



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für
Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Rolf Katzenbach

**Vorträge zum 17. Darmstädter
Geotechnik-Kolloquium am 18. März 2010**

Sonderdruck

Dichtungssysteme und Sekundärbaustoffe im Verkehrswegebau -
Projektbeispiele und Praxiserfahrung unter Verwendung
von Geokunststoffen

Dipl.-Ing. Lars Vollmert,
BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG

Heft 86 · Darmstadt · März 2010

Dichtungssysteme und Sekundärbaustoffe im Verkehrswegebau

-

Projektbeispiele und Praxiserfahrungen unter Verwendung von Geokunststoffen

Dipl.-Ing. Lars Vollmert

BBG Bauberatung Geokunststoffe GmbH & Co. KG, Espelkamp

1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Die Schonung von Ressourcen und die Abfallverwertung (KrW-AbfG) sind ebenso wie der Gewässer- (WHG) und Bodenschutz (BBodSchG, BBodSchV) aus ökologischer und volkswirtschaftlicher Sicht definierte Ziele, die in den genannten spezifischen Rechtsvorschriften festgeschrieben wurden. Bei der Wiederverwertung wurden allein 2004 von den statistisch erfassten mineralischen Bauabfällen (72,4 Mio t, ohne Bodenaushub) 68,5 % recycelt und davon 32,9 Mio t im Straßenbau und 12,3 Mio t im Erdbau als Baustoffe eingesetzt. 6,2 Mio t wurden direkt deponiert und nicht wieder eingesetzt (Fischer 2007).

Im Bereich des Baus von Verkehrswegen, bei dem naturgemäß große Massenbewegungen erforderlich werden, kommt damit der Wiederverwertung von Böden oder dem Einsatz von RC-Baustoffen und industriell hergestellten Gesteinskörnungen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen wie z.B. RC, SWS oder HMVA (siehe auch TL BuB) der EK2 eine besondere Bedeutung zu.

Bei der Wiederverwendung ist durch technische Sicherungsmaßnahmen zu gewährleisten, dass die Wirkpfade umweltrelevanter Inhaltsstoffe zu Mensch, Tier, Pflanze, Luft und Boden unterbrochen werden, soweit die Schadstoffe nicht dauerhaft gebunden sind. Anderenfalls ist neben einem ausreichenden Abstand der Baustoffe zu Grund- und Oberflächenwasser das Eindringen von Niederschlägen und Schichten-/Sickerwasser in den Baukörper durch technische Sicherungsmaßnahmen zu unterbinden, um einem Auslaugen der umweltrelevanten Inhaltsstoffe vorzubeugen.

Das im FGSV AG Erd- und Grundbau, AS Boden- und Gewässerschutz im AK Abdichtungen bei Erdbauwerken unter der Leitung von Dr. Heyer, TU München, erarbeitete und aktuell eingeführte FGSV-Merkblatt über Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau (M TS E) zeigt mögliche Bauweisen auf. Unterschieden wird dabei in Bauweisen mit Abdichtung oder Anspritzung und in Kernbauweise.

Dem Schutz des Grundwassers gegen Beeinträchtigungen aus Verkehr, Havarien und Unterhaltung wird erfolgreich durch die in den RiStWag definierten Bauweisen Rechnung getragen. Auch hier ergibt sich durch dünnlagige Bauweisen mit Geokunststoffen die Möglichkeit, schnell, anpassungsfähig und qualitätsgesichert großflächig Abdichtungen einzubringen und Bodenaushub zu minimieren.

2 Anforderungen an Abdichtungen aus Geokunststoffen

2.1 Allgemeines

Die spezifischen Anforderungen an Abdichtungssysteme aus Geokunststoffen ergeben sich in Abhängigkeit des Einsatzbereiches. Während in den RiStWag die Beständigkeit gegen chemische und mechanische, zumeist kurzfristige Beanspruchungen im Vordergrund stehen, die sich aus Havarien ergeben können, sind die Anforderungen nach M TS E auf ein langfristiges Schutzniveau ausgelegt, da die Kontamination latent und dauerhaft vorhanden ist. Nach den RiStWag findet die Beanspruchung durch Einsickern von Schadstoffen durch den Oberboden statt, die zurückgehalten werden müssen, während nach M TS E ein Eindringen von Wasser in den Ablagerungskörper unterbunden werden muss, um ein Auswaschen von Schadstoffen zu unterbinden.

Abdichtungen aus Geokunststoffen können aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD), d.h. als mineralische Abdichtung, oder aus Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) bestehen.

2.2 Gegenüberstellung von Dichtungssystemen

Während Kunststoffdichtungsbahnen bei sachgerechtem Einbau als impermeabel gelten können, wird die Dichtungswirkung von mineralischen Dichtungen, also auch von GTD, durch die Permittivität beschrieben. Bei letzterer geht neben dem k-Wert auch die Schichtdicke der Abdichtung ein, so dass erdbautechnisch hergestellte Dichtungen und GTD unmittelbar miteinander verglichen werden können.

Für die Permittivität ψ gilt mit dem Durchlässigkeitsbeiwert k und der Schichtdicke d :

$$\psi = k/d \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

Der Vergleich muss jedoch immer auf kurzfristige Effekte reduziert bleiben:

Für GTD liegen aus analogen Betrachtungen im Deponiebau und entsprechenden Zulassungsverfahren umfangreiche Langzeituntersuchungen zum Nachweis der Dichtungsfunktion vor. Die Dichtungsfunktion bleibt nach M T S E auch bei Dehnungen bis 10 % in Längs- und Querrichtung erhalten, die sich z.B. infolge Untergrundsetzungen ergeben können und nach Einschätzung des Verfassers z.B. für Lärmschutzwälle an Straßen regelmäßig angenommen werden müssen.

Für mineralische Tondichtungen kann dieser Nachweis nur schwer geführt werden, da die mechanischen Randbedingungen unklar sind und mineralische Erdbaustoffe mit hohen Anforderungen an den k -Wert ebenso z.T. starken Veränderungen z.B. infolge Wassergehaltsänderungen unterliegen. Hinzu kommen die bekannten Schwierigkeiten bei der Qualitätssicherung, wenn mineralische Dichtungen kleinräumig in Randstreifen (RiStWag) oder an steilen Böschungen mit Neigungen von 1:1,5 (M T S E) eingebaut werden müssen.

Anforderung	KDB: Dicke	GTD: Permittivität	Überdeckung	Bemerkungen
	[mm]	[1/s]		
RiStWag	2,00	-	0,6 m	für chem. Beständigkeit Zulassung (DIBt) erf.; Schutzlagen 0,1 m Sand oder Vliesstoffe in Anlehnungen an BAM-Zulassungsrichtlinie
	-	$\psi \leq 1 \cdot 10^{-7}$	0,8 m	Eignungsprüfung erf. für Frost-/Tau- und Trocken-Nass-Wechsel, Otto/Dieselmotoren, Heizöl, Salzlösungen z.B. Bentofix [®] NSP 4000-O RiStWag ⁽³⁾
Bauweise M T S E C A B	2,00	-	k.A. ⁽¹⁾	nur Produkte aus PEHD; Schutzlagen 0,1 m Sand oder mechanisch verfestigte Vliesstoffe mit $\geq 300 \text{ g/m}^2$, $d \geq 2,5 \text{ mm}$ und GRK5; Verlege- und Bestandsplan; Fachverleger
	-	ohne Dränsch. $\psi \leq 1 \cdot 10^{-9}$	1,5 m ⁽²⁾	Nachweis der inneren Scherfestigkeit, Produkte nach TL GeoK E-StB
	-	mit Dränsch. $\psi \leq 1 \cdot 10^{-8}$		ohne Dränsch.: z.B. Bentofix [®] NSP MTSE X2 ⁽⁴⁾ mit Dränsch. ⁽⁶⁾ : z.B. Bentofix [®] NSP MTSE ⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Die erforderliche Schichtdicke ist nach den Anforderungen der vorgesehenen Begrünung zu wählen.

⁽²⁾ Geringere Überschüttungen sind zulässig, wenn aufgrund von produktspezifischen Eignungsnachweisen ein ausreichendes Selbstheilungsvermögen in Bezug auf witterungsbedingte Rissbildungen nachgewiesen worden ist.

⁽³⁾ $\psi \leq 5 \cdot 10^{-9} \text{ 1/s}$ (Datenblattwert) mit Eignungsgutachten

⁽⁴⁾ mit $d = 0,015 \text{ m}$: erf. $k_f = 1,5 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$; Bentofix[®] NSP MTSE X2: $k_f < 5 \cdot 10^{-12} \text{ m/s}$ (TL GeoK E-StB)

⁽⁵⁾ mit $d = 0,010 \text{ m}$: erf. $k_f = 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$; Bentofix[®] NSP MTSE: $k_f \leq 5,0 \cdot 10^{-11} \text{ m/s}$ (TL GeoK E-StB)

⁽⁶⁾ z.B. geosynthetische Dränmatte Secudrän[®] WAS7

Tafel 1 Anforderungen an Abdichtungen aus Geokunststoffen

Gemäß M TS E wird in folgende Bauweisen A bis F unterschieden:

- A: witterungsempfindliche Dichtungselemente ohne Sickerschicht
- B: witterungsempfindliche Dichtungselemente mit Sickerschicht
- C: witterungsunempfindliche Dichtungselemente
- D: Damm mit Kern aus Böden mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen
- E: schwach durchlässige Baukörper mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen
- F: mit wasserabweisender Anspritzung

Die Tafel 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Anforderungswerte an Dichtungssysteme aus Geokunststoffen (Bauweisen A, B, C), die insbesondere bei den geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) im Anwendungsbereich des M TS E deutlich über die Anforderungen der RiStWag hinaus gehen. Für den konkreten Anwendungsfall sind damit spezielle Anforderungen an die Produkte zu definieren und Eignungsnachweise einzuholen. Exemplarisch sind in Tafel 1, Spalte 5 an dem Beispiel einer Produktreihe (GTD) die möglichen Varianten zur Erfüllung der Anforderungen aufgezeigt.

3 Technische Sicherungsmaßnahmen nach M TS E

3.1 Exemplarische Projektaufbauten

Im Zuge der Erstellung von Verkehrswegen entsteht häufig die Aufgabe, zum einen belastete, angetroffene Böden zu verwenden bzw. umzulagern, andererseits Lärmschutzanlagen anzulegen. Mit dem M TS E ergibt sich die Möglichkeit, sinnvolle Kombinationen auszuführen.

Die Geometrie der Bauwerke aus Böden mit umweltrelevanten Baustoffen wird dabei durch die Anforderungen an den Lärmschutz bestimmt. Möglich sind Abwandlungen, um ggf. zusätzliche Volumina zu schaffen. Die Bauwerkshöhen liegen im Regelfall bei 5,0 m bis 12,0 m, wobei die zur Lärmquelle gerichtete Seite meist unter mindestens 1:1,5 geneigt sein soll. Hieraus ergeben sich bereits zusätzliche Anforderungen an die Konstruktion, um die Standsicherheit zu gewährleisten. Die Berechnungen zur Gleitsicherheit der geschichteten Systeme erfolgen z.B. nach EBGEO, da zumeist ein zusätzliches Bewehrungselement (Geogitter) oberhalb des Dichtungssystems angeordnet werden muss. Bei großen Bauwerkshöhen empfiehlt der Verfasser darüber hinaus grundsätzlich die Anordnung einer Dränlage, da die Standsicherheit wesentlich von der Dauerhaftigkeit der bodenmechanischen Eigenschaften der Oberböden abhängt.

In Tafel 2 sind typische und ausgeführte Aufbauten unter Verwendung einer Kunststoffdichtungsbahn, jedoch mit unterschiedlichen Bauwerkshöhen, exemplarisch gegenüber gestellt.

AUFBAU 1: Bauwerkshöhe 5,0 m	AUFBAU 2: Bauwerkshöhe 12,0 m
Mutterboden 0,2 m	Mutterboden 0,2 m
Sand, kiesig , geringe Schluffanteile 0,3 m ($\varphi_0 \geq 33,7^\circ$)	Oberboden 0,8 m ($\varphi_0 \geq 33,7^\circ$)
Geogitter mit einer Bemessungsfestigkeit von $F_d = 53$ kN/m gemäß EBGEO (hier: Secugrid [®] 120/40 R6)	Geogitter mit einer Bemessungsfestigkeit von $F_d = 60$ kN/m gemäß EBGEO (hier: Secugrid [®] 120/40 R6)
Schutzvlies (z.B. Secutex [®] R404 gemäß DIBt-Zulassung Carbofol [®])	Dränmatte mit Schutzfunktion (z.B. Secudrän [®] 131C WD 401 131C)
KDB 2,0 mm DIBt (z.B. Carbofol [®] glatt/glatt)	KDB 2,0 mm DIBt (z.B. Carbofol [®] Megafriction/Megafriction)
Schutzvlies (z.B. Secutex [®] R404 gemäß DIBt-Zulassung Carbofol [®])	Schutzvlies (z.B. Secutex [®] R404 gemäß DIBt-Zulassung Carbofol [®])
Dammkörper , sandig, stark schluffig , tonig	Dammkörper , sandig kiesig, gutes Reibungsverhalten

Tafel 2 Gegenüberstellung typischer Aufbauten nach M TS E in Abhängigkeit der Bauhöhe und Untergrundbeschaffenheit

3.2 Diskussion

In der Gegenüberstellung der ausgeführten Aufbauten wird erkennbar, dass zunächst unterschiedliche Untergrundvoraussetzungen angetroffen wurden. Während der Untergrund im Aufbau 1 aufgrund der hohen Feinkornanteile keinen hohen Schubkraftabtrag im Verbund mit den Geokunststoffen erlaubte, konnte im Aufbau 2 ein nennenswerter Schubkraftanteil direkt über Reibung in den Untergrund abgetragen werden. Im Aufbau 1 wurde daher eine glatte Kunststoffdichtungsbahn gewählt, die einen leichteren Einbau und geringeren Verschweißungsaufwand bedeutet, im Aufbau 2 eine Kunststoffdichtungsbahn mit sehr hohem Reibungsverbund von rd. 33° .

Für die Überdeckung wurde in beiden Fällen eine Schichtmächtigkeit gewählt, die eine weitgehend sichere und dauerhafte Begrünung zulässt. Beim Aufbau 1 muss der Oberboden eine ausreichende Dränleistung mitbringen. Da keine zusätzliche Dränschicht angeordnet wurde, wurde im Standsicherheitsnachweis eine erhöhte Sickerlinie berücksichtigt. Der Aufbau 2 wurde demgegenüber mit einer leistungsfähigen geosynthetischen Dränschicht ausgerüstet, um die Funktionen zu entkoppeln.

In beiden Fällen ergab die Standsicherheitsberechnung ein Defizit an aufnehmbaren Schubkräften, die durch ein Geogitter ausgeglichen werden musste. Trotz unterschiedlicher Schichtmächtigkeiten und Schubverbund des Dichtungssystems wurde in beiden Fällen eine ähnliche Bemessungsfestigkeit von 53 kN/m bzw. 60 kN/m erforderlich, die

durch das gewählte Element sicher aufgenommen werden konnte. Das Bewehrungselement wurde dabei über die Dämme hinweg verlegt und beidseitig sukzessive angeschüttet, so dass ein Gleichgewicht erreicht wurde.

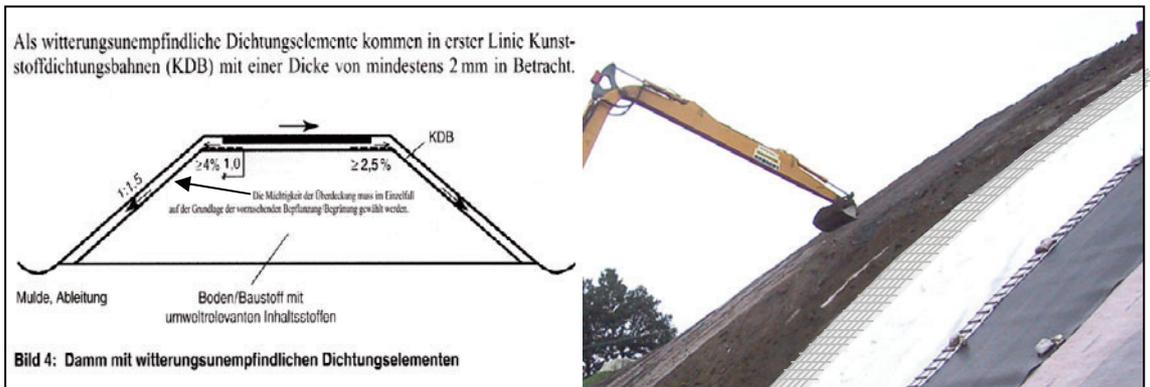


Bild 1 Systemquerschnitt Bauweise C nach M T S E und Ausführung in der Praxis (vgl. Aufbau 2 aus Tafel 2)

4 Anwendungen mit Böden, die nicht im M T S E erfasst sind

Über eine Anwendung, bei der Böden mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen, die im M T S E ausdrücklich nicht erfasst sind (in diesem Fall pechhaltiger Straßenaufbruch), im Straßenunterbau als Füllböden eingesetzt wurden und mit Geokunststoffen abgedichtet wurden, berichten (Greve et al. 2007). In diesem Fall wurde die Einkapselung der umweltrelevanten Baustoffe mit der Bauweise einer Kunststoff-bewehrten Erde (KBE) kombiniert. Als Bewehrungselemente wurden Secugrid®-Geogitter mit sehr hoher Dehnsteifigkeit zur Verformungsbegrenzung eingesetzt, für die ein Eignungsnachweis für Daueranwendungen auch bei hohen pH-Werten vorgelegt werden konnte.

Der vorhandene pechhaltige Straßenaufbruch wurde mit Bindemitteln aufbereitet und nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz sowie dem Wasserhaushaltsgesetz zum Einbau genehmigt. Zur Einhüllung des Verfüllkörpers wurde im Vorgriff auf zu erwartende Regelwerke und entsprechend den wasserrechtlichen Genehmigungsvorgaben eine profilierte Kunststoffdichtungsbahn (KDB) mit 2,0 mm Dicke eingesetzt. Im Frontbereich kam eine abschnittsweise Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn zum Einsatz, um eine Verbindung zwischen Böschungsoberfläche (Gabionen) und der bewehrten Steilböschung zu realisieren. Die obere Lage des Umschlags wurde dabei mit einem geringen Quergefälle nach außen ausgeführt, um das Eindringen von Oberflächenwasser in die Konstruktion zu verhindern. Hangseitig wurde vor der KDB eine ausgesprochen drucksteife Dränmatte Secudrän® XX8 in Kombination mit Kiesrigolen zur Fassung von Schichten- und Sickerwasser angeordnet. Die obere Einkapselung wurde ebenfalls durch die KDB vorgenommen, die in diesem Bereich durch eine 10 cm mächtige Betonschutzschicht C15/20 vor unbeabsichtigten Beschädigungen geschützt wurde.

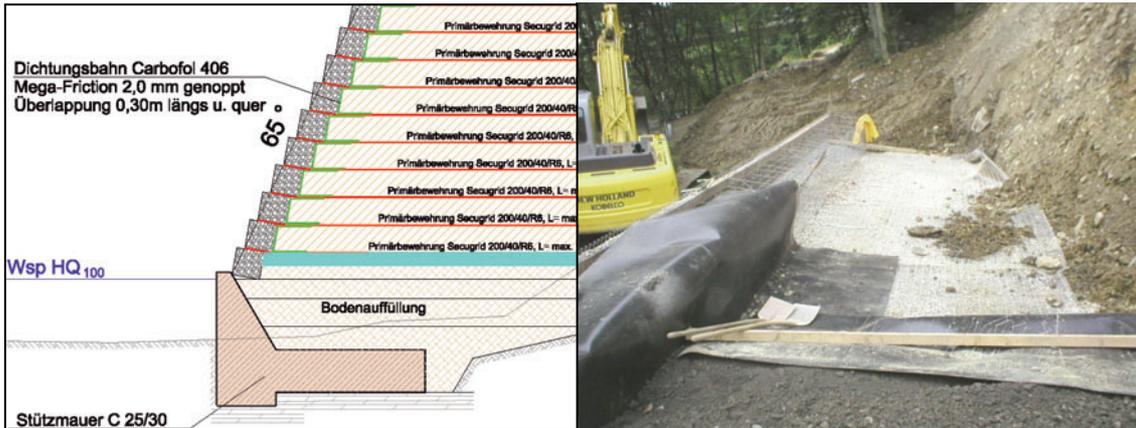


Bild 2 Systemquerschnitt (Ausschnitt) und Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn im Frontbereich der bewehrten Erde

5 Dichtungssysteme nach RiStWag

Im Bereich der RiStWag werden Abdichtungssysteme überwiegend unter Verwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD) ausgeführt. Wesentlicher Vorteil ist hier, dass bei ausreichend robusten GTD (z.B. vollflächig vernadelte Produkte) geringere Anforderungen an die Planumsbeschaffenheit und Einbaubedingungen (z.B. Witterung) zu stellen sind als bei erdbautechnisch hergestellten mineralischen Dichtungen oder Kunststoffdichtungsbahnen. Bei nachträglichen Umbauten oder Sanierung von Teilstrecken können GTDs leicht freigelegt und durch einfaches Überlappen der Bahnen lokal repariert werden.



Bild 3 Ausführung von Abdichtungsarbeiten mit GTD nach RiStWag

6 Schlusswertung

Mit den im Verkehrswegebau eingeführten Richtlinien zum Schutz des Grundwassers (RiStWag) und Regelwerken zum Umgang mit Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltstoffen (M TS E) werden Regelbauweisen vorgestellt, die unter Verwendung von Geokunststoffen als Dichtungselement praxismgerechte und ökonomische Lösungen erlauben. Die Dichtungselemente KDB und GTD sind gegenüber erdbautechnisch hergestellten Dichtungen als mindestens gleichwertig zu beurteilen.

7 Verwendete und weiterführende Literatur

EBGEO 01/2010 – Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen (EBGEO)". Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik. Verlag Ernst & Sohn, 2010 (in Vorbereitung), Berlin.

EAG-GTD - Empfehlung zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen. Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik. Verlag Ernst & Sohn, 2002, Berlin.

Fischer (2007): Baustoffrecycling - Stellungnahme zum Arbeitsentwurf der „Bundesverwertungsverordnung“, Baustoff-Recycling-Bayern, Forum Fürstfeldbruck, 28.11.2007

Greve, J., Schmidt, F. & Vollmert, L. (2007)

Wirtschaftliche Kombination von Sekundärbaustoffen und Geokunststoffen – bewehrte Stützkonstruktion Lennestadt. 5. Geokunststoff-Kolloquium, Bad Lauterberg. Hrsg: NAUE GmbH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel.

M Geok E - Merkblatt für die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus, Ausgabe 2005. FGSV-Nr. 535, Köln.

M TS E - Merkblatt über Bauweisen für technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau, Ausgabe 2009. FGSV-Nr. 559, Köln.

TL BuB E-StB 09 - Technische Lieferbedingungen für Böden und Baustoffe im Erdbau des Straßenbaus, Ausgabe 2009. FGSV-Nr. 597, Köln.

TL Geok E-StB 05 - Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus, Ausgabe 2005. FGSV-Nr. 549, Köln.

RiStWag – Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten, Ausgabe 2002. FGSV-Nr. 514, Köln.

mit freundlichen Empfehlungen überreicht durch:



NAUE GmbH & Co. KG
Gewerbestraße 2
32339 Espelkamp-Fiestel
Telefon 05743 41-0
Telefax 05743 41-240
E-Mail info@naue.com
Internet www.naue.com