

Entwicklung von Schutzschichten mit Geokunststoffen

Prof. Dr.-Ing. Klaus Lieberenz
 em. Professor HTW Dresden,
 Gepro Ingenieurgesellschaft Dresden
 Franz Piereder
 ehemals Leiter der Gleisbaumaschineneinsätze,
 ÖBB Direktion Linz

1 Aufgaben von Schutzschichten

Trag- bzw. Schutzschichten im Eisenbahnbau sind ein auf das Planum aufgebrachtes Schichtsystem, das mit seiner Wirkung den anstehenden Boden vor schädlichen Verformungen und Frosteinwirkungen schützt. Die Verformungen sind dabei abhängig von den einwirkenden Spannungen aus dem Eisenbahnverkehr, den Eigenverformungsmoduln des Unterbaues/Untergrundes sowie der Tragschichten und den Schichtdicken im Tragsystem. Für die Frosteinwirkungen sind die frostsichere Dicke und die Wärmedämmwerte maßgebend. Typisch für Eisenbahnstrecken ist, dass sowohl die Einwirkungen aus dem Verkehr als auch die Widerstände im Tragsystem und Boden stark schwanken und von den verkehrenden Zügen, von der Fahrgeschwindigkeit, vom Oberbauzustand und vom durch die Witterung beeinflussten Zustand von Unterbau/Untergrund abhängig sind.

Da der Bahnkörper ungeschützt den jahreszeitlich stark wechselnden Witterungseinflüssen ausgesetzt ist, unterliegen die Verformungsmoduln im Tragsystem starken Schwankungen. So treten insbesondere unter den dynamischen Belastungen an

Eisenbahnfahrbahnen Kornumlagerungen, Durchdringungen, Wasseranreicherungen und Verformungen auf. Diese Schäden am Unterbau/Untergrund treten ein, wenn zulässige Verformungen auf Grund mangelnder Dichte und Verformungsmodul des Bodens bzw. fehlender Frostsicherheit (insbesondere hohe Verformbarkeit in der Frühjahrs-Tauperiode) überschritten werden und die Filterstabilität in Grenzschichten nicht eingehalten wird.

Schutzschichten sollen im Tragsystem

- das Planum durch ihre lastverteilende Wirkung vor zu hohen Spannungen aus der Verkehrsbelastung schützen (Aufgabe als Tragschicht),
- im Planum anstehende frostempfindliche Böden vor den schädlichen Wirkungen des Frostes schützen (Aufgabe als Frostschutzschicht),
- eine Vermischung des Bettungsschotters mit den im Planum anstehenden Böden verhindern (Aufgabe als Trenn- und Filterschicht),
- das Oberflächenwasser weitestgehend von einem wasserempfindlichen bindigen Untergrund fernhalten (Aufgabe als Versiegelungs- bzw. Dichtungsschicht),
- aufsteigendes Bodenwasser aufnehmen und im Quergefälle zur Entwässerung abführen (Aufgabe als Dränschicht) und
- zur notwendigen elastischen Einfederung des Tragsystems Oberbau/Unterbau beitragen (Aufgabe als Feder- und Dämpfungsschicht).

Schutzschichten werden aus Korngemischen hergestellt und können durch Zu-

satzmaßnahmen aus Geokunststofflagen, Wärmedämmplatten, Unterschottermatten sowie Übergangs- oder Bodenverbesserungsschichten in ihrer Wirksamkeit verbessert oder ergänzt werden.

Mit Geokunststoffen können zusätzliche oder verstärkt trennende, filternde, dränende, bewehrende, abdichtende, dämmende und/oder dämpfende Wirkungen erzielt werden.

Der Einbau von Schutzschichten kann gleislos oder gleisgebunden erfolgen, dabei werden sowohl an die Schutzschichtmaterialien als auch an den Einbau und die Verdichtung hohe Anforderungen gestellt [1].

2 Entwicklung der Bodenverbesserung

Der Boden hat als Baustoff und Baugrund bestimmte Defizite. Er kann in Abhängigkeit seiner Kornzusammensetzung und seines Wassergehaltes bei Belastung verformt werden, kann nur sehr begrenzt Scher- und Zugkräfte aufnehmen und lagert sich bei hydraulischer und/oder dynamischer Belastung wegen fehlender Strukturstabilität um. Unsere Vorfahren haben deshalb schon mit Schilf, Stroh, Faschinen u. a. befestigt, getrennt, gefiltert und dräniert. Der Boden wurde also mit Naturmaterialien in seinen bautechnischen Eigenschaften verbessert. So berichtet Pfahl in [2] über den versuchsweisen Einbau von Spreitlagen und Faschinen unter dem Schotterbett bei sehr

schlecht tragfähigen Böden (Abb. 1). In [3] wurde die Entwicklung der Unterbauanierung dargestellt und grundsätzliche Ausführungen zur Bodenverbesserung gemacht. Die Bodenbehandlung mit Bindemitteln begann ab 1920 in den USA im Straßen- und Flugplatzbau und gewann ab 1930 in Deutschland beim Autobahnbau an Bedeutung. Bei den Bahnen wurde sie erst nach 1950 erprobt und zur Verbesserung und Verfestigung bindiger Böden im Planum eingesetzt. Ab 1970 begannen zunehmend die Erprobung und der Einsatz von Geotextilien zur Verbesserung von Böden. Im Kontakt mit dem Boden wurden anfangs insbesondere die flächenhafte, dünne, strukturstabile und gleichmäßige Ausbildung, das Verformbarkeitsvermögen, das Kornrückhaltevermögen bei gleichzeitiger Wasserdurchlässigkeit, die geringe Flächenmasse und das spezielle Festigkeits- bzw. Dehnungsverhalten der Vliesstoffe genutzt. Erste Ergebnisse im Straßenbau stellte Brandl in [4] vor, diese wurden in Abb. 2 charakterisiert.

Im Zusammenwirken von Textil- und Bauingenieuren wurde nachfolgend eine Vielfalt von textilen Strukturen mit unterschiedlichen Eigenschaften für verschiedenste Funktionen und Anwendungen entwickelt. Heute können je nach Aufgabe im Boden gezielt bestimmte Strukturen und Faserstoffe ausgewählt werden. Die Nutzung der Geokunststoffe stellt eine Fortsetzung der

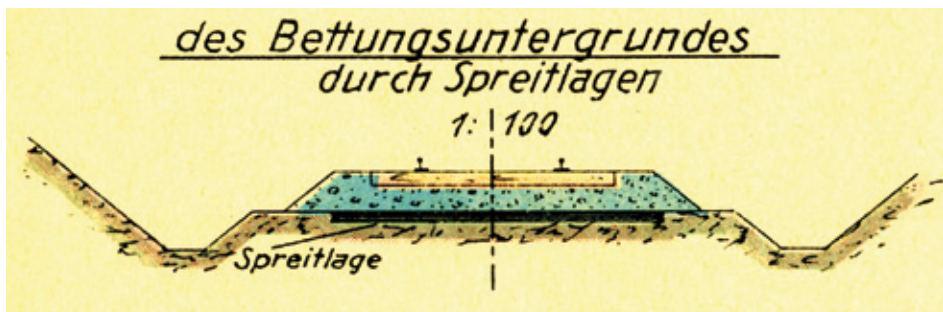


Abb. 1: Spreitlagen zur Bodenverbesserung

Erste Anwendungen Vliesstoffe ÖIAV 1977

(BRANDL, Vliese im Tiefbau)

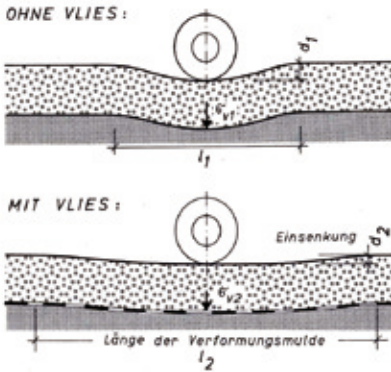


Abb. 5 „Bewehrungs“-Wirkung des Vlieses: Einfluß auf das Spannungs-Verformungsverhalten der ungebundenen Schichten einer Verkehrsfläche.

- Größere Verformungsmulde
- Bessere Lastverteilung
- Geringere Bodenspannung

1977

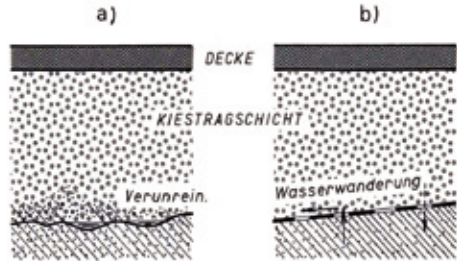


Abb. 6 Vliese als Trenn- und Filterschicht.

- klare Schichtentrennung
- kein „Hochpumpen“ von Körnern
- Aufsteigen des Porenwassers

Abb. 2: Wirkung von Vliesstoffen unter Tragschichten nach Brandl 1977

alten natürlichen Bauweisen mit unseren heutigen technischen Mitteln dar. Geokunststoffe, die als Zusatzmaßnahme in das Schichtsystem eingebaut werden, müssen zum Abbau von Spannungen und Verformungen beitragen und die Eigenschaften der eingebauten Korngemische verbessern und langfristig erhalten.

3 Charakteristik der Geokunststoffe

Zu Beginn dieser Entwicklung wurden fast ausschließlich Vliesstoffe eingesetzt, die als Trenn- und Filterelement auf dem Erdplanum zwischen dem anstehendem Untergrund und der Schutzschicht verlegt worden sind. In der Folgezeit wurden andere Strukturen wie Gewebe und Geogitter entwickelt und hergestellt, die hohe Zugkräfte bei geringer Dehnung aufnehmen können. Es entstanden die hochzugfesten Geokunststoffe, die als „Bewehrungen“ in Erdbauwer-

ken – vergleichbar mit Stahlbewehrungen im Beton – eingesetzt werden konnten. Inzwischen wurde eine Vielfalt von Geokunststoffen für unterschiedliche Anwendungen entwickelt.

Die Arten und Marktformen von Geokunststoffen sind in Abb. 3 nach [1] zusammengestellt. Geokunststoffe sind Geotextilien, Geogitter oder gitterähnliche Produkte und Dichtungsbahnen, die vollständig oder zu wesentlichen Teilen aus polymeren Werkstoffen hergestellt sind und in der Geotechnik zum Einsatz kommen. Geotextilien sind aus Faserstoffen hergestellte Vliesstoffe, Gewebe und Gewirke bzw. Maschenwaren. Geogitter können entsprechend ihrer Herstellung aus synthetischen Faserstoffen, Bändern oder Kunststoffen in gestreckte, gewebte oder gelegte Geogitter unterteilt werden. Dichtungsbahnen sind wasserundurchlässig bzw. gering wasserdurchlässig und werden aus Kunststoff oder mit in Geo-



Abb. 3: Arten und Marktformen von Geokunststoffen

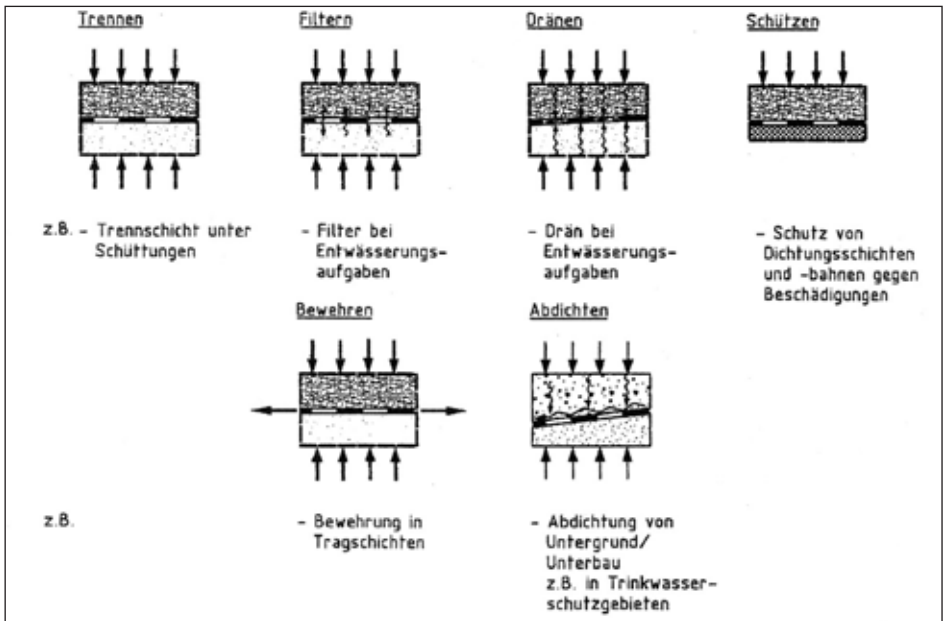


Abb. 4: Funktionen von Geokunststoffen

textilien fixierten Quellmitteln als Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) und Geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD) hergestellt. Mehrere Arten von Geokunststoffen können miteinander oder mit Zusatzstoffen zu Verbundstoffen kombiniert werden.

Aus den Aufgaben im Boden leiten sich bestimmte Funktionen der Geokunststoffe und daraus Produkteigenschaften ab. Im Tragsystem des Eisenbahnbaues stehen dabei die Funktionen nach Abb. 4 im Vordergrund:

- Trennen,
- Filtern,
- Dränen,
- Schützen,

- Bewehren,
- Dichten.

Zur Erfüllung dieser Wirkungen sind bestimmte Produkteigenschaften wie Dicke und Masse pro Flächeneinheit, Öffnungsweite und Wasserdurchlässigkeit gefordert. Soll stärker bewehrt werden, so müssen zusätzlich Verformungen behindert werden und das Zugkraft-Dehnungsverhalten Geokunststoff-Boden wird wichtig. Insbesondere mit den Verbundstoffen aus Vliesstoffen mit zugfesten Fäden, Geweben oder Gittern stehen Produkte zur Verfügung, die eine Vielzahl von Funktionen bieten.

Die Funktion des Dichtens ist im Eisenbahnbau vorrangig als Dichtung zum



1970: Weichenbereich Bl.Fallwang E 2 (Abaw.) Fasern
Einbau von 765 m² ca 2mm starker Lukobit- Kunststofffolie zwischen 2je 10 cm starken
Sandschichten. Erfolg gut. Einen ausführlichen Erfolgsbericht legten wir am 17.11.1971 vor.

Angaben aus dem Oberbaubestand der Regionalleitung

Abb. 5: Zustand des Schichtsystems mit Folie beim Ausbau nach 28 Jahren

Schutz des Grundwassers in Wasserschutz-zonen gefragt.

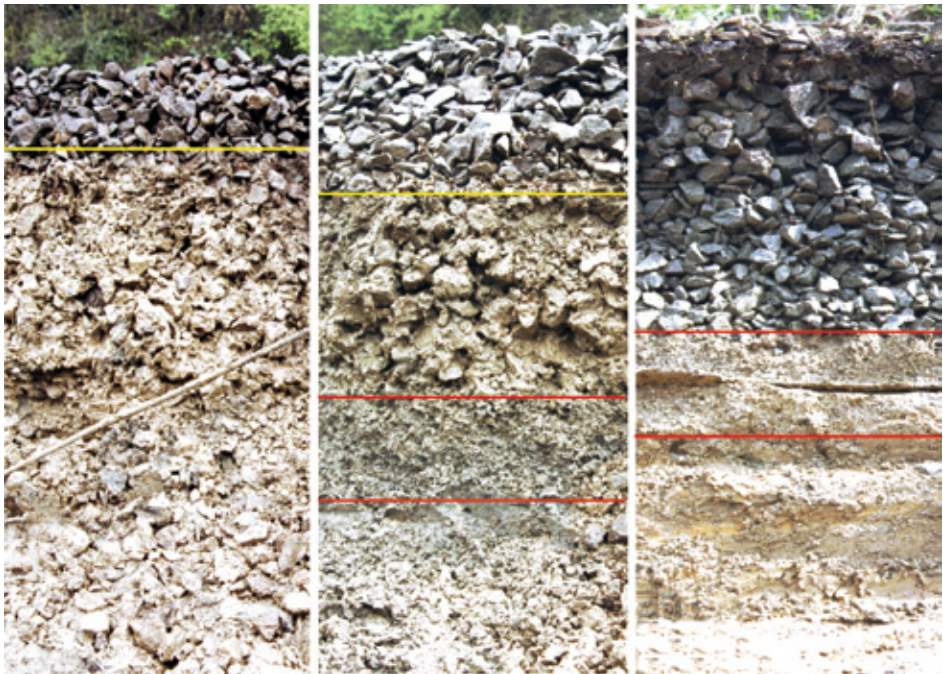
4 Entwicklung bei den ÖBB

Im Streckennetz der ÖBB wurden etwa 1970 versuchsweise anfangs Kunststofffolien und dann vermehrt Vliesstoffe eingebaut.

1970 wurde auf der Strecke Wien – Salzburg von km 310.837 – km 310.944 auf 107 m eine Planumsverbesserung (PLV) mit einer Lukobit-Kunststofffolie, bei den Weichen 1 und 2, über beide Gleise reichend, eingebaut und verschweißt. Die Lukobit-Folie lag in der Mitte von Kiessandschichten von je ca. 10 cm Stärke. Eine Verunreinigung (Verschlammung) des Schotterbettes mit aus dem Erdplanum aufsteigenden Feinteilen wie Schluff und Ton war nach 28 Jahren noch nicht ersichtlich (Abb. 5). Im Früh-

jahr 1998 wurde im Zuge des Ausbaues der Strecke zu einer Hochleistungsstrecke diese mehrlagige PLV abgetragen und durch eine 70 cm starke Kiessandschicht mit Vliesstoff ersetzt. Die positiven Erfahrungen in diesem Streckenabschnitt sind in Abb. 6 nachvollziehbar dargestellt. Die Gegenüberstellung der Bilder ohne Schutzschicht mit nahezu vollständiger Durchdringung, mit Schutzschicht und teilweiser Durchmischung sowie mit Schutzschicht und Folie und einer klaren Schichtenrennung ohne Durchmischungen macht die Vorteile für das Tragsystem, die gute Gleislage, den Qualitätsvorrat sowie die Kostenminimierung in der Erhaltung deutlich.

1970 wurde auf der Strecke Wien – Salzburg Gl. 2 im Bereich des km 274.750 bei der Ausführung der Gleisneulage mit einer Reinigungsmaschine abschnittsweise



A – ohne Schutzschicht

B – mit Schutzschicht

C – mit Schutzschicht und Folie

Abb. 6: Vergleich unterschiedlicher Schichtsysteme



Abb. 7: Zustand des Schichtsystems mit Vliesstoff oben beim Ausbau nach 27 Jahren

ein Totalaushub durchgeführt und manuell eine PLV mit ca. 15 cm Kiessand und einem 4 m breiten Vliesstoff von 350 g/m² auf den Kiessand verlegt eingebaut. Beim Umbau des Gleises 1997 zu einer Hochleistungsstrecke konnte man den Vorteil dieses PLV Systems mit klarer Schichtentrennung erkennen (Abb. 7). Erfahrungsgemäß wäre bei diesem schlechtem Erdplanum bereits nach fünf Jahren wiederum ein Totalaushub fällig gewesen. Bei diesem PLV-System hat die ÖBB die Erfahrung gemacht, dass es zweckmäßiger ist, den Vliesstoff unterhalb der Kiessandschichten zu verlegen und dass er besser entwässert, wenn er bis zum Bahngraben oder zur Entwässerung reicht.

Der nachstehende Bericht (Abb. 8) dokumentiert, dass bei den ÖBB ab 1973 generell Vliesstoffe beim Einbau von Schutzschichten verwendet wurden.

Auf der Strecke Wels – Passau traten abschnittsweise auf Grund der Untergrundverhältnisse immer wieder ausgeprägte Verschlämmungen des Schotterbettes ein, obwohl seit ca. 1956 das Schotterbett mehr-

fach maschinell ausgetauscht wurde. Die Streckenleitung Wels ordnete daraufhin 1977 an, im Gleis 2 von km 46,0 bis 46,4 in „Eigenregiearbeit der Bahnmeisterei Schärding Totalaushub für Unterbausanierung mit Vlies- und Sandeinbau“ zu realisieren. Vom 18. bis 20. November 1977 wurde eine PLV mit Vliesstoff und 10 cm Kiessandschicht eingebaut. Ein Kontrollschlitz (Abb. 9) lässt auch nach zehn Jahren Liegedauer noch keine wesentliche Verschmutzung und eine gute Schichttrennung erkennen.

1985 wurde von den ÖBB das Sandstopfverfahren eingeführt [5]. Die Schichtstärke der Schutzschicht betrug mindestens 20 cm bis maximal 40 cm und wurde immer mit Vliesstoffen auf dem Erdplanum eingebaut. 1970 wurde auf Gl 2, Oberhofen – Strasswalchen, Strecke Linz – Salzburg im Bereich Irrsberg eine Gleisneulage ohne PLV ausgeführt. Schon kurze Zeit später war das Schotterbett wiederum stark verschlammmt. 1987 wurden mit dem Sandstopfverfahren nachträglich 20 cm Kiessand verstärkt mit

Betrifft: Bericht über die Verwendung von PP-Vlies im Eisenbahnbau.

Wien, am 18.12.1973

Bei der Herstellung des Unterbauplanums für die neue Trasse der Donauländebahn und Verbindungsbahn in Wien-Retzendorf war man durch ungünstige geologische Verhältnisse (blauer Tegel und Lehm) vor das Problem gestellt, ein Aufsteigen des feinen und bindigen Materials in den darüberliegenden Gleisschotter zu verhindern.

Es standen folgende Möglichkeiten zur Diskussion:

- 1.) Einbau einer Gräderschicht von mindestens 20 cm Stärke
- 2.) Einbau einer Sperrschicht aus Bitukies in einer Stärke von 10 cm
- 3.) Verlegen von PP-Vlies und einer darüberliegenden Schüttung (Schotter 0/30) von ca. 30 cm Stärke.

Für die Wahl der Ausführung nach Punkt 3 sprach in erster Linie die Elastizität des PP-Vlieses gegenüber dem Bitukies, der auf dem weichen Untergrund vermutlich nach kurzer Zeit aufbrechen würde; darüber hinaus ist die Verlegung des Vlieses auch während der Wintermonate uneingeschränkt durchführbar, während die meisten Mischanlagen nicht in Betrieb stehen.

Betrachtet man die Kostenseite, so muß für PP-Vlies und 30 cm Sandbettung zusammen mit ca. S 85,-- je m² kalkuliert werden (eingebaut), während sich 10 cm Bitukies auf S 96,--/m² belaufen. Die Gräderschicht in einer Stärke von 20 cm würde wohl nur auf ca. S 76,--/m² eingebaut kommen, konnte aber die gestellten Anforderungen in technischer Hinsicht nicht erfüllen. Durch diesen

Abb. 8: Entscheidungsfindung für das Schichtsystem mit Vliesstoff ab 1973



Abb. 9: Kontrollschlitz aus 1987 nach zehn Jahren



Abb. 10: Zustand des Schichtsystems mit Vliesstoff nach 23 Jahren

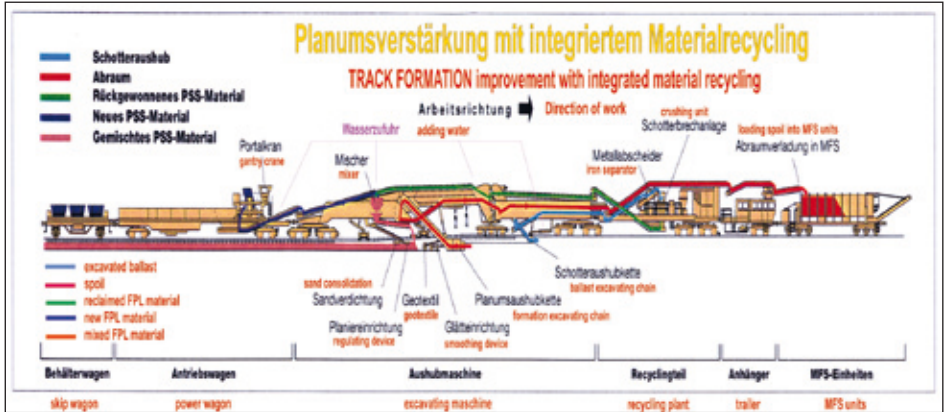


Abb. 11: Längsschnitt der AHM 800 R mit dargestelltem Materialfluss



Abb. 12: Einbauvarianten mit Geokunststoffen
 A - Vliesstoffe überlappend verlegt, B - Vliesstoff mit im Druckbereich verlegtem Geogitter, C - Vliesstoffe überlappend bis zum Randweg mit Geogitter

Vliesstoff eingebaut und die Entwässerung saniert. Prüfzeugnisse von Kontrollmessungen der Bodenprüfstelle Linz zeugten von zufriedenstellenden Verdichtungswerten mit Verdichtungsgraden von 96 bis 98% und Verformungsmoduln E_{v2} von 65 bis 128 MN/m². Nach 23 Jahren Betriebsbelastung wurde das Gleis 2010 erneut umgebaut. In Abb. 10 ist ersichtlich, dass der Vliesstoff unter dem Kiessand das Hochpumpen des lehmigen Untergrundes verhindern konnte. Im Jahre 1994 wurde bei den ÖBB die erste Recyclingmaschine AHM 800 R (Abb. 11) in Betrieb genommen [6]. Damit bestand die Möglichkeit, einen Tragschichtaufbau von zwei bis vier Lagen mit Kiessand aus Recyclingmaterial und verschiedenen Geokunststoffen in einem Arbeitsgang einzubauen. Abb. 12 zeigt mögliche Einbauvarianten. Weiterhin wurde es möglich, auf dem Erdplanum zur zusätzlichen Frostsicherung lagenweise übereinander Vliesstoffe, Hartschaumplatten und den Kiessand (Abb. 13) einzubauen.

Die angeführten Einbaumethoden können inzwischen mit allen gleisgebundenen Planumverbesserungsmaschinen der Fa. Plas-ser & Theurer realisiert werden. Zurzeit sind in Europa zwölf Planumverbesserungsmaschinen im Einsatz [7]. Dabei wurden die

Möglichkeiten des Geokunststoffeinsatzes kombiniert mit zunehmendem Materialrecycling insbesondere mit der neuesten PM 1000 URM immer ausgeprägter.

Die Erfahrungen der ÖBB beim gleisgebundenen Einbau von Tragschichten mit Geokunststoffen sind positiv und werden hier beispielhaft für viele Streckenabschnitte dargestellt. Die Verdichtung erfolgt zum Zeitpunkt des Tragschichteinbaues mit hoher Gleichmäßigkeit durch die Plattenverdichter. Maßgebend für die Qualität und Leistungsfähigkeit einer Tragschicht ist die Art der Verdichtung, durch die jene optimale Lagerungsdichte erreicht wird, welche eine gleichmäßige Lastübertragung (Korn-zu-Korn-Spannung) ermöglicht. Eine besondere Aufgabe kommt der geotextilen Trennlage zu. Sie dient nicht nur der Trennung zwischen Untergrund und Tragschichtmaterial, sondern bewirkt auch eine Stabilisierung der Körner während der Verdichtung. Diese Stützwirkung ermöglicht den Eintrag der Verdichtungsarbeit auch dann, wenn der Untergrund (Erdplanum) weich und in seiner Konsistenz breiig ist. Diese „behutsame“ Verdichtungsarbeit mittels Plattenverdichter ermöglicht bei der gleisgebundenen Sanierung den Einbau einer gut verdichteten und ausreichend steifen Tragschicht auch auf ggf. weicherem Untergrund. Abb. 14 zeigt beispielhaft die Dichte- und Tragfähigkeitswerte beim Einbau und nach einer Stabilisierung von sechs Monaten und macht die hohe Qualität der eingebauten Tragschicht mit Vliesstoff und die Stabilisierung des Tragschichtsystems infolge der Betriebseinwirkung deutlich.

Auf der Streck Bruck Fusch – Zell am See, Gl. 2 wurde im Juni 1999 mit der AHM 800 R eine 45 cm starke Tragschicht verstärkt mit Vliesstoff und Geogitter eingebaut; die Messdaten und Nachmessdaten sind in Abb. 15 ersichtlich. Auch sie zeigen die hohe Qualität des eingebauten Tragschichtsystems und seine Stabilisierung bei Betriebseinwirkung.



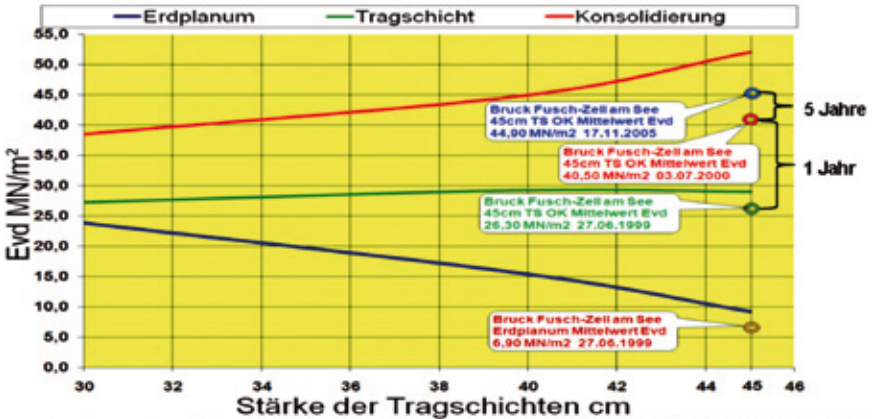
Abb. 13: Schichtsystem aus Vliesstoff, Hartschaumplatten und Kiessand

Zusammenfassend kann ausgesagt werden, dass man durch Tragschichten mit Geokunststoffen eine hohe und gleichbleibende Qualität erreicht und die bisher er-



Abb. 14: Übersicht zu Messergebnissen der ÖBB zur Tragfähigkeit und Dichte

Tragfähigkeitserhöhung durch Geokunststoffe mit Vlies+Geogitter



Class	Geokunststofftype	Witter	Datum	Kilometer	Ausführungszeitraum: 23.06. - 27.06.1999			Ausführungszeitraum: 23.06. - 27.06.1999			Nachmessung der Tragschicht OK am 03.07.2000			Nachmessung der Tragschicht OK am 16.-17.11.2005		
					Erdplanum			45 cm Tragschicht OK			Tragschicht OK			Tragschicht OK		
					Evd ¹ MN/m²	Evd ¹ MN/m²	Evd ² MN/m²	Evd ¹ MN/m²	Evd ¹ MN/m²	Evd ² MN/m²	Evd ¹ MN/m²	Evd ¹ MN/m²	Evd ² MN/m²	Evd ¹ MN/m²	Evd ¹ MN/m²	Evd ² MN/m²
20	Messungen	Statistik gemäss ZTV StB.94			6,90	5,40	14,50	26,30	20,50	55,60	40,50	31,70	85,60	44,90	35,20	94,90
		Mittelwert x			6,90	5,40	14,50	26,30	20,50	55,60	40,50	31,70	85,60	44,90	35,20	94,90
		Standardabweichung s			4,04	3,75	8,52	3,85	3,03	8,18	9,48	7,40	19,37	5,51	4,40	11,88
		Annahmefaktor k			0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
		95%-Quantil z			3,30	2,50	7,00	22,90	17,90	48,40	32,20	25,20	68,00	49,00	31,30	84,40

Abb. 15: Auswertung von Messergebnissen zur Tragfähigkeitserwicklung

forderlichen Schichtstärken reduziert werden können [8]. Durch die Verwendung der Geokunststoffe im mehrschichtigen Tragsystem werden bei geringerer Schichtstärke die Bodenpressungen verringert, die Gleis- und Fahrzeugschwingungen vermindert und die Frostauftriebe größtenteils verhindert. Der dadurch gewonnene Qualitätsvorrat führt zu erhöhter Nachhaltigkeit und Verfügbarkeit der Gleis- und Weichenanlagen [9].

5 Entwicklung bei den Bahnen in Deutschland

Die DB baute ab 1973 Vliesstoffe bei sehr kritischen Randbedingungen ein. Sie verfolgte diesen Lösungsweg aber nur begrenzt, da bei Einsatz des Korngemisches KG 1 für die Schutzschicht nur selten ein Problem mit der Filterstabilität bestand.

Bei der DR beschäftigte man sich ab 1974 mit dem Einsatz von Geotextilien im Tragsystem des Eisenbahnunterbaues, da das Filterproblem auf Grund der verfügbaren Kiessande zu lösen war. Ab 1976 standen dann nach entsprechender Entwicklungsarbeit speziell auf den Erd- und Grundbau ausgerichtete Vliesstoffe zur Verfügung. In den Jahren 1976 bis 1980 wurden im Streckennetz der DR 10 Erprobungsbaustellen mit Schutzschichten aus Kiessand und Vliesstoffen ausgeführt und bei 2250 m Gleis ca. 10300 m² eingebaut. Abb. 16 zeigt den Einbau eines Vliesstoffes auf dem Erdplanum; darauf wurde der Kiessand vom Nachbargleis mit einer Schneerräumenheit schonend eingebracht. Auf Grund der positiven Erfahrungen wurden Schutzschichten mit Vliesstoffen bei der DR bereits 1981 mit einer Richtlinie (Abb. 17) allgemein zugelassen. Dabei wurden für die speziellen



Abb. 16: Einbau eines Vliesstoffes auf dem Erdplanum 1978

Bedingungen im Eisenbahnbau vernadelte Stapelfaser-Vliesstoffe mit einer Flächenmasse von 450 bzw. 600 g/m² ausgewählt, die sehr robust auch bei Kontakt mit Schotter sind und eine sehr gute Trenn-, Filter- und Dränwirkung aufweisen.

In [10] wird über zwei Abschnitte berich-

tet, an denen turnusmäßig Kontrollen und Langzeituntersuchungen durchgeführt wurden. Der maßgebende Abschnitt ging nach dem Gleisumbau mit dem Einbau einer Schutzschicht von 25 cm Dicke über einen Vliesstoff mit 450 g/m² Flächenmasse 10/1977 in Betrieb. Der eingebaute Kiessand war gegenüber dem anstehenden Lößlehm nicht filterstabil, so dass der Vliesstoff als Trenn- und Filterelement wirken sollte. In einem Überwachungszeitraum von zwölf Jahren wurden turnusmäßig Kontrollen, Messungen und Probennahmen durchgeführt, die zusammenfassend dargestellt werden sollen. Der Vliesstoff trennt den anstehenden Lößlehm vom Kiessand und sichert die Filterstabilität zuverlässig. Im Nullabschnitt (ohne Vliesstoff) sind in den zwölf Jahren Vermischungen (Erosion) von 3 bis 6 bis 8 bis 10 cm eingetreten. Der Vliesstoff ist unverletzt, von Feinkorn aus dem Lößlehm durchdrungen und gelblich verfärbt. In das Wirrfasergeflecht sind vorrangig Schluffkörner eingedrungen, was zu einer Zunahme der Flächenmasse von 450 g/m² auf bis zu 3132 g/m² führte. Die Wasserdurchlässigkeit des Vliesstoffes nahm dabei nur geringfügig ab und die Öffnungsweite verringerte sich von 0,12 mm auf 0,065 mm. Die Korneinlagerungen infolge hydraulischer und mechanischer Vorgänge führten zu einer Versteifung des Vliesstoffes und zu einer Veränderung des Zugkraft-Dehnungs-Verhaltens. So weichen Vliesstoffe mit Korneinlagerungen nicht so unter der Belastung aus, sondern aktivieren schon bei geringeren Dehnungen Zugkräfte und können so das Verformungsverhalten des Schichtsystems beeinflussen. Dies machen die Messergebnisse zum Verformungsmodul im Überwachungszeitraum von zwölf Jahren nach Abb. 18 deutlich. Die Anfangsmessung vor Inbetriebnahme zeigt die anfangs schlechten hydrologischen Verhältnisse und die elastische Wirkung des neuen Vliesstoffes bei der Messung mit dem Fallgewichtsgesetz an. Mit der Wirkung der Entwäs-



Abb. 17: Erste Richtlinie zum Einbau von Schutzschichten mit Vliesstoffen bei der DR

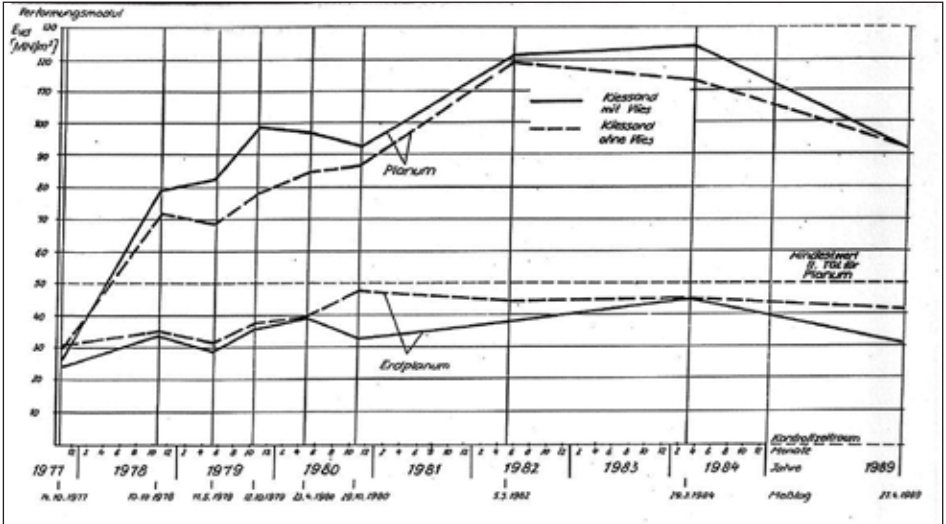


Abb. 18: Messergebnisse zum Verformungsmodul Baustelle Theißen 1977 bis 1989

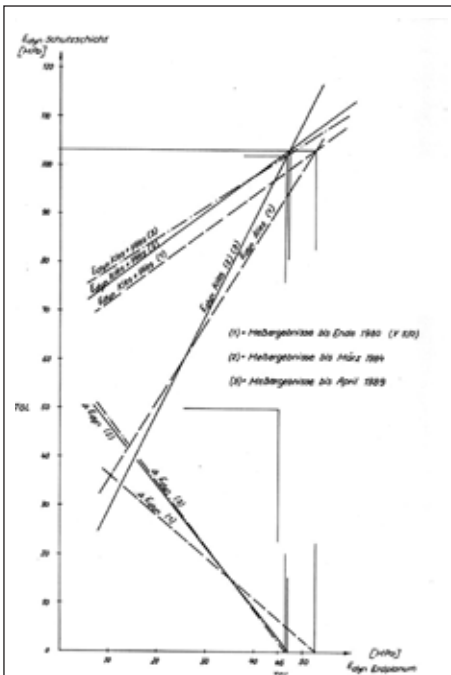


Abb. 19: Regression aller Messwerte mit und ohne Vliesstoff



Abb. 20: Einbau von Verbundstoff und Kiessand mit der PM 200 im Jahre 1993

serung und der Stabilisierung des Schichtsystems infolge der dynamischen Belastung durch den Zugverkehr nimmt der Verformungsmodul stetig zu. Die Schutzschicht mit Vliesstoff realisiert dabei stets höhere Verformungsmoduln und höhere Zuwächse gegenüber dem Erdplanum als ohne Vliesstoff. Die Regression aller Messwerte in Abb. 19 macht die Wirkung des Vliesstoffes als bewehrendes Element besonders deutlich. Der Einfluss des Vliesstoffes ist bei weichem, verformbarem Erdplanum am größten und wird mit abnehmender Verformbarkeit immer geringer. Zeiträume mit hoher Verformbarkeit werden also ohne Schäden überbrückt.

Die sehr positiven Ergebnisse führten zur Entwicklung von Verbundstoffen aus mit Fadenlagen-Nähgewirken verstärkten Vliesstoffen. Diese wurden 1993 erstmals als Trenn-, Filter- und Bewehrungselement mit

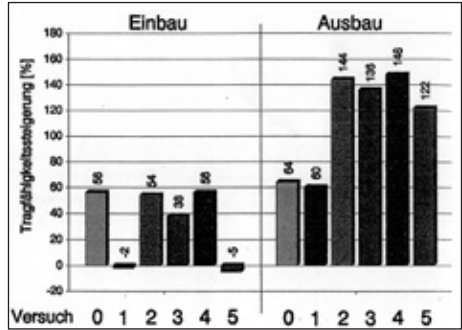


Abb. 21: Zunahme der Tragfähigkeit unter dynamischer Belastung im Laborversuch

einer Schutzschicht aus Kiessand gleisgebunden mit der PM 200 (Abb. 20) eingebaut [11]. Dabei wurde die Dicke der Schutzschicht auf Grund o.g. Erkenntnisse von 50 cm auf 40 cm abgemindert und der erforderliche Verformungsmodul in Ober-

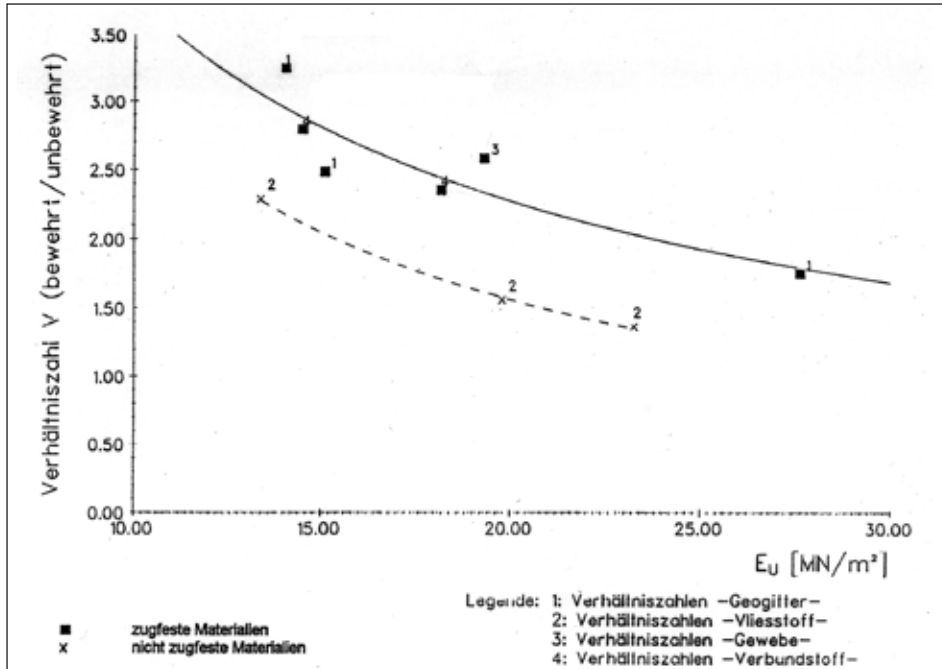


Abb. 22: Verbesserungsfaktoren von Schutzschichten mit Geokunststoffen

fläche Schutzschicht von 80 MN/m^2 auf 70 MN/m^2 reduziert. Der Abnahmewert wurde erreicht und der Verformungsmodul stieg bei den Folgemessungen nach sechs Monaten auf ca. 100 MN/m^2 an. Dabei wurde trotz sehr inhomogener Untergrundverhältnisse ein sehr gleichmäßiges Verformungsverhalten erreicht. Der Verbundstoff trägt also deutlich zur Stabilisierung und Homogenisierung des Tragsystems bei.

In der Folge wurden an der HTW Dresden in einem Versuchskasten Dauerbelastungsversuche zur Wirkung unterschiedlicher Geokunststoffe im Tragsystem Oberbau/Unterbau durchgeführt. Dabei wurden Verformungsmoduln nach dem Einbau und nach einer Dauerbelastung bei unterschiedlichen Geokunststoff-Produkten gemessen und bewertet (Abb. 21 nach [12]). Der Einfluss der Geokunststoffe auf das Verformungsverhalten ist nach dem Einbau gering, nach der Einwirkung der Betriebsbelastung aber

deutlich. Dies gilt besonders bei geringen Verformungsmoduln im Untergrund und bei Geogittern und Verbundstoffen. Die Ergebnisse bestätigten die Stabilisierung des Tragsystems durch die Dauerbelastung und die Zunahme der bewehrenden Wirkung.

Bei weiterführenden Untersuchungen an der HTW Dresden wurde die Wirkung einer Vielzahl unterschiedlicher Geokunststoff-Produkte untersucht und die Ergebnisse in einem Diagramm (Abb. 22) zusammengestellt [13]. Die Verhältniszahlen drücken die Verbesserung des Eigenverformungsmoduls von Schutzschichten mit und ohne Geokunststoffen aus. Sowohl Vliesstoffe als auch Verbundstoffe und Geogitter zeigen mit abnehmendem Verformungsmodul im Untergrund eine größere Verbesserung; Geogitter und Verbundstoffe erbringen eine deutlich größere Verbesserungswirkung.

In den Folgejahren wurden 13 Baustellen des gleisgebundenen Einbaues von Schutzschichten mit der Planumsverbesserungs-

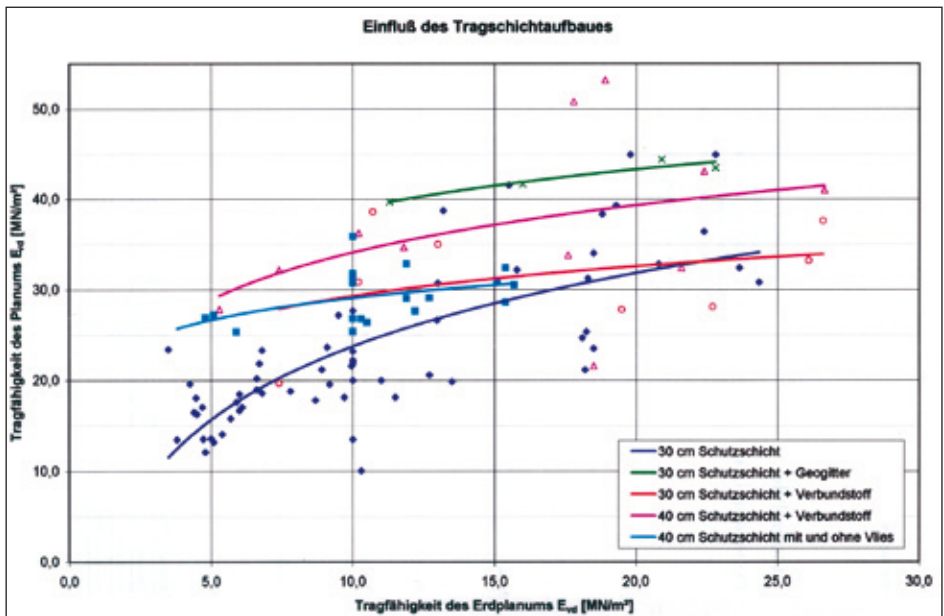


Abb. 23: Abnahmewerte zur Tragfähigkeit bei unterschiedlichen Schutzschichtsystemen

maschine RPM 2002 von der HTW Dresden geotechnisch betreut [14]. In Abb. 23 sind alle Abnahmewerte zum dynamischen Verformungsmodul bei unterschiedlichen Schutzschichten und Untergrundbedingungen aufgetragen. Die verbessernde Wirkung der Verbundstoffe und Geogitter ist schon nach dem Einbau deutlich. Nachmessungen an den Folgetagen erbrachten noch deutlich höhere Verformungsmoduln.

Diese positiven Ergebnisse führten zu verschiedenen Vorschlägen zur Anrechnung des besseren Verformungsverhaltens bei der Bemessung der Schutzschichtdicke. So kann bei Anordnung eines Geokunststoffes nach [13] von einem Abminderungsfaktor für die Schutzschichtdicke von 0,75 im Verformungsbereich von $10 < E_{v2} < 30 \text{ MN/m}^2$ im Erdplanum ausgegangen werden. In [15] wurde ein Bemessungsdiagramm (Abb. 24) vorgeschlagen, das die Wirkung der Geokunststoffe im Bemessungssystem für die Schutzschichtdicke im Eisenbahnunterbau über den höheren Eigenverformungsmodul bewehrter Schutzschichten erfasst und von unterschiedlichen Verbesserungsfaktoren für Vliesstoffe und Verbundstoffe/Geogitter ausgeht. Auch bei der Bemessung auf Frost kann die Dicke bis 10 cm abgemindert werden, da Frosthebungen und die Folgeschäden in der Tauperiode durch die Wirkung der Geokunststoffe vermindert werden. Diese und weitere in der Literatur benannten Vorschläge wurden aus systematischen Messergebnissen an Eisenbahnstrecken bzw. im Labor abgeleitet und stellen somit empirische Ansätze dar.

6 Stand der Anwendung: Wirkung von Geokunststoffen im Tragsystem

Die Entwicklung und die Ergebnisse der Bauweisen für Trag- und Schutzschichten mit Geokunststoffen bei der DB/DR und den ÖBB zeigen eine hohe Übereinstimmung, so dass ein zusammengefasstes Resü-

mee möglich ist. Dabei ist es deutlich, dass der gleisgebundene Einbau von Schutzschichten mit Planumsverbesserungsmaschinen [7] inzwischen eine Qualität und Homogenität erreicht, die dem gleislosen Einbau mit Erdbau-Maschinen mindestens ebenbürtig ist.

Geokunststoffe werden nach nun ca. 40-jähriger Erprobung und Anwendung als Regelösung in der Kontaktzone zwischen dem anstehenden Boden und dem Korngemisch der Schutzschicht nach Abb. 25 eingebaut. Sie werden durch hydraulische Vorgänge und die wechselnden Bodenspannungen beansprucht. Eine komplexe Verbesserung wird mit Vliesstoffen und Verbundstoffen aus Vliesstoffen mit Fadenlagen-Nähgewirken oder Geogittern erreicht.

Die Vliesstoffkomponente sichert vor allem die Wirkungen Trennen, Filtern und Dränen, da

- dauerhaft eine Vermischung und schädliche Kornumlagerung zwischen Untergrund und Schutzschicht verhindert und langfristig eine klare Schichtentrennung mit Beibehaltung der Eigenschaften des Korngemisches erreicht wird,

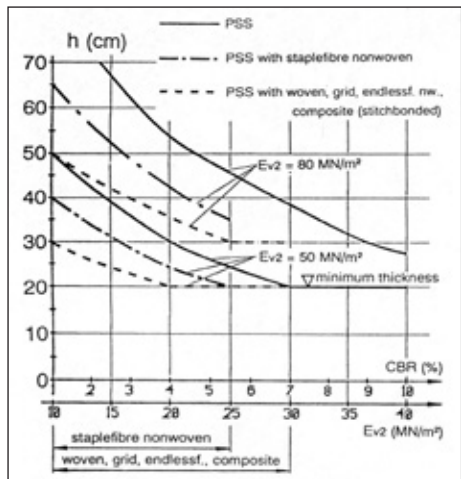


Abb. 24: Vorschlag eines Bemessungsdiagrammes für Schutzschichten mit Geokunststoffen

- sich das anfallende Wasser nach oben entspannen kann und in Vliesstoffebene im Quergefälle abgeführt wird, wodurch das Verformungsverhalten des anstehenden Bodens und des Tragsystems verbessert wird,
- insbesondere in der Tauperiode im Frühjahr Vermischungen und Verformungen wesentlich vermindert werden und zusätzlich
- mit zunehmender Liegedauer die Vliesstoffe versteifen und so Verformungen behindern.

Für Korngemische mit erhöhtem Feinkornanteil (KG 1) ist dabei die Dränwirkung und für Korngemische mit geringerem Feinkornanteil (KG 2 bzw. KG der ÖBB) die Filter- und Dränwirkung von maßgebender Bedeutung.

Die zugfesten Fadenlagen-, Gewebe- oder Gitterkomponenten wirken stärker bewehrend,

- da die einwirkenden Lasten besser verteilt und so die Spannungen im Boden verringert werden,
- deutlich geringere Verformungen im Erdplanum eintreten und
- die Verformungsunterschiede bei den meist inhomogenen Böden ausgeglichen und verformungsanfällige Bereiche und Zeiten mit erhöhtem Wassergehalt überbrückt werden.

Diese komplexe Wirkung führt zu einer raschen Stabilisierung und Vergleichmäßi-

gung des Tragsystems unter Betriebseinwirkung und eine Beibehaltung dieses hochwertigen Verformungsverhaltens über lange Zeiträume. Der Boden wird entwässert und damit verbessert, Bereiche und Zeiten erhöhter Verformbarkeit werden überbrückt und der Eigenverformungsmodul des Korngemisches wird beibehalten. So wird ein sehr gleichmäßiges und höheres Tragfähigkeitsniveau erreicht und langfristig erhalten. Geogitter können zusätzlich zu Abb. 25 oder alleine als Bewehrungselement in der Schutzschicht bei zweilagigem Einbau verlegt werden. Sie erfüllen dann o.g. bewehrende Wirkungen und verstärken die komplexe Verbesserung.

Die dazu verwendeten Geokunststoffe müssen für die jeweilige Funktion bestimmte Produkt-Eigenschaften haben, die z. B. in [16] erläutert sind und in einschlägigen Regelwerken definiert wurden.

7 Weiterentwicklung zu bewehrten Tragsystemen und Dämpfungsmatten

In den letzten Jahren haben vertiefende Untersuchungen zur Gebrauchstauglichkeit [17] unter besonderer Berücksichtigung dynamischer Anregungen durch den Eisenbahnverkehr gezeigt, dass gleisnahe bewehrte Tragsysteme aus Korngemischen und Geokunststoffen eine höhere Steifigkeit und eine bessere lastverteilende Wirkung aufweisen und so Spannungen und mögli-

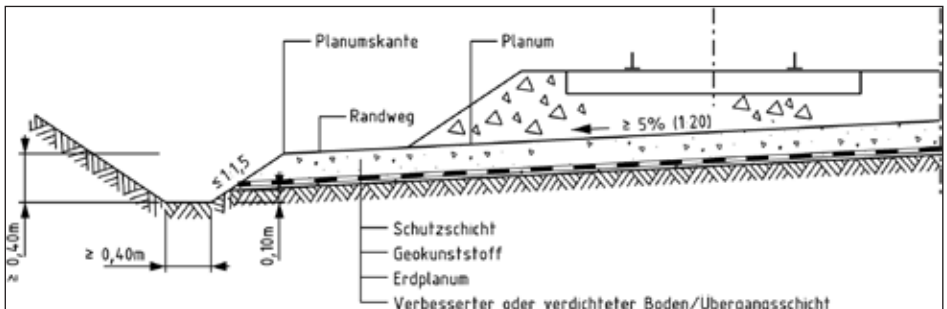


Abb. 25: Regellösung Schutzschicht mit Geokunststoff

che Setzungen reduzieren und vergleichmäßigen. Gleislage und Fahrkomfort werden auch bei höheren Fahrgeschwindigkeiten deutlich verbessert. Zudem werden durch deren dämpfende Wirkung die dynamischen Beanspruchungen unterhalb dieser gleisnahen Tragsysteme reduziert. Dies gilt insbesondere in Kombination mit dem Einbau einer höheren Elastizität im Oberbau, die eine höhere Wirkung als Feder- und Dämpfungselement bei steiferen gleisnahen Tragsystemen zeigen. Somit können bei Notwendigkeit von Untergrundertüchtigungen zusätzlich zu den bisher überwiegend angewandten tiefgründigen erdbautechnischen Maßnahmen im Unterbau und Untergrund zukünftig alternativ gleisnahe bewehrte Tragsysteme angewendet werden, die auch gleisgebunden eingebaut werden

können. In [18] wird über ein neu entwickeltes Nachweisverfahren zur dynamischen Stabilität von Eisenbahnstrecken auf Weichschichten berichtet und eine Reihe von Bauvorhaben angegeben, bei denen alternative bautechnische Maßnahmen mit bewehrten Tragsystemen und einer höheren Elastizität im Oberbau erfolgreich angewendet wurden.

Die zunehmend bessere Verdichtung der Böden und Tragschichtmaterialien sowie die Bodenbehandlung mit Bindemitteln führen zu hohen Verformungsmoduln und so zu geringeren elastischen Einsenkungen des Gleises und des Tragsystems bei Zugüberfahrten. Je größer aber der Bettungsmodul, umso weniger Schwellen sind an der Lastübertragung beteiligt und die Stützpunktkraft sowie die Flächenpres-

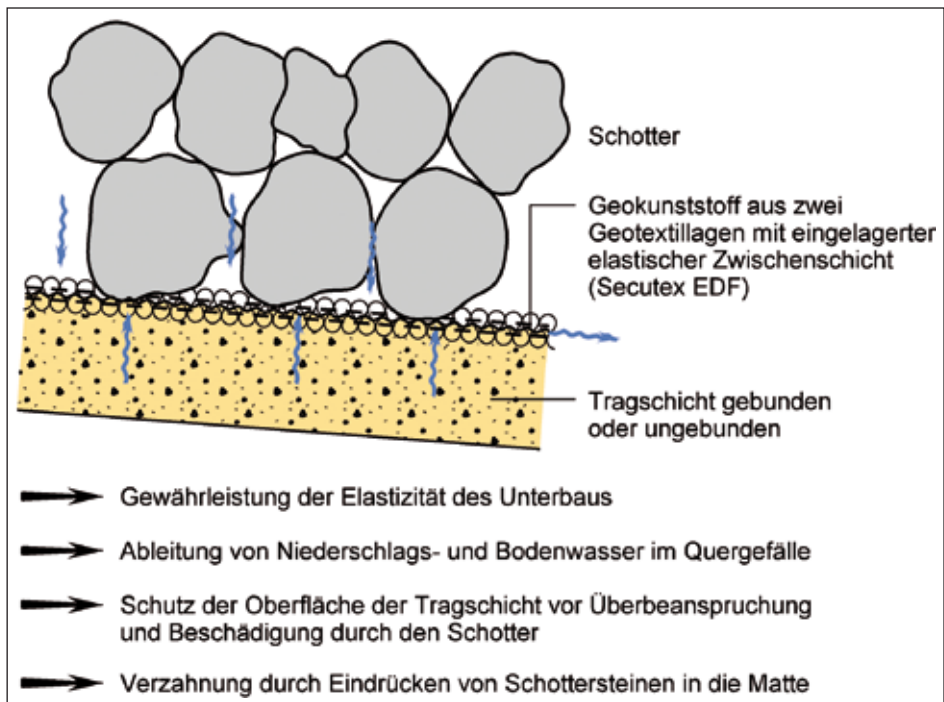


Abb. 26: Wirkung einer Dämpfungsmatte aus Geokunststoffen in Oberfläche Tragschicht von Eisenbahnstrecken

sung steigen. Die Folge ist eine zunehmende Beanspruchung und Schädigung von Schotterbettung und Eisenbahnunterbau. Vlies- und Verbundstoffe zeigen in der Anfangsphase eine gewisse elastische Zusammendrückung. Daraus leitete sich die Idee zur Entwicklung eines dauerhaft elastischen Geoverbundstoffes bei Beibehaltung ausgewählter Funktionen der Geokunststoffe ab. Entsprechend wurde ein neues Produkt unter Verwendung von Vliesstoffen entwickelt, das unter der Schotterbettung verlegt wird und als Dämpfungsmatte wirken soll [19]. Das Produkt besteht aus zwei Lagen mechanisch verfestigter Geokunststoffe aus 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, wodurch eine dauerhafte, schubkraftübertragende Verbindung über alle Schichten des Geoverbundstoffes entsteht. Die bisherigen Untersuchungen unter Laborbedingungen zeigen, dass der neuartige Geoverbundstoff einerseits bei einem harten Untergrund zusätzliche Elastizität in das System des Fahrweges einbringt und gleichzeitig eine Schutz-, Trenn-, Filter- und Dränwirkung aufweist. Dadurch können die Auflagerungsbedingungen für den Schotter nach Abb. 26 günstiger gestaltet und ungünstige Beanspruchungen im Ober- und Unterbau reduziert werden.

Quellen

- [1] Göbel, C.; Lieberenz, K.: Handbuch Erdbauwerke der Bahnen, Eurailpress Tetzlaff-Hestra GmbH & Co. KG, 2004
- [2] Pfahnl, K.: Die Bahnerhaltung, Linz 1944
- [3] Lieberenz, K.; Piereder, F.: Zur Unterbausanie rung – Probleme, Entwicklung und Ausführung, EIK 2012
- [4] Brandl, H.: Die Verwendung von Kunststoffvliesen im Tiefbau, Vliese im Tiefbau, ÖIAV, Heft 68, Wien 1977

- [5] Marx, L.; Bugenhagen, D.; Moßmann, D.: Arbeitsverfahren für die Instandhaltung des Oberbaues, DB-Fachbuch-Band 8/13, 3. Auflage., Pkt. 21.7, „Planumsverbesserung (PLV) mit Gleisbaumaschinen nach UIC - Merkblatt 722 E“
- [6] Schilder, R.; Piereder, F.: „Planumsverbesserung mit der Aushubmaschine AHM 800 R“, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 49 (2000) Heft 9
- [7] Riebold, K.; Piereder, F.: Gleisgebundene Unterbausanie rungstechnologien, EIK 2010
- [8] Berger, F.: Gleisgebundene Unterbausanie rung, 25. Jaf, Münster 2009
- [9] Auer, F.; Zuzic, M.; Schilder, R.; Breymann, H.: 13 Jahre Erfahrung mit gleisgebundener Untergrundsanie rung im Netz der ÖBB, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 12/2007
- [10] Lieberenz, K.: Erfahrungen bei der Anwendung von Planumsschutzschichten mit Geokunststoffen, EI – Der Eisenbahningenieur 42 (1991) Heft 3, S. 102 – 105
- [11] Göbel, C.; Lieberenz, K.; Nietzsch, H.: Untersuchungen zum Verhalten von Tragsystemen mit Geokunststoffen an der ABS Leipzig – Dresden, Sonderheft Geotechnik, 1995
- [12] Lieberenz, K.: Geokunststoffe für den Erd- und Grundbau an Eisenbahnstrecken, EI – Der Eisenbahningenieur 47 (1996), Heft 3, S. 20 – 23
- [13] „Untersuchungen zur Anwendung von Geokunststoffen im Tragsystem des Eisenbahnbaues und zur Einbeziehung in die Bemessung auf Tragfähigkeit und Frost“, Gepro Ingenieurgesellschaft Dresden, 240/95
- [14] Göbel, C.; Lieberenz, K.; Großmann, S.: Anwendung von Geokunststoffen zur Verringerung der Schutzschichtdicken im Eisenbahnunterbau, Sonderheft Geotechnik, 2001
- [15] Lieberenz, K.; Weisemann, U.; Göbel, C.: Vorschläge zur Bemessung des kunststoffbewehrten Tragsystems von Eisenbahnstrecken auf Frost und Tragfähigkeit, Sonderheft Geotechnik, 1993
- [16] Prüfungsbedingungen für Geokunststoffe, Eisenbahn-Bundesamt, 01.02.2007
- [17] Kipper, R.; Weisemann, U.: Wirkungsweise von mehrfach bewehrten Tragschichten – ein Erfahrungsbericht, Bautex 2010, Chemnitz
- [18] Vogel, W. et. al.: Zur dynamischen Stabilität von Eisenbahnstrecken mit Schotteroberbau auf Weichschichten, ETR – Eisenbahntechnische Rundschau 09/2011, S. 46 – 54
- [19] Großmann, St.; Ehrenberg, H.; Ewert, W.F.: Entwicklung eines Geoverbundstoffes zur Verbesserung der Auflagerbedingungen von Gleis schotter bei Eisenbahnstrecken, Bautex 2012, Chemnitz