbaukonstruktionen auftreten. In einer theoretischen Untersuchung [1] wurden diese Maximalwerte für eine Einzelachse mit 20 t und einem guten Oberbauzustand (Variationskoeffizient $\xi = 0,2$) berechnet, wobei für den Geschwindigkeitsbeiwert $\psi = 1,43$ ($v = 120 \text{ km/h}$) gesetzt wurde. Für die Berechnung der Schotterpressungen wurde dabei von einer 99,7-%igen Sicherheit ausge-

gangen. Aus Abb.3 ist ersichtlich, daß in Abhängigkeit von den verschiedenen Gleisparametern die maximalen Schotterpressungen zwischen 0,19 N/mm² und 0,35 N/mm² schwanken.

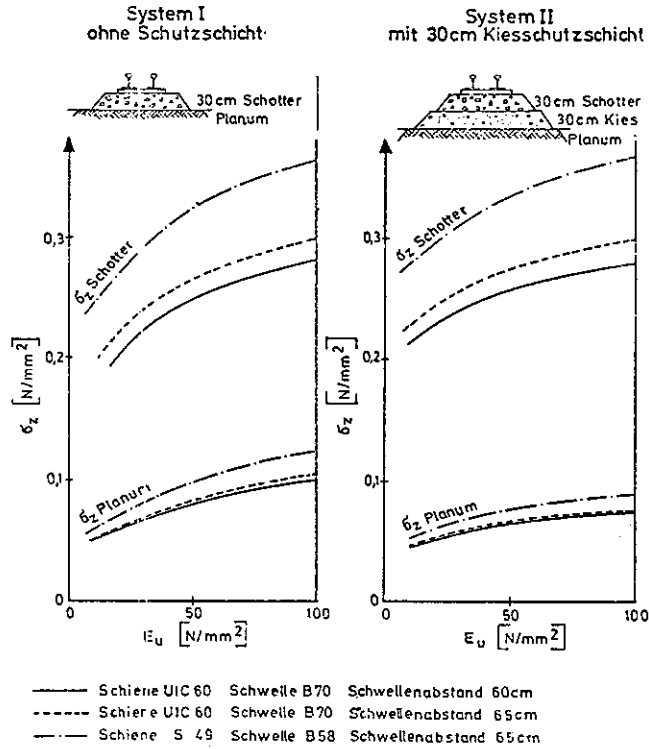


Abb.3: Maximale Schotter- und Untergrundpressungen σ_z für verschiedene Oberbaukonstruktionen

VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND ERGEBNISSE

In vier verschiedenen Versuchsphasen wurden bei beiden Versuchen mehr als 3 Mio Lastwechsel aufgebracht, wobei in den Versuchsphasen 1 bis 3 praxisnahe Schotterpressungen erzeugt wurden ($\sigma = 0,20$ bis $0,32$ N/mm²); in Versuchsphase 4 wurden die Schotterpressungen auf $\sigma = 0,50$ N/mm² bis $0,71$ N/mm² erhöht, entsprechend dem ungünstigsten Wert unter Achsfahrmassen von 30 bis 40 t. Bei Versuch 2 (System mit Vlies) wurde zusätzlich eine 5. Versuchsphase mit 1,38 Mio Lastwechseln durchgeführt, wobei der Dauerschwellversuch nach dem Abheben des Schotters mit erhöhten Kontaktdrücken auf Oberkante Planumsschutzschicht fortgeführt wurde.

Bei Zugrundelegung eines stark belasteten Betriebsgleises mit 47 000 Lt/Tag entsprechen die knapp über 3 Mio Lastwechsel der Versuchsphasen 1 bis 4 bei beiden Versuchen einer Betriebsbelastung von ca. 5 Jahren. Dabei wurde von einer gleichbleibenden Achsfahrmasse von 20 t ausgegangen. Bei Berücksichtigung der in der Praxis wesentlich niedrigeren mittleren Achsfahrmasse sowie der engen Achsabstände bei Drehgestellen, die sich übertragen auf den Versuch wie Übergänge von Einzel-

achsen auswirken, entspricht die aufgebrachte Belastung etwa einem Zeitraum von 10 bis 15 Betriebsjahren. Bei Versuch 2 entsprechen die zusätzlichen 1,38 Mio Lastwechsel der Versuchsphase 5 mit Prüfkraften, wie sie unter Achsfahrmassen von über 50 t ungünstigstenfalls auftreten, weiteren 5 bzw. bei Berücksichtigung der in der Praxis vorliegenden Betriebsbedingungen 10 Betriebsjahren.

Während der Versuchsphasen 1 bis 3 trat unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Randbedingungen (bei Versuch 2 lag anfänglich infolge besserer Verdichtung eine größere Untergrundsteifigkeit vor, die zu einer stärkeren Druckbeanspruchung des Schotters in den unteren Zonen führt; weiter wurde durch die Auskleidung des Stahlbehälters mit dem Vlies im Vergleich zum Versuch 1 eine Kornumlagerung im Schotterbett begünstigt) bei beiden Versuchen ein ähnliches Verformungsverhalten auf. Die Zugabe von Wasser während der Versuchsphase 3 bewirkte jeweils eine verstärkte Einsenkung der Lastplatte, mit zunehmender Lastwechselzahl zeigten die Meßwerte jedoch einen asymptotischen Verlauf.

Bei der Untersuchung des Untergrundes am Ende der Versuchsphase 3 zeigte sich bei beiden Versuchen, daß durch die erfolgte Wassergabe kein Aufweichen des Untergrundes stattgefunden hat. Der größte Teil des Wassers ist offensichtlich vom Schotter und der Planumsschutzschicht aufgenommen worden. Die während des Versuches 2 im Bereich der Meßfühler auf dem Untergrund registrierten bleibenden Verformungen waren kleiner als beim Versuch 1; im wesentlichen war hierfür die bessere Verdichtung des Untergrundmaterials bei Versuch 2 maßgebend, zum Teil wirkt sich jedoch offensichtlich ein "Bewehrungseffekt" des Filtervlieses aus. Bei der augenscheinlichen Beurteilung der Planumsschutzschicht am Ende der Versuchsphase 3 konnte beim Versuch 1 kein Eindringen von Untergrundmaterial in die Planumsschutzschicht festgestellt werden. Bei Versuch 2 wurde auf der Oberseite des Vlieses eine bräunliche Einfärbung festgestellt, ein Anzeichen dafür, daß Feinkorn vom Untergrundmaterial in das Vlies hochgestiegen ist; ein Unterschied im Verhalten der beiden Vlieshälften mit einem Gewicht von 2,8 N/m² bzw. von 4,0 N/m² konnte nicht festgestellt werden.

Zu Beginn der Versuchsphase 4 kann davon ausgegangen werden, daß bei beiden Versuchen nahezu vollkommen gleiche Bedingungen vorgelegen haben: der Untergrund war durch die vorangegangenen Versuchsphasen in beiden Versuchen annähernd gleich gut verdichtet, der Handeinbau der Planumsschutzschicht und des Schotters erfolgte unter den gleichen Bedingungen. Trotzdem wurde beim Versuch 2 zu Beginn des Dauerschwellversuches mit $E = 33,3$ N/mm² ein um 66 % größerer Sekanten-Modul beim Belastungsversuch mit der 60 cm-Lastplatte auf O.K. Schotterbett gemessen. Dies kann demnach nur auf den Einfluß des Vlieses zurückgeführt werden.

Beim Dauerschwellversuch mit den sehr hohen Schotterpressungen zeigten sich anfänglich bei Versuch 1 Anzeichen eines Grundbruches, das Gesamtsystem stabilisierte sich jedoch wieder. Allerdings wies die Einsenkung der Lastplatte mit zunehmender Lastwechselzahl keinen asymptotischen Verlauf mehr auf (Abb.4). Demgegenüber war beim Versuch 2 ein besseres Verformungsverhalten des Gesamtsystems zu beobachten: geringere bleibende Einsenkungen der Lastplatte sowie ein annähernd asymptotischer Verlauf der Meßwerte mit zunehmender Lastwechselzahl; im Bereich der Meßfühler auf dem Untergrund zeigt sich eine wesentlich größere Schwingbreite, entsprechend einer höheren Elastizität des Untergrundes, offensichtlich zurückzuführen auf den "Bewehrungseffekt" des Filtervlieses. Nach dem Abheben des Schotters lag auf O.K. Planumsschutzschicht beim Versuch 1 eine Verformungsmulde von maximal 75 mm Tiefe vor, beim Versuch 2 hatte die Verformungsmulde eine maximale Tiefe von nur 60 mm. Beim anschließenden statischen Belastungsversuch auf O.K.

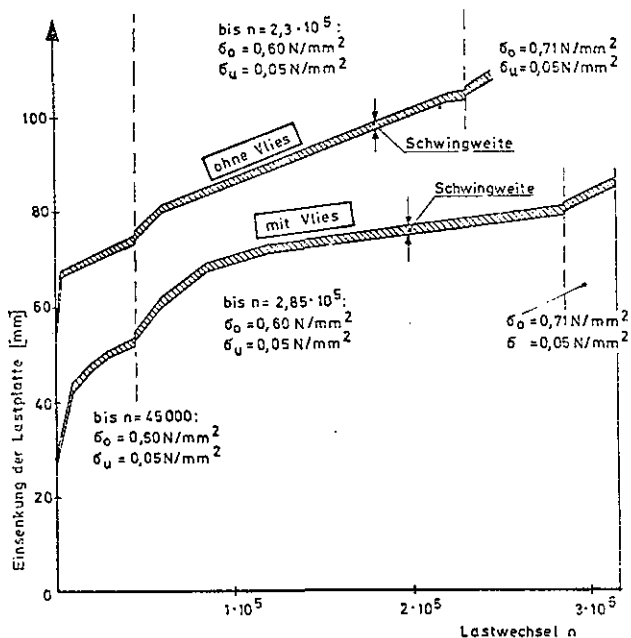


Abb.4: Einsenkung der Lastplatte auf O.K. Schotter während der Versuchsphase 4 mit unterschiedlichen Schotterpressungen σ_0

Planumsschutzschicht mit einer Lastplatte, ϕ 60 cm, wurden beim Versuch 1 bei einer Flächenpressung von $0,82 \text{ N/mm}^2$ ausgeprägte Grundbruchanzeichen registriert, beim Versuch 2 konnte trotz einer erhöhten Flächenpressung von $0,93 \text{ N/mm}^2$ kein eindeutiger Grundbruch erzeugt werden. Hieraus geht ebenfalls der "Bewehrungseffekt" des Filtervlieses hervor, der sich beim Versuchsaufbau insbesondere bei hohen Beanspruchungen auswirkt. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß infolge der relativ kleinen Abmessungen des Stahlbehälters die Randeinspannung des Vlieses erst bei

großen Verformungen des Untergrundes wirksam wird; im Betriebsgleis ist zu erwarten, daß sich infolge der besseren, flächenhaften Einspannung durch Reibung der Bewehrungseffekt bereits bei niedrigeren Beanspruchungen des Fahrbahnaufbaus günstig auswirkt.

Beim Versuch 1 konnte beim Abheben der Planumsschutzschicht lediglich in den untersten Millimetern eine leichte Brauneinfärbung der Kiessandschicht festgestellt werden, jedoch kein Hochsteigen von Feinteilchen des Bodens in die Planumsschutzschicht. Hieraus geht die Wirksamkeit dieses konventionellen Systems hervor, womit die Ergebnisse in der Praxis bestätigt werden.

Beim Versuch 2 wurde zur Verschärfung der Prüfbedingungen die Versuchsphase 5 angeschlossen; trotz der beim Dauerschwellversuch auf O.K. Planumsschutzschicht gewählten Kontaktdrücke von $p_{0K} = 0,56 \text{ N/mm}^2$, die im Betriebsgleis Achsfahrmassen von über 50 t entsprechen und trotz der starken Wasserzugabe trat kein Grundbruch auf. Nach dem halbseitigen Ausbau der Planumsschutzschicht wurde in den untersten ca. 4 Millimetern des Kiessandes eine leichte Brauneinfärbung festgestellt. Die Bestimmung der Kornverteilungslinien am Material aus diesem Bereich erbrachten eine geringe Zunahme des Schlämmskorns gegenüber dem Ausgangsmaterial; ob die Unterschiede signifikant sind, kann jedoch nicht angegeben werden. Ein unterschiedliches Verhalten der beiden Vliesarten mit $2,8 \text{ N/m}^2$ und $4,0 \text{ N/m}^2$ Gewicht wurde nicht festgestellt. Das Vlies wies beim Ausbau keinerlei mechanische Beschädigungen auf, wobei zu berücksichtigen ist, daß im Untergrund eine Verformungsmulde von maximal 54 mm Tiefe vorlag. Nach dem Abheben des Vlieses wurde auf Oberfläche Untergrund eine leicht rötliche Einfärbung festgestellt; hieraus geht hervor, daß auch Feinstteile des Kiessandes durch das Vlies gewandert sind.

Zusammenfassend geht aus den Versuchen hervor, daß die Verwendung dieses Filtervlieses insbesondere bei sehr starken Gleisbelastungen bzw. bei wenig tragfähigem Untergrund infolge des festgestellten "Bewehrungseffektes" eine zusätzliche Sicherheit gegenüber dem konventionellen System bietet. Unter gleichen Voraussetzungen sind beim Einbau des Vlieses auf O.K. Schotterbett höhere Verformungsmoduln zu erzielen; dies bedeutet, daß die Lastverteilung der über dem Vlies liegenden Schichten verbessert wird, was zu einer Verkleinerung der Bodendruckspannungen führt. Zum anderen folgt hieraus, daß im Vergleich zum konventionellen System die Dicke der über dem Vlies liegenden Planumsschutzschicht reduziert oder, bei gleicher Dicke, eine ungünstigere Kornabstufung gewählt werden kann, ohne daß hierdurch der Verformungsmodul des Gesamtsystems verschlechtert wird. Die genauere Erforschung der Auswirkung dieses "Bewehrungseffektes" erfordert die Durchführung von Großversuchen unter Verwendung eines Gleisrostes bei wieder-

holter Belastung. Besondere Bedeutung kommt hierbei der zugfesten Ausbildung des Überlappungsstoßes zu.

Bezüglich der Filterwirkung ist bei dem vorliegenden Untergrundmaterial offensichtlich das niedrigere Vliesgewicht von $2,8 \text{ N/m}^2$ ausreichend. Hierbei muß berücksichtigt werden, daß es bei beiden Versuchen trotz der erheblichen Wasserzugabe nicht möglich war, das Untergrundmaterial aufzulösen. Dies ist u.a. auf die während der Dauerschwellversuche erreichte hohe Verdichtung des Bodens und der damit verbundenen Herabsetzung der Wasserdurchlässigkeit zurückzuführen.

Literatur:

- [1] Eisenmann J., Schneider E.:
Untersuchung verschiedener Planumschutzschichten für den Schotteroberbau
ETR (24) 4/1975
- [2] Martinek, Igl, Raab.:
Kunststoff-Filter - ein neuer Baustoff
Eisenbahningenieur 27 (1976) 2