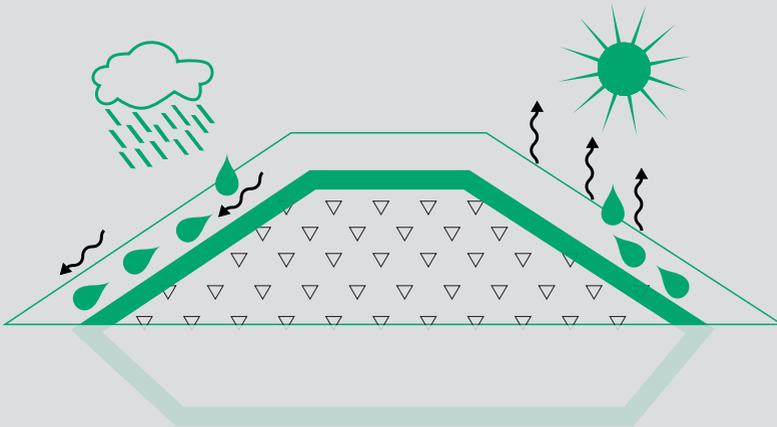


HANDBUCH ZUM EINSATZ VON GEOSYNTHETISCHEN DICHTUNGSSYSTEMEN BEI ANWENDUNGEN NACH M T S E (2017)

Ein Planungsleitfaden für die Anwendung von Dichtungssystemen
beim Bau von Technischen Sicherungsmaßnahmen unter Einsatz von
Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen



Mit freundlicher Empfehlung
überreicht von

IMPRESSUM

MKP - Müller-Kirchenbauer Ingenieurgesellschaft mbH

Dr.-Ing. Antje Müller-Kirchenbauer
E-Mail: amk@mkp-ingenieurgesellschaft.de

Prof. Dr.-Ing. Carsten Schlötzer
E-Mail: schloetzer@mkp-ingenieurgesellschaft.de

Eilveser Hauptstraße 45
31535 Neustadt
Telefon: 05034 - 2560720
Internet: www.mkp-ingenieurgesellschaft.de

M TS E MerkblattSeite *Kapitel*

Inhalt	Seite
Vorwort	4
1 Einleitung	5
2 Bauweise A mit witterungsempfindlichen Abdichtungskomponenten ohne Sickerschicht (siehe M TS E 2017, Kapitel 4.2)	7
2.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017).....	7
2.2 Ausführungsvorschläge mit Geokunststoffen für Bauweise A	10
3 Bauweise B mit witterungsempfindlichen Abdichtungskomponenten und Sickerschicht (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.3)	12
3.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017).....	12
3.2 Ausführungsvorschläge mit Geokunststoffen für Bauweise B	12
4 Bauweise C mit witterungsunempfindlicher Abdichtungskomponente (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.4)	14
4.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017).....	14
4.2 Ausführungsvorschläge mit Geokunststoffen für Bauweise C.....	14
5 Bauweise D mit Kern aus Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.5)	16
6 Bauweise E, Variante 1 (E.1) mit schwach durchlässigem Baukörper aus Böden mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.6)	17
6.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017).....	17
6.2 Ausführungsvorschlag mit Geokunststoffen für Bauweise E (Variante 1).....	17
7 Bauweise E, Variante 2 (E.2) mit schwach durchlässigem Baukörper aus Böden mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.6)	18

S. 9 *Kap. 4.2*S. 10 *Kap. 4.3*S. 11 *Kap. 4.4*S. 12 *Kap. 4.5*S. 13 *Kap. 4.6*S. 14 *Kap. 4.6*

	Seite
7.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017).....	18
7.2 Ausführungsvorschlag mit Geokunststoffen für Bauweise E (Variante 2).....	19
8 Anwendungs- und Bemessungshinweise	20
8.1 Allgemeines	20
8.2 Geosynthetische Tondichtungsbahn (Bentonitmatte)	21
8.2.1 Einbauhinweise	21
8.2.2 Hinweise zur Überschüttung	22
8.2.3 Bemessungshinweise	23
8.3 Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) als Dichtungselement	23
8.3.1 Einbauhinweise	23
8.4 Geosynthetische Dränelemente (Dränmatten)	24
8.4.1 Einbauhinweise	24
8.4.2 Bemessungshinweise	25
8.5 Geogitter	26
8.5.1 Einbauhinweise	26
8.5.2 Bemessungshinweise	26
8.6 Umweltverträglichkeit	28
9 Qualitätssicherung / Bauvertragsgrundlage	29
10 Hinweise zur Ausschreibung / Leistungsbeschreibung	31
10.1 Allgemeines	31
10.2 Hinweise zur Ausschreibung von Bentonitmatten	31
10.3 Hinweise zur Ausschreibung von Kunststoffdichtungsbahnen	33

M TS E MerkblattSeite *Kapitel***S. 15** *Kap. 5.1***S. 21** *Kap. 5.5***S. 24** *Kap. 5.6***S. 28** *Kap. 5.8*

Verzeichnis der Tabelle und Abbildungen

Abbildung 1	Ausführungsvorschlag für einen Damm in Bauweise A mit Geokunststoffen, Damm mit witterungsempfindlichen Abdichtungskomponenten ohne Sickerschicht	10
Abbildung 2	Ausführungsvorschlag für einen Wall in Bauweise A mit Geokunststoffen, Damm mit witterungsempfindlichen Abdichtungskomponenten ohne Sickerschicht	11
Abbildung 3	Ausführungsvorschlag für die Bauweise B mit Geokunststoffen	13
Abbildung 4	Ausführungsvorschlag für einen Damm für die Bauweise C mit Geokunststoffen	14
Abbildung 5	Wall für die Bauweise C mit witterungsunempfindlicher Abdichtungskomponente	15
Abbildung 6	Damm mit Kern aus Boden oder Baustoff mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen - Varianten der Bauweise D zur Vermeidung eines kapillaren Wassertransportes im Kern, mit eingerücktem Kern (rechts), bzw. Variante 2 mit Abdichtungstreifen (links)	16
Abbildung 7	Ausführungsvorschlag für einen Damm in Bauweise E (Variante 1) mit Geokunststoffen	17
Abbildung 8	Ausführungsvorschlag für einen Damm in Bauweise E (Variante 2) mit Geokunststoffen	19
Abbildung 9	Ausführungsvorschlag für einen Wall in Bauweise E (Variante 2) mit Geokunststoffen	20
Tabelle 1	Exemplarische Secugrid® Abminderungsfaktoren	28
Abbildung 10	Qualitätsmanagement	30

Vorwort

Der Einsatz von Bodenaushub, industriellen Nebenprodukten und rezyklierten Baustoffen in Erdbauwerken trägt zur Ressourcenschonung und der aktuell notwendigen Reduktion von Deponieraum bei. Dennoch besteht ein besonderer Handlungsbedarf für die Auswahl von Technischen Sicherungsmaßnahmen, die beim Einbau von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (Ersatzbaustoffe) erforderlich werden.

Das Merkblatt über Bauweisen für Technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau (M T S E, 2017) regelt hierbei verschiedene Bauweisen, die als Technische Sicherungsmaßnahmen anwendbar sind.

Die im Zuge der Mantelverordnung zukünftig bundeseinheitlich anzuwendende Ersatzbaustoffverordnung, mit der erstmals bundeseinheitliche und rechtsverbindliche Anforderungen an das Recycling mineralischer Abfälle und deren Einsatz in technischen Bauwerken geschaffen werden sollen, nimmt auf die Bauweisen des genannten Merkblattes Bezug.

Bei der Auswahl der Baustoffe sind Kriterien wie Baukosten, Lebensdauer und Reparaturanfälligkeit entscheidend. Der Einsatz von Geokunststoffen kann dabei von hoher Effizienz sein, nicht zuletzt aufgrund der vergleichsweise einfachen Einbaubedingungen der gefertigten und qualitätsgesicherten Rollenware.

Initiiert von der Naue GmbH & Co. KG liegt nunmehr ein Handbuch als sogenannter Planungsleitfaden für den Einsatz von Geokunststoffen - insbesondere von Bentonitmatten - für die oben genannten Bauweisen vor. Im vorliegenden Handbuch werden im Zuge der Ausführungsbeispiele zunächst allgemeine Produktparameter mit jeweils zutreffenden Beispielen aus der Produktpalette der Firma Naue GmbH und Co. KG genannt. Das Handbuch richtet sich an Planer und Bauherren und enthält Ausführungsvorschläge unter Verwendung von Geokunststoffen für jede der im Merkblatt genannten Bauweisen. Es folgen produktspezifische Hinweise zur richtigen Anwendung und Bauausführung sowie spezielle Bemessungshinweise. Ein Überblick über die notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen sowie Hinweise zur Ausschreibung dieser Bauweisen schließen sich an.

1 Einleitung

Das Merkblatt über Bauweisen für Technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau (M TS E, 2017) schlägt spezielle Bauweisen für Technische Sicherungsmaßnahmen bei Erdbauwerken im Straßenbau vor. Diese Sicherungsmaßnahmen sollen die genannten Baustoffe - wie beispielsweise begrenzt belastetes Bodenmaterial bis zu einem Zuordnungswert Z 2 gemäß LAGA (2004), Recyclingmaterial, Stahlwerksschlacken oder Hausmüllverbrennungssaschen - vor dem Eintrag zu hoher Niederschlagsmengen und die Umwelt vor einer entsprechenden Auslaugung der belasteten Materialien und dem Eintrag von Schadstoffen in das Grundwasser schützen. Die im Merkblatt genannten Bauweisen sind in Abhängigkeit von den örtlichen Gegebenheiten und den erdbautechnischen Eigenschaften des zu sichernden Materials zu wählen. Sie gelten für das Hauptanwendungsgebiet der Straßendämme und Schutzwälle, sind aber prinzipiell auch auf andere Erdbauwerke übertragbar.

Die relevanten Entscheidungskriterien können zu einem Einsatz von **Geokunststoffen** führen, da diese Materialien die bereits im Vorwort angedeuteten Vorzüge wie zum Beispiel die einfachere Qualitätssicherung über Zertifizierungen und ein effizientes Baustellenhandling aufweisen. Eines der gewichtigsten Argumente für den Einsatz von Geokunststoffen für diese Fälle ist jedoch die Tatsache, dass aufgrund der geringen Schichtmächtigkeit von Geokunststofflösungen eine deutliche Reduktion der notwendigen Kubatur bei der Abdichtung erfolgen und demzufolge weiteres Einbauvolumen gewonnen werden kann. Im Wesentlichen befasst sich dieses Handbuch mit sogenannten Bentonitmatten als relevante Dichtungsbarriere. Gemäß DIN EN ISO 10318 (2015) werden diese als **geosynthetische Tondichtungsbahnen (GTD)** bzw. geosynthetische Tondichtungsbarrieren bezeichnet. Bei diesen Materialien handelt es sich um eine fabrikgefertigte Struktur aus geosynthetischen Materialien in Form eines Vliesstoffes und eines sogenannten Trägergeotextils, wobei die Dichtungsfunktion im Wesentlichen durch ein Tonmineral (meist Natriumbentonit) erfüllt wird, das zwischen mindestens zwei Lagen der genannten **Geotextilien** eingeschlossen wird. Im weiteren Verlauf des Handbuches wird in diesem Zusammenhang der Begriff **Bentonitmatte** verwendet.

Das Volumen eines 4 m hohen Dammes mit einer Kronenbreite von 10 m und einer Böschungseigung von 1 : 1,5 sowie einer Länge von 100 m beträgt etwa 6.400 m³. Das aufgrund einer 1,5 m mächtigen Tondichtung verlorene Volumen beträgt etwa 451 m³ pro 100 m Dammlänge. Bei Verwendung einer **Bentonitmatte** ergeben sich für den gleichen Damm nur 9 m³, welche als Dichtungsvolumen genutzt werden müssen.

Zum Sammeln und Ableiten von Niederschlägen, Grundwasser und/oder anderen Fluiden in der Ebene eines Materials werden geosynthetische Dränelemente eingesetzt, die im weiteren Verlauf des Handbuches als **Dränmatten** bezeichnet werden. Unabhängig von der jeweiligen Bauweise sind neben den anforderungskonformen Aufbauten zudem **Geogitter** als Bewehrungselemente in der Böschung und **Erosionsschutzmatten** oder **Vliesstoffe** als geotextile Schutzlagen auf **Kunststoffdichtungsbahnen** vorzusehen. Fahrbahndecken aus Asphalt oder Beton werden bei den nachfolgend näher beschriebenen Bauweisen nach M TS E (2017) grundsätzlich als dicht angesehen. Aus diesem Grund wird zunächst auf eine Abdichtung unterhalb der Fahrbahn verzichtet. Auf der sicheren Seite liegend kann hier jedoch zumindest für höher belastete Einbaumaterialien eine zusätzliche Barriere - beispielsweise unter Verwendung einer **Kunststoffdichtungsbahn** - eingebaut werden. Eine solche Maßnahme sichert das Gesamtsystem auch im Falle eines gegebenenfalls auflaufenden Reparaturstaus.

Folgende, hier grob in Stichworten genannte Bauweisen werden im M TS E (2017) vorgeschlagen:

Bauweise A (siehe M TS E, Kapitel 4.2):

Witterungsempfindliche Abdichtungskomponente ohne Sickerschicht

Bauweise B (siehe M TS E, Kapitel 4.3):

Witterungsempfindliche Abdichtungskomponente mit Sickerschicht

Bauweise C (siehe M TS E, Kapitel 4.4):

Witterungsunempfindliche Abdichtungskomponente

Bauweise D (siehe M TS E, Kapitel 4.5):

Kern aus Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen

Bauweise E (siehe M TS E, Kapitel 4.6):

Schwach durchlässiger Baukörper aus Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (Variante 1 und 2)

2 Bauweise A mit witterungsempfindlichen Abdichtungskomponenten ohne Sickerschicht (siehe M TS E, 2017 Kapitel 4.2)

2.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017)

Die für diese Bauweise A (Abbildung 1 und 2) genannte Witterungsempfindlichkeit wird vornehmlich dadurch geprägt, dass der Wassergehalt des Dichtungselements einen wesentlichen Einfluss auf dessen Dichtungswirksamkeit hat. Hinzu kommt eine entsprechende Frostempfindlichkeit. Folgende Anforderungen werden gemäß M TS E (2017) an die Bauweise A gestellt:

- Überdeckung der witterungsempfindlichen Dichtungsschicht mit 1,5 m Dammbaustoff und einer Oberbodenschicht (kann gemäß M TS E, 2017, Kapitel 5.5 für bestimmte Ausführungsvarianten mit Bentonitmatten auf 1,0 m reduziert werden)
- Differenz des Durchlässigkeitsbeiwertes des Dammbaustoffes (Bodenauflast) gegenüber dem Durchlässigkeitsbeiwert des Abdichtungselementes:
 $\Delta k_f > 1 \cdot 10^3 \text{ m/s}$ (wenn k_f Abdichtungselement $5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ ist, muss der Durchlässigkeitsbeiwert der Bodenauflast $k_{\text{Boden}} \geq 5 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ sein)
- Durchlässigkeitsbeiwert des Abdichtungselementes: $k_f < 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$

Hinweis: Der Bau dieser Variante mit einer mineralischen Dichtungsschicht beispielsweise aus Ton ist je nach Scherfestigkeit der verfügbaren Tone zumindest für bestimmte Böschungsneigungen nicht ohne Weiteres ausführbar.

Hinweise zur Umrechnung des im M T S E (2017) geforderten Durchlässigkeitsbeiwertes k (als Beispiel):

Die Kenngröße, mit der die Wasserdurchlässigkeit und somit die in erster Linie relevante Eigenschaft von Bentonit als Abdichtungsmaterial zunächst üblicherweise beschrieben wird, ist der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k [m/s]. Der Bestimmung des k -Werts liegt die DIN 18130 (1998) zugrunde, die für die Prüfung von Bodenproben konzipiert wurde. Bei Gültigkeit des linearen Gesetzes für die Wasserströmung in porösen Medien nach Darcy ergibt sich unter Berücksichtigung der Kontinuitätsbedingung durch Gleichsetzen:

$$v = \frac{\Delta Q}{A} = \frac{k \cdot \Delta h}{d}$$

Somit ist

$$k = \frac{\Delta q \cdot d}{A \cdot \Delta h \cdot \Delta t} \quad [m/s]$$

Hierin sind:

v = Filtergeschwindigkeit [m/s]

k = Wasserdurchlässigkeit [m/s]

ΔQ = Wassermenge/Messzeit [m³/s]

Δq = Wassermenge [m³]

Δt = Messzeit [s]

Δh = Standrohrspiegeldifferenz [m]

A = angeströmte Querschnittsfläche [m²]

d = durchströmte Schichtdicke [m]

$\Delta h/d = i$ = hydraulisches Gefälle [-]

Zur Vergleichbarkeit von Materialien unterschiedlicher Mächtigkeit (zum Beispiel einer Tondichtung mit einer wesentlich dünneren Bentonitmatte) wird die Wasserdurchlässigkeit in den aktuellen Regelwerken mit der sogenannten Permittivität [1/s] beschrieben. Hierbei wird der oben genannte k -Wert auf die Mächtigkeit des durchströmten Mediums bezogen.

Mit $\psi = \frac{k}{d}$ folgt $\psi = \frac{\Delta Q}{A \cdot \Delta h \cdot \Delta t} \quad [1/s]$

Der Bemessungswert (Ψ_{cal}) – unter Berücksichtigung von Materialstreuungen, der Einwirkungen während des Einbaus, von Beanspruchungen während der Anwendung und der maßgebenden Langzeitpermittivität – wird mit entsprechenden Faktoren zur Herstellung des erforderlichen Sicherheitsniveaus beaufschlagt und ergibt sich zu:

$$\Psi_{\text{cal}} = A_1 \cdot A_2 \cdot \Psi_k < \Psi_{\text{zul}}$$

Hierin sind:

A_1 : Veränderungen der Dichtungseigenschaften an den Überlappungen / Fügstellen (Herstellerangaben, üblich etwa 1 - 1,1).

A_2 : Veränderungen der Dichtungseigenschaften des Bentonits infolge eines Kationenaustausches (Herstellerangaben, üblich etwa 6,0).

Ψ_k : charakteristische Permittivität der produktionsfrischen Bentonitmatte als 95%-Fraktilewert aus der statistischen Auswertung der Produktüberwachung (Herstellerangaben, üblich $\leq 5 \cdot 10^{-9}$ 1/s).

Ψ_{cal} : Permittivität (Bemessungswert) inklusive Materialstreuung und Einwirkungen

Hinweis: Die Abminderungsfaktoren müssen gemäß den Versuchshinweisen in der LAGA-Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ BQS 5-5 (2018) ermittelt und von den Herstellern angegeben werden sowie geprüft und extern bestätigt sein. Eine vorhandene LAGA-Eignungsbeurteilung – wie z. B. für Bentofix® NSP 4900 LAGA und B 4000 LAGA – impliziert diese Angaben. Zudem ist bei Produkten mit LAGA-Eignungsbeurteilung eine Beständigkeit von über 100 Jahren gegeben.

Aus der Durchlässigkeitsanforderung gemäß M TS E (2017) von $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s bei einer Dickenforderung für die mineralische Dichtungsschicht von 0,5 m ergibt sich für die Bauweise A ohne Sickerschicht eine erforderliche Permittivität (Ψ_{zul}) für das Dichtungselement von:

$$\Psi_{\text{zul}} = k/d = 1 \cdot 10^{-9} \text{ 1/s.}$$

Der Bemessungswert, unter Berücksichtigung von Materialstreuungen sowie der Einwirkungen während des Einbaus und der anschließenden Exposition, ergibt nach dem LAGA-Eignungsnachweis vom 20.09.2018 für die Bentonitmatte-Type Bentofix® NSP 4900 LAGA

$$\Psi_{\text{cal}} = 1,76 \cdot 10^{-8} \text{ 1/s}$$

und liegt damit über dem im Merkblatt geforderten Wert für die Bauweise A. Hier kann demzufolge, wie nachfolgend in Kapitel 2.2 beschrieben, eine beschichtete Bentonitmatte zum Einsatz kommen.

2.2 Ausführungsvorschläge mit Geokunststoffen für Bauweise A

Für die Bauweise A kann als witterungsempfindliches Dichtungselement (Abbildung 1 und 2) unter Einhaltung des oben genannten Anforderungskriteriums trotzdem eine vollflächig über alle Komponenten kraftschlüssig vernadelte, Schubkraftübertragende Bentonitmatte, bestehend aus einem Trägergewebe, einem Deckvliesstoff und einer dazwischen angeordneten hochquellfähigen Natriumbentonitpulver-Dichtungsschicht, zum Einsatz kommen. Auf der Gewebe-Trägerlage muss dabei eine Polyethylenbeschichtung vollflächig aufgebracht sein (z. B. Bentofix® X5F BFG 5300).

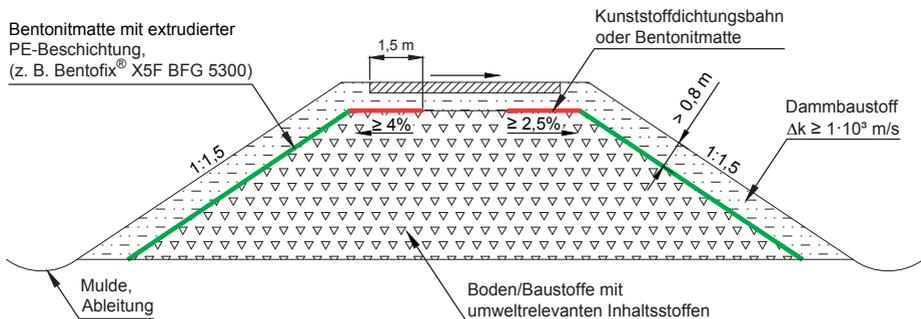


Abbildung 1: Ausführungsvorschlag für einen Damm in Bauweise A mit Geokunststoffen, Damm mit witterungsempfindlichen Abdichtungskomponenten ohne Sickerschicht

Hinweis: Beim Einsatz einer Bentonitmatte (z. B. Bentofix® X5F BFG 5300) mit einer zusätzlichen PE-Beschichtung ist darauf zu achten, dass die Beschichtung der Bentonitmattenseite oblenkend verlegt wird.

Die Beschichtung kann mit unterschiedlichen Flächenmassen (z. B. 200 (X2), 500 (X5F) oder 1000 g/m² (X10F)) versehen sein und zudem unterschiedliche Kontaktreibungswinkel durch Oberflächenstrukturen aufweisen.

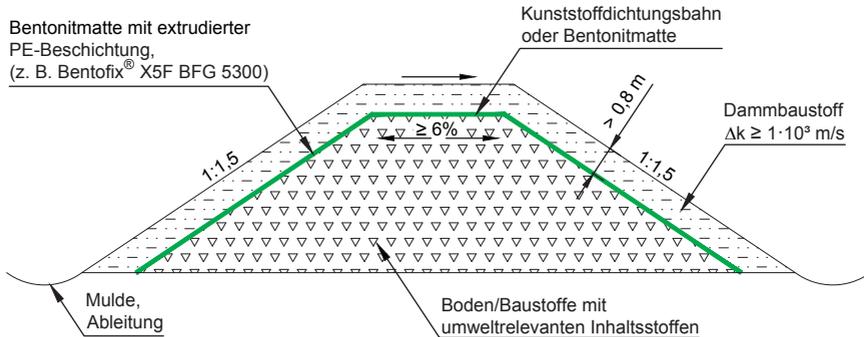


Abbildung 2: Ausführungsvorschlag für einen Wall in Bauweise A mit Geokunststoffen, Dammbauweise mit witterungsempfindlichen Abdichtungsbauteilen ohne Sickerschicht

Hinweis: Bei Böschungsneigungen steiler als 1 : 2,5 ist ein Geogitter gemäß erdstatistischem Standsicherheitsnachweis zu berücksichtigen (Bemessungshinweise in Kapitel 8.5). Dieser Hinweis gilt sinngemäß auch für alle nachfolgenden Bauweisen.

Zum Schutz vor Beschädigungen und zur Verhinderung einer Austrocknung oder einer Frostbeanspruchung der Bentonitmatten ist nach M TS E (2017) eine 1,5 m mächtige Überschüttung üblicherweise erforderlich. Eine Reduzierung dieser Regelüberdeckung ist dann zulässig, wenn die Systemwirksamkeit mit entsprechend kleineren Überdeckungen aufgrund langfristiger produktspezifischer Eignungsnachweise im Feldversuch erbracht wurde. Dies gilt beispielsweise für die in Müller-Kirchenbauer (2009) seit zwei Jahrzehnten untersuchten Produkte. Auf diese Zusammenhänge wird in Kapitel 8.2.2 noch weiter eingegangen.

Hinweis: Aufgrund der genannten Polyethylen-Beschichtung ist der notwendige Schutz gegen Austrocknung und Durchwurzelung bereits gegeben. Demnach ist lediglich für einen ausreichenden Frostschutz Sorge zu tragen, der je nach Frostschutzzone mit einer Mächtigkeit von $\geq 0,8$ m aufgebracht werden kann. Die in M TS E (2017) genannte 1,5 m mächtige Bodenüberdeckung kann demnach reduziert werden. Die Standsicherheit ist nach EBGE (2010) nachzuweisen.

3 Bauweise B mit witterungsempfindlichen Abdichtungskomponenten und Sickerschicht (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.3)

3.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017)

Aufgrund der für diese Bauweise B (Abbildung 3) anzuordnenden Sickerschicht ergibt sich eine verminderte Anforderung an den Durchlässigkeitsbeiwert der Dichtungsschicht sowie der Wegfall einer Anforderung an den Durchlässigkeitsbeiwert des Dammbaumaterials:

- Überdeckung der witterungs- bzw. auch durchwurzelungssensiblen Dichtungsschicht mit 1,5 m Dammbaustoff und einer Oberbodenlage (kann für bestimmte Baustoffe bei entsprechenden Eignungsnachweisen reduziert werden)
- Durchlässigkeitsbeiwert des Dichtungsbaustoffes: $k_f < 5 \cdot 10^{-9}$ m/s

Gemäß M TS E (2017, Kapitel 5.5) kann bei einem Aufbau mit Sickerschicht (z. B. Secudrain® Dränmatte) von einer vergleichbaren Dichtungswirksamkeit einer Bentonitmatte im Vergleich zu einer Tondichtung (bei $k = 5 \cdot 10^{-9}$ m/s, $d = 0,5$ m und Wasserauflast = 0,3 m) ausgegangen werden, wenn die Dichtungsschichten die gleichen Permittivitäten ψ [1/s] aufweisen. Eine zulässige Permittivität ψ_{zul} von $2,7 \cdot 10^{-8}$ [1/s] für Bauweise B ist einzuhalten (bei $k = 5 \cdot 10^{-9}$ m/s, $d = 0,5$ m und Wasserauflast = 0,3 m).

Wie bereits erläutert, ergibt der Bemessungswert, unter Berücksichtigung von Materialstreuungen sowie der Einwirkungen während des Einbaus und der anschließenden Exposition, nach dem LAGA-Eignungsnachweis vom 20.09.2018 für die Bentonitmatten-Type Bentofix® NSP 4900 LAGA den folgenden Wert und erfüllt somit die M TS E (2017) Anforderung:

$$\psi_{cal} = 1,76 \cdot 10^{-8} \text{ 1/s.}$$

3.2 Ausführungsvorschläge mit Geokunststoffen für Bauweise B

Für die Bauweise B kann als witterungsempfindliches Dichtungselement unter Einhaltung des oben genannten Durchlässigkeitsbeiwertes eine vollflächig über alle Komponenten kraftschlüssig vernadelte, schubkraftübertragende Bentonitmatte ohne PE-Beschichtung (z. B. Bentofix® NSP 4900 LAGA) zum Einsatz kommen.

Oberhalb dieser Bentonitmatte wird dann ein entsprechendes Dränelement angeordnet. Es bieten sich sogenannte Kombinationsprodukte an, die zur Sicherstellung der erforderlichen Filterstabilität einen vorab bereits fixierten und gegenüber den überdeckenden Erdstoffen dimensionier-

baren Filtrvliesstoff aufweisen (z. B. Secudrain® 201 WD 601). Produkte mit vergleichsweise hohen Kontaktreibungswinkeln (z. B. mechanisch verfestigte Vliesstoffe) wirken sich günstig für die notwendigen Gleitsicherheitsnachweise aus. Zudem ist die Filterstabilität zum umliegenden Boden nachzuweisen (gemäß Glabisch 2019).

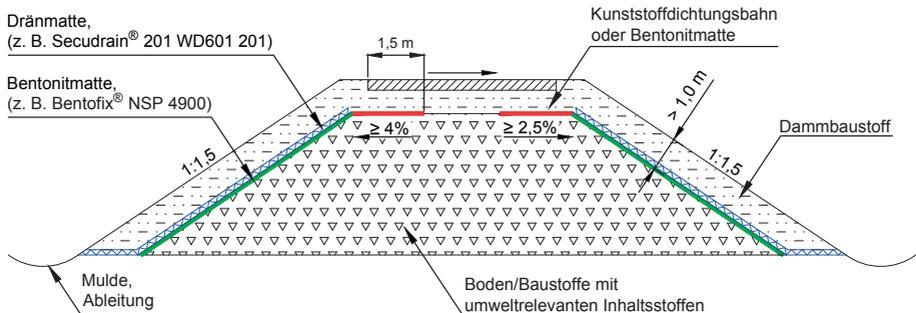


Abbildung 3: Ausführungsvorschlag für die Bauweise B mit Geokunststoffen

Hinweis: Für Produkte, für die entsprechende Eignungsnachweise mit geringeren Überdeckungshöhen vorliegen, kann die im M TS E (2017) geforderte Überdeckung von 1,5 m reduziert werden. In Müller-Kirchenbauer (2009) wird beispielsweise ein langjähriger Funktionsnachweis für eine pulverbefüllte Natrium-Bentonitmatte Bentofix® NSP 4900 mit einer Bodenüberdeckung von $\geq 1,0$ m erbracht.

Hinweis: Bei der Auswahl der Dränmatte für die Anwendung als Entwässerungsschicht sind die Abflussleistung, die Filterwirksamkeit, die Robustheit sowie die Schutzwirksamkeit zu beachten. Produkte mit vergleichsweise hohen Kontaktreibungswinkeln (beispielsweise mechanisch verfestigte Vliesstoffe) wirken sich günstig auf die notwendigen Gleitsicherheitsnachweise aus. Auch die Beständigkeit dieser Elemente muss über die vorgesehene Funktionsdauer nachgewiesen werden. Bei z. B. Secudrain® 201 WD 601 201 kann von einer Beständigkeit von 100 Jahren ausgegangen werden (siehe CE-Leistungserklärung, Declaration of Performance (DoP)). Die Standsicherheit ist nach EBGeo (2010) nachzuweisen.

4 Bauweise C mit witterungsunempfindlicher Abdichtungskomponente (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.4)

4.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017)

Die bei dieser Bauweise C (Abbildung 4 und 5) mögliche Einsparung der für die Bauweisen A und B notwendigen Überdeckungen erfordert eine witterungsunempfindliche Abdichtungskomponente. Es ergeben sich folgende Anforderungen:

- Die Überdeckung ist projektbezogen festlegbar.
- Das Abdichtungssystem ist witterungsunempfindlich.

4.2 Ausführungsvorschläge mit Geokunststoffen für Bauweise C

Kunststoffdichtungsbahn,
(z. B. Carbofol® 612) oder
Bentonitmatte mit extrudierter
PE-Beschichtung,
(z. B. Bentofix® X5F BFG 5300)

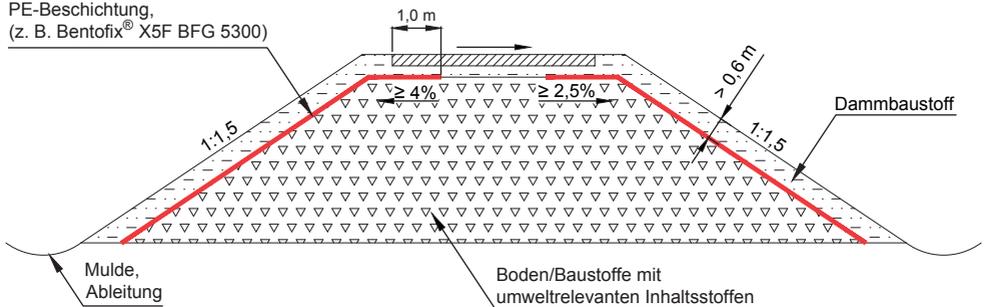


Abbildung 4: Ausführungsvorschlag für einen Damm für die Bauweise C mit Geokunststoffen

Hinweis: Die Mindestüberdeckung einer Kunststoffdichtungsbahn bei der Anwendung in der Bauweise C sollte 0,60 m betragen (in Anlehnung an RiStWag, 2016, Kap. 7.3).

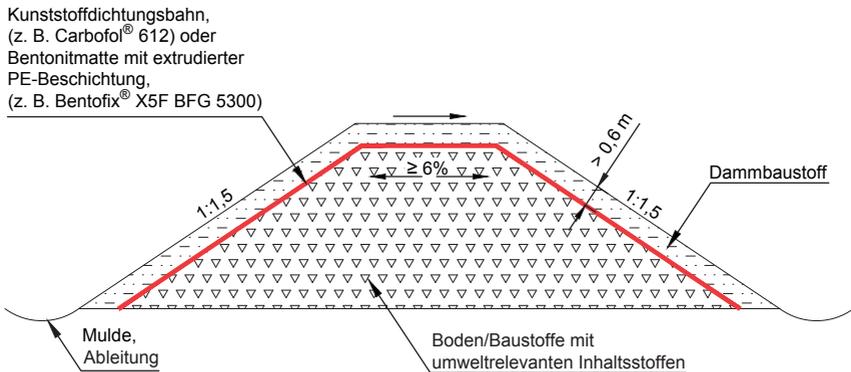


Abbildung 5: Wall für die Bauweise C mit witterungsunempfindlicher Abdichtungskomponente

Für Bauweise C kann als witterungsunempfindliches Dichtungselement eine Kunststoffdichtungsbahn (z. B. Carbofol® 612) mit einer Dicke von $\geq 2,5$ mm zum Einsatz kommen. Alternativ kann eine wie bereits für die Bauweise A beschriebene PE-beschichtete Bentonitmatte (z. B. Bentofix® X5F BFG 5300) gewählt werden (siehe Kapitel 2.2). Die Beständigkeit der Kunststoffdichtungsbahn bzw. Bentonitmatte muss für die geplante Funktionsdauer nachgewiesen werden. Die Standsicherheit ist grundsätzlich nach EBGE0 (2010) nachzuweisen.

Die Mächtigkeit der Überdeckung einer witterungsunempfindlichen Abdichtungskomponente, wie z. B. einer Carbofol® Kunststoffdichtungsbahn, ist entsprechend der vorgesehenen Bepflanzung auszuwählen.

Für die Überdeckung gelten bei Bentonitmatten die bereits in Kapitel 2.2 und 3.2 in den entsprechenden Hinweiskästen gegebenen Überdeckungsempfehlungen.

Kunststoffdichtungsbahnen müssen ggf. vor Beschädigungen durch die umgebenden Böden geschützt werden. Dabei eignen sich besonders mechanisch verfestigte Vliesstoffe. Auch geeignet, aber auf Böschungen schwerer einzubauen, sind Bodenmaterialien mit Körnungen von 0/2 mm oder 0/8 mm in einer Mächtigkeit von 10 bis 20 cm.

Hinweis: Als Schutzlage auf einer Kunststoffdichtungsbahn eignen sich beispielsweise mechanisch verfestigte Secutex® Vliesstoffe in einer Dicke von

- mind. 5 mm bei fein- und gemischtkörnigen Böden
- mind. 8 mm bei grobkörnigen Böden (SE, SW, SI, GE, GW und GI)
- mind. 10 mm bei größeren Kiesböden

5 Bauweise D mit Kern aus Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.5)

Bei dieser Bauweise D (Abbildung 6) erfolgt der Einbau der Böden und Baustoffe mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen nicht im gesamten Damm, sondern nur im Kernbereich des Damms. Für diese Bauweisen sind zunächst keine Abdichtungssysteme vorgesehen. Für die Drän- (an den Böschungen – in Anlehnung an Bauweise B) und ggf. notwendigen Filterebenen (zwischen Boden/Baustoff im Kern und Dammbaustoff) sind Geokunststoffe jedoch notwendig. Zudem sollte hinsichtlich der einleitend bereits gegebenen Hinweise der Einsatz einer zusätzlichen Abdichtung unterhalb der Fahrbahn, beispielsweise unter Verwendung einer Kunststoffdichtungsbahn oder Bentonitmatte, überdacht werden und nicht, wie in Abbildung 6 dargestellt, nur als Streifen am Rand der Fahrbahn.

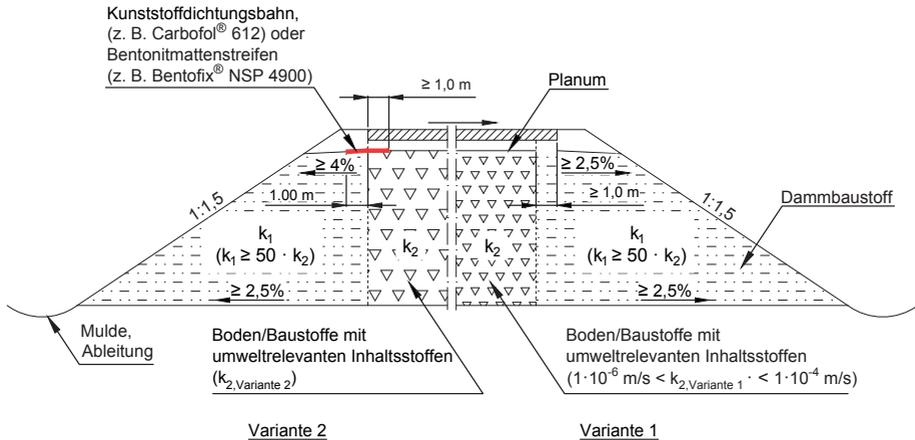


Abbildung 6: Damm mit Kern aus Boden oder Baustoff mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen - Varianten der Bauweise D zur Vermeidung eines kapillaren Wassertransportes im Kern, mit eingrücktem Kern (rechts), bzw. Variante 2 mit Abdichtungstreifen (links)

Hinweis: Bei der Bauweise D besteht die Gefahr von seitlich eindringendem Niederschlagswasser, was zu Auswaschungen von umweltrelevanten Inhaltsstoffen führen kann. Eine zusätzliche Abdichtung unterhalb der Fahrbahn, beispielsweise unter Verwendung einer Carbofol® Kunststoffdichtungsbahn oder Bentofix® Bentonitmatte, ist zu empfehlen.

6 Bauweise E, Variante 1 (E.1) mit schwach durchlässigem Baukörper aus Böden mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.6)

6.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017)

Bei dieser Bauweise E (Abbildung 7) wird von einem Bau des gesamten Dammes oder Walles aus einem vergleichsweise schwach durchlässigen Boden oder Baustoff mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen ausgegangen. Insofern wird hier ohne Dichtungsschicht, allerdings mit einer Sickerschicht sowie einem sogenannten Hochbord zur Fassung des Straßenoberflächenwassers gearbeitet. Wesentliche Anforderungen sind:

- Durchlässigkeitsbeiwert des Dammbaustoffes $k_f \leq 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
- Anordnung eines Hochbordes zur Fassung des Straßenoberflächenwassers
- Anordnung einer Sickerschicht in der Böschung

6.2 Ausführungsvorschlag mit Geokunststoffen für Bauweise E (Variante 1)

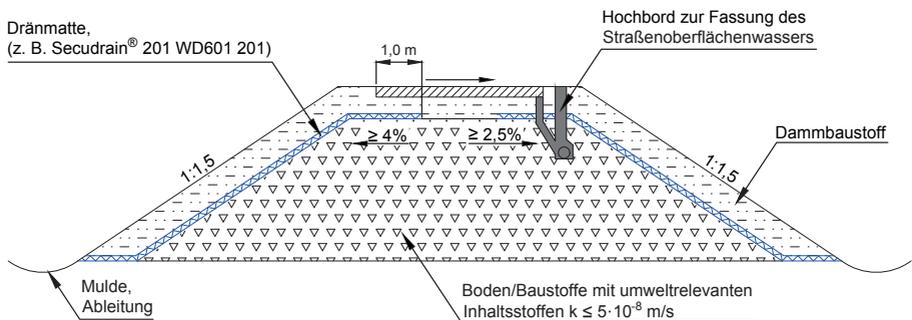


Abbildung 7: Ausführungsvorschlag für einen Damm in Bauweise E (Variante 1) mit Geokunststoffen

Hinweis: Dränmatten mit vergleichsweise hohen Kontaktreibungswinkeln (beispielsweise Dränmatten mit mechanisch verfestigten Vliesstoffen) wirken sich günstig auf die notwendigen Gleitsicherheitsnachweise aus. Zudem ist die Filterstabilität zum umliegenden Boden nachzuweisen (gemäß Glabisch 2019). Die Standsicherheit ist nach EBGEO (2010) nachzuweisen. Weitere Hinweise zu Dränmatten sind in Kapitel 3.2 und 8.4. beschrieben.

Für die Bauweise E.1 kann in der Böschung eine Dränmatte, z. B. Secudrain® 201 WD 601 201, zur Anwendung kommen.

Es bieten sich sogenannte Kombinationsprodukte an, die zur Sicherstellung der erforderlichen Filterstabilität einen vorab bereits fixierten und gegenüber den überdeckenden Erdstoffen dimensionierbaren Filtervliesstoff aufweisen (z. B. Secudrain® 201 WD 601 201).

7 Bauweise E, Variante 2 (E.2) mit schwach durchlässigem Baukörper aus Böden mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen (siehe M TS E, 2017, Kapitel 4.6)

7.1 Anforderungen gemäß M TS E (2017)

Bei dieser Bauweise E (Abbildung 8) wird, wie bei Variante 1, von einem Bau des gesamten Dammes oder Walles aus einem ebenfalls vergleichsweise schwach durchlässigen Boden oder Baustoff mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen ausgegangen. Da hier jedoch eine um eine halbe Zehnerpotenz undurchlässigere Anforderung an den Durchlässigkeitsbeiwert gestellt wird (als im Vergleich zu der Variante 1), kann das Straßenoberflächenwasser frei über die Böschung abfließen. Ansonsten wird hier ebenfalls ohne Dichtungsschicht sowie mit einer Sickerschicht gearbeitet. Wesentliche Anforderungen sind:

- Durchlässigkeitsbeiwert des Dammbaustoffes: $k_f \leq 1 \cdot 10^{-8}$ m/s
- undurchlässige Schicht (Fahrbahn bei einem Damm, Abdichtungsebene bei einem Wall) im Kronenbereich

Hinweis: Bei der Bauweise E (Variante 1 und 2) besteht die Gefahr von seitlich eindringendem Niederschlagswasser, was zu Auswaschungen von umweltrelevanten Inhaltsstoffen führen kann. Eine zusätzliche Abdichtung unterhalb der Fahrbahn und/oder an den Böschungen (gemäß Bauweise A oder B), beispielsweise unter Verwendung einer Carbofol® Kunststoffdichtungsbahn oder Bentofix® Bentonitmatte, ist zu empfehlen.

7.2 Ausführungsvorschlag mit Geokunststoffen für Bauweise E (Variante 2)

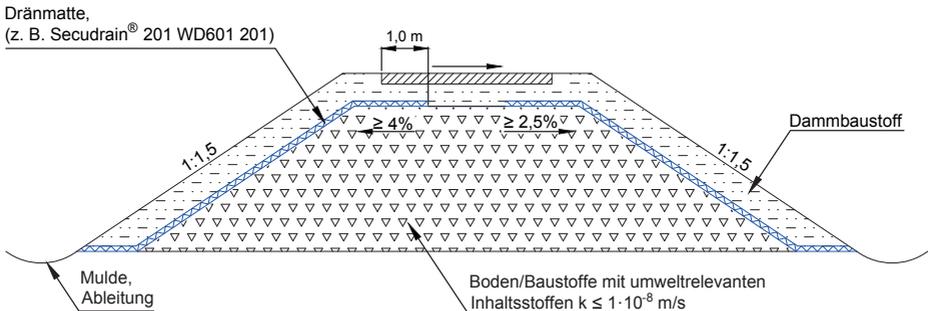


Abbildung 8: Ausführungsvorschlag für einen Dammbauweise E (Variante 2) mit Geokunststoffen

Bei der Bauweise E ist keine Abdichtungskomponente vorgesehen, jedoch auf beiden Seiten des Damms bzw. Walles eine Dränmatte als Sickerschicht.

Hinweis: Für die Dränmatte gelten die gleichen Forderungen wie in Kapitel 3.2, 6.2 und 8.4 beschrieben.

Für die Bauweise E sieht die M TS E (2017) zusätzlich beim Dammbauweise eine dichte Asphaltdecke vor. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass dieses System langjährig funktionstüchtig ist. Durchsickerndes Niederschlagswasser würde dann in den Dammbauweise eindringen und zu Auswaschungen von umweltrelevanten Inhaltsstoffen führen. Daher ist ein Dichtungselement (Bentonitmatte, z. B. Bentofix® NSP 4900 oder Kunststoffdichtungsbahn, z. B. Carbofol® 612) im Kronenbereich zu empfehlen.

Grundsätzlich besteht bei dieser Bauweise wie bei der Bauweise D die Gefahr, dass Niederschlagswasser eindringen kann, sodass es zu Auswaschungen von inhaltsrelevanten Stoffen kommen kann. Ein Abdichten der seitlichen Böschungen gemäß Bauweise B (Kapitel 3) oder C (Kapitel 4) ist empfehlenswert.

Hinweis: Anforderungen für die Bentonitmatte bzw. Kunststoffdichtungsbahn finden sich bei den Bauweisen B (Kapitel 3) und C (Kapitel 4).

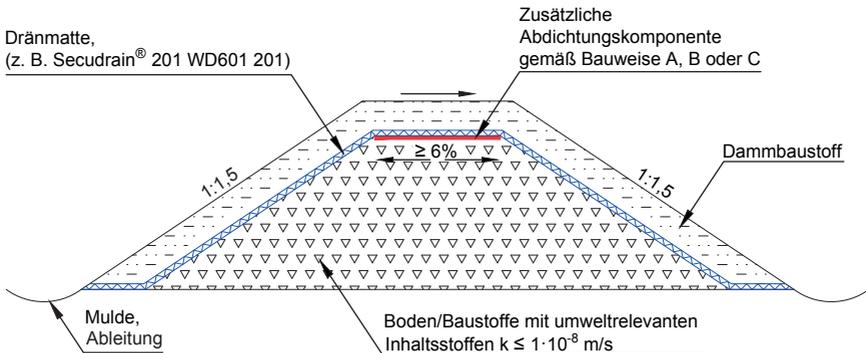


Abbildung 9: Ausführungsvorschlag für einen Wall in Bauweise E (Variante 2) mit Geokunststoffen

Im Falle eines reinen Wallbauwerkes (Abbildung 9) muss im Kronenbereich ein Dichtungselement angeordnet werden. Da für diesen Fall kein Hinweis auf die Witterungsbeständigkeit vorliegt, kann diese Funktion einerseits eine Kunststoffdichtungsbahn (z. B. Carbofol® 612), eine Bentonitmatte (Bentofix® NSP 4900 LAGA) oder eine beschichtete Bentonitmatte (Bentofix® X5F BFG 5300) übernehmen. Die Standsicherheit ist nach EBGE (2010) nachzuweisen.

8 Anwendungs- und Bemessungshinweise

8.1 Allgemeines

Die wesentlichen Anwendungs- und Bemessungshinweise für geosynthetische Filter-, Drän- und Abdichtungselemente sind im M TS E (2017) sorgfältig ausgearbeitet und entsprechend zu berücksichtigen. Die wichtigsten Details sowie wichtige ergänzende Aspekte sind im Folgenden jeweils als Einbau- und Bemessungshinweise zusammengestellt. Die jeweiligen Verlegevorschriften der Hersteller sind zwingend zu beachten.

Grundsätzlich dürfen Abdichtungselemente im Gebrauchszustand nicht durch Zugkräfte beansprucht werden. Dies ist besonders bei Mulden, Gräben und an steilen Böschungen zu beachten. Auftretende Kräfte müssen über Reibung von den Abdichtungselementen auf das Auflager übertragen werden. Zudem können die Reibungseigenschaften der Dichtungsschichten durch die Verwendung profilierter Materialien (Kunststoffdichtungsbahnen mit strukturierter Oberfläche, Bentonitmatten mit profilierter PE-Beschichtung) positiv beeinflusst werden.

Zur Bestimmung der sogenannten Abminderungsfaktoren sind in bestimmten Fällen produktspezifische Baustellenversuche durchzuführen. Für bestimmte Produkt-Erdstoff-Kombinationen, für die entsprechende Untersuchungen bereits vorliegen, sind die zu verwendenden Abminderungsfaktoren nachfolgend genannt.

Auftretende Scherkräfte (innere und äußere) dürfen die Scherwiderstände vom Boden und Geokunststoff nicht überschreiten. Alle Hangabtriebskräfte aus Bau- und Endzustand müssen über Reibung in jeder Schichtgrenze oder innerhalb der Elemente (Boden und Geokunststoff) übertragen werden. In bestimmten Fällen kann die Adhäsion (siehe GDA E 3-8) zur Bestimmung der Scherwiderstände berücksichtigt werden.

***Hinweis:** Beim Auftreten von Defizitkräften (z. B. Hangabtriebskraft > Scherwiderstand) in den Kontaktzonen (Geokunststoff/Geokunststoff und/oder Boden/Geokunststoff) ist der Einsatz von einem Secugrid® Geogitterbewehrungselement erforderlich.*

8.2 Geosynthetische Tondichtungsbahn (Bentonitmatte)

8.2.1 Einbauhinweise

Vor Beginn der Verlegearbeiten ist ein detaillierter Verlegeplan unter sorgfältiger Beachtung der Verlegehinweise des jeweiligen Herstellers auszuarbeiten. Die Verlegung sollte auf einem gut verdichteten, ebenen Planum erfolgen, das frei von Fremdstoffen zu sein hat, die eine Beschädigung der einzubauenden Produkte verursachen könnten. Ein freies Quellen der Bentonitmatte, d. h. eine Zunahme des Wassergehaltes vor Aufbringen der Auflast, muss grundsätzlich vermieden werden. Insofern ist eine Bodenauflast von mindestens 30 cm innerhalb des jeweiligen Arbeitstages aufzubringen, sodass eine frühzeitige Quellung des Bentonits infolge von Niederschlägen vermieden wird. Die Beständigkeit der Bentonitmatte muss für die geplante Funktionsdauer nachgewiesen werden. Bei Produkten mit LAGA-Eignungsbeurteilung ist eine Beständigkeit von über 100 Jahren gegeben. Mögliche Überlappungs- und Durchdringungskonstruktionen sind in der Verlegeanleitung des jeweiligen Herstellers beschrieben.

Die Verlegung muss falten- und verzerrungsfrei erfolgen. Sofern bei der verwendeten Bentonitmatte ein Unterschied zwischen Träger- und Deckgeotextil besteht, dürfen Ober- und Unterseite nicht verwechselt werden. Bereits verlegte Bahnen dürfen nicht befahren werden. Ein Begehen ist auf trockenen Bahnen möglich. Beim Verlegen und Ausrichten der Bentonitmatte darf die Auflagerfläche nicht nachteilig verändert werden.

Die konstruktive Ausbildung der Überlappung ist mit dem Hersteller der Bentonitmatte abzustimmen. Die Überlappungsbreite soll mindestens 30 cm in Längs- und Querrichtung betragen. Eine entsprechende Markierung der Bentonitmatte ist zweckmäßig. Die Überlappung ist stets faltenfrei und ohne Einschluss von Schmutz und Fremdkörpern auszuführen. Unvermeidbare Querüberlappungen sollten einen Mindestabstand von 1 m von einem Hoch- oder Tiefpunkt im Querschnitt eines Dichtungssystems haben. Überlappungen sind im Dachziegelverband auszuführen, d. h., die Überlappung ist so anzuordnen, dass in Wasserfließrichtung die höher liegende Bahn die folgende überdeckt. Vierfachüberlappungen (Kreuzstöße) sind zu vermeiden.

8.2.2 Hinweise zur Überschüttung

Die Überschüttung der Bentonitmatte muss gemäß M TS E (2017, Kapitel 3.5) im Vor-Kopf-Verfahren erfolgen, da sie nicht direkt befahren werden darf. Die Verteilung des Überschüttungsmaterials darf nur in Überlappungslängsrichtung erfolgen. Das Überschüttungsmaterial sollte weitgestuft mit möglichst kleinem Größtkorn sein. Bei größeren Komponenten können geotextile Schutzlagen erforderlich werden.

Wie bereits erläutert, ist zum Schutz vor Beschädigungen und zur Verhinderung von Austrocknung oder Frostbeanspruchung der geosynthetischen Tondichtungsbahnen nach M TS E (2017) üblicherweise eine 1,5 m mächtige Überschüttung erforderlich, die aber durchaus reduziert werden kann.

Eine Reduzierung dieser Regelüberdeckung ist dann zulässig, wenn die Systemwirksamkeit mit entsprechend kleineren Überdeckungen aufgrund langfristiger produktspezifischer Eignungsnachweise im Feldversuch nachgewiesen werden konnte. Dies gilt beispielsweise für die seit 1999 bis heute untersuchten und in Müller-Kirchenbauer (2009) im Zuge einer Dissertationsschrift der Leibniz Universität Hannover dokumentierten Produkte. Die diesbezüglich nunmehr insgesamt rd. zwanzig Jahre andauernde Messung und Auswertung der Wassermengen von Niederschlag, Drainage und Durchsickerung in einer Lysimeteranlage in Lemförde wurden im Zuge der im Jahr 2009 eingereichten und angenommenen Dissertation „Funktionsnachweis von geotextilen Tondichtungsbahnen“ ausführlich dokumentiert und die daraus gewonnenen Erkenntnisse veröffentlicht. Die Anlage wird aktuell immer noch betrieben. Durch eine geeignete Variation der Versuchsparameter (Überdeckungsmaterial, Auflast, Bentonitmattenmaterial) konnte deutlich gezeigt werden, dass für die untersuchten Produkte bei einer Überdeckung von 1,0 m eine langfristige Systemwirksamkeit von 99 % gegeben ist. Allgemein wird beim Einsatz einer Bentonitmatte eine Mindestbodenüberdeckung von 0,80 m empfohlen (RiStWag, 2016). Diese Mächtigkeit ist normalerweise auch ausreichend, um die Bentonitmatte vor Austrocknung und Frosteinwirkungen zu schützen, sodass die geforderte Wirksamkeit erfüllt wird. Beim Einsatz einer Polyethylen-beschichteten geosynthetischen Tondichtungsbahn wird die Zuverlässigkeit

des Dichtungssystems zudem deutlich erhöht, wenn die zusätzliche PE-Barriere oben auf der Bentonitmatte angeordnet ist. In diesem Fall wirkt diese PE-Barriere als Austrocknungsschutz für die Bentonitschicht sowie auch als wurzelhemmende Barriere.

Hinweis: Es ergeben sich folgende Überdeckungsempfehlungen:

- für Bentonitmatte mit PE-Beschichtung, z. B. Bentofix® X2 BFG 5300: 0,8 m
- für Bentonitmatte ohne PE-Beschichtung, z. B. Bentofix® NSP 4900: 1,0 m.

8.2.3 Bemessungshinweise

Wie bereits in Kapitel 2.1 erläutert, ist der Bemessungswert (Ψ_{cal}) der Permittivität wie folgt zu ermitteln:

$$\Psi_{\text{cal}} = A_1 \cdot A_2 \cdot \Psi_k < \Psi_{\text{zul}}$$

Hierin sind:

A_1 : Veränderungen der Dichtungseigenschaften an den Überlappungen / Fugestellen (Herstellerangaben, üblich etwa 1 - 1,1).

A_2 : Veränderungen der Dichtungseigenschaften des Bentonits infolge eines Kationenaustausches (Herstellerangaben, üblich etwa 6,0).

Ψ_k : charakteristische Permittivität der produktionsfrischen Bentonitmatte als 95-%-Fraktilewert aus der statistischen Auswertung der Produktüberwachung (Herstellerangaben, üblich $\leq 5 \cdot 10^{-9}$ 1/s).

8.3 Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) als Dichtungselement

8.3.1 Einbauhinweise

Für technische Erdbauwerke kommen gemäß M TS E (2017) ausschließlich Kunststoffdichtungsbahnen aus PEHD (Polyethylen hoher Dichte) mit einer Dicke von mindestens 2,5 mm zum Einsatz. Diese sind gemäß den Einbauvorgaben des Herstellers durch einen Fachverleger zu verlegen. Dies gilt insbesondere auch bei der Ausführung konstruktiv notwendiger Details, wie zum Beispiel Durchdringungen, Anschlüsse und Einbindungen von Abdichtungen. Zur Herstellung einer dauerhaft wasserdichten und kraftschlüssigen Verbindung werden die einzelnen Bahnen im gesamten Nahtbereich untereinander verschweißt. Die für ein erfolgreiches Schweißen notwendigen Hinweise, unter anderem auch zu den Witterungsbedingungen, gehen ebenfalls aus M TS E (2017) hervor und sind unbedingt zu beachten. Es gelten für die Fügung von Kunststoffdichtungsbahnen die Richtlinien des DVS (2016a, b).

Es ist auch bei diesen Materialien stets vorab ein Verlegeplan auszuarbeiten, der eine Optimierung der Schweißvorgänge sowie der geplanten Bauabläufe ausreichend berücksichtigt.

Kunststoffdichtungsbahnen müssen im eingebauten Zustand den berechneten zulässigen Untergrundverformungen folgen können. Sie dürfen nicht unzulässig gedehnt und ihre Oberflächen nicht beschädigt werden. Die maximal zulässige langfristige Dehnung infolge Zugbeanspruchung beträgt bei PEHD-Abdichtungsbahnen 3 % bis 6 %.

Für die Schutzlagen auf einer Kunststoffdichtungsbahn sind mechanisch verfestigte Vliesstoffe einzusetzen. Zudem müssen entsprechende Nachweise unter Verwendung sogenannter Schutzwirkungskeitsnachweise entweder produkt- oder projektspezifisch vorliegen.

Hinweis: Als Schutzlage auf einer Kunststoffdichtungsbahn eignen sich beispielsweise mechanisch verfestigte Secutex® Vliesstoffe in einer Dicke von

- mind. 5 mm bei fein- und gemischtkörnigen Böden
- mind. 8 mm bei grobkörnigen Böden (SE, SW, SI, GE, GW und GI)
- mind. 10 mm bei größeren Kiesböden

8.4 Geosynthetische Dränelemente (Dränmatten)

8.4.1 Einbauhinweise

Im Hinblick auf alle im Zusammenhang mit dem Verlegen der Dränmatten zu beachtenden Maßnahmen sind die Verlegevorschriften der Hersteller zu beachten. Grundsätzlich gilt, dass die mechanischen Beanspruchungen der Dränmatten durch das Auflager, das Verlegen, das Überschütten und durch den Baustellenverkehr, durch den Einbau geeigneter Auflager- und Überschüttungsmaterialien sowie die Wahl geeigneter Bauverfahren und Baugeräte auf das zulässige Maß zu reduzieren sind.

Die Verlegung muss falten- und verzerrungsfrei erfolgen. Die konstruktive Ausbildung der Überlappung ist mit dem Hersteller der Dränmatte abzustimmen (Verlegevorschrift des Herstellers). Die Überlappung ist faltenfrei und ohne Einschluss von Schmutz- und Fremdkörpern auszuführen. Überlappungen sind im Dachziegelverband auszuführen, d. h., dass in Wasserfließrichtung die höher liegende Bahn die folgende überdeckt. Vierfachüberlappungen (Kreuzstöße) sind zu vermeiden.

Verlegte Bahnen sind begehbar, dürfen jedoch erst nach Überschüttung befahren werden. Deshalb erfolgt der Einbau der ersten Lage der Deckschicht in Vor-Kopf-Bauweise und an Böschungen vom Böschungsfuß in Richtung Böschungskrone.

Wie bereits als Hinweis erläutert, sind bei der Auswahl der Dränmatte die Abflussleistung, die Filterwirksamkeit, die Robustheit sowie gegebenenfalls auch die Schutzwirksamkeit zu beachten. Es muss, wie stets in solchen Fällen, die während der Gebrauchsdauer zu erwartende Zusammendrückung berücksichtigt werden.

Die Fläche, auf der ein geosynthetisches Dränelement verlegt wird, muss eben sein. Die Aufrechterhaltung der Filterfunktion muss im Sinne der Filterregeln sowie der vorhandenen Kornabstufung der Auflager- sowie der Überdeckungsmaterialien zur gewählten Öffnungsweite sichergestellt sein.

Die Verbindung der Bahnen muss so erfolgen, dass der Wasserübertritt ungehindert ist und dass Bodenteilchen nicht eindringen können. Dabei kann der Dränern stumpf gestoßen und der Vliesstoff-Filter auf beiden Flächen mindestens 10 cm überlappt werden.

8.4.2 Bemessungshinweise

Bei der Bemessung von Dränelementen kann gemäß Merkblatt (FGSV 535, 2016) für normale Anwendungen eine Abflussleistung des Dränelementes von $q_{d,A} \geq 0,1 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m})$, gemessen bei einem hydraulischen Gefälle von $i = 1$ und unter Berücksichtigung eines Abminderungsfaktors $D = 2,0$ und einem Teilsicherheitsbeiwert $S = 1,1$, als ausreichend angenommen werden.

Der Abminderungsfaktor D des Merkblattes M Geok E (FGSV 535, 2016) schließt ein, dass

- die Bedingungen auf der Baustelle andere sind als im Labor,
- das Dränelement während des Einbaus beansprucht wird,
- es im Bereich der Überlappungen und Stöße zu Querschnittsveränderungen im Abflussprofil kommen kann,
- Bodeneinträge die Abflussleistung beeinflussen können.

Unter Berücksichtigung dieser Einwirkungen, die nicht weiter quantifiziert werden, geht das Merkblatt (FGSV 535, 2016) davon aus, dass eine charakteristische Langzeit-Abflussleistung von $q_{k,A,5\%} \geq 0,3 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m})$ ausreichend ist, um „normale“ Anwendungen im Straßenbau abzudecken.

8.5 Geogitter

8.5.1 Einbauhinweise

Auch für diese Produkte sind die Verlegevorschriften des jeweiligen Herstellers zwingend zu beachten. Die bereits mehrfach genannten Verlegepläne müssen im Vorfeld ausgearbeitet werden. Der Untergrund, auf dem die Geogitter verlegt werden sollen, muss auf die geforderte Höhenlage gebracht werden und frei von hervorstehenden Steinen oder Fremdstoffen sein. Einbaudichte und Material müssen den Vorgaben in der zugehörigen Erdstatik entsprechen. Während der Überschüttung darf das Geogitter keine Falten bilden. Es muss sichergestellt werden, dass das Geogitter durch den Einbaubetrieb nicht beschädigt und somit in seiner Wirkungsweise beeinträchtigt wird.

Geogitter müssen in Richtung der erwarteten Zugbeanspruchung verlegt werden. Ein Überlappungsstoß ist in dieser Richtung nicht zugelassen.

8.5.2 Bemessungshinweise

Erfahrungsgemäß können bei Böschungen mit einer steileren Neigung als 1 : 2,5 zur Sicherstellung der Standsicherheit zusätzliche Bewehrungselemente aus Geogittern erforderlich werden (M TS E, 2017). Für Erdkörper mit Bewehrungseinlagen aus Geokunststoffen sind Standsicherheitsnachweise zu erbringen. Entsprechende Bemessungshinweise zur Gleitsicherung enthält die EBGE0 (2010). Demnach sind die für die Berechnung maßgebenden Eigenschaften des Zusammenwirkens von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen der wirksame Scherwiderstand zwischen dem Geokunststoff und dem Boden sowie die Zugfestigkeit des Geogitters. Die Kraftübertragung erfolgt durch Reibung, Verzahnung und/oder Adhäsion zwischen der Bewehrung und dem Boden. Die für eine Bemessung erforderlichen Produktkenngößen sowie die bereits mehrfach genannten Abminderungsfaktoren sind grundsätzlich vom Hersteller zu erbringen.

Für den hauptsächlichen Anwendungszweck der Bewehrungsgitter werden die Bemessungsregeln und Bemessungsgleichungen im Abschnitt 8, „Deponiebau – Bewehrung oberflächenparalleler geschichteter Systeme“ der EBGE0 (2010) beschrieben. Der Bemessungswiderstand der Bewehrung ergibt sich gemäß den Korrekturen der Richtlinie für die Zulassung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff (Geogitter) für Deponieoberflächenabdichtungen (BAM, 2019) wie folgt:

$$R_{B,d} = \frac{R_{B,k0}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot \gamma_M \cdot \eta_M}$$

Hierin sind:

- $R_{B,d}$: Bemessungswiderstand der Bewehrung
- $R_{B,k0}$: Kurzzeitfestigkeit der Bewehrung
- γ_M : Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand
- η_M : lastabhängiger Korrekturfaktor

- A_1 : Abminderungsfaktor Kriechen und duktilen Versagen
- A_2 : Abminderungsfaktor Beschädigungen bei Einbau, Transport und Verdichtung
- A_3 : Abminderungsfaktor Fugen, Nähte, Verbindungen
- A_4 : Abminderungsfaktor Witterung, innere und äußere Alterungsvorgänge

Bei der Bemessung muss für jede mögliche Gleitfläche und für jede betroffene Bewehrungslage nachgewiesen werden, dass der sich aus der erdstatischen Berechnung ergebende charakteristische Wert des erforderlichen Herausziehwiderstands den noch zulässigen Wert des Herausziehwiderstands nicht übersteigt und die erforderliche Verankerungslänge erreicht wird. Der jeweils kleinere Wert von Bemessungswiderstand oder verankerbarer Zugkraft bestimmt dann den zulässigen Auslastungsgrad.

Die für die Berechnung der Bemessungsgrößen erforderlichen charakteristischen Werte der relevanten Eigenschaften des Bewehrungsgitters und die Abminderungsfaktoren können dem jeweiligen Zulassungsschein entnommen werden.

Für die Secugrid® Geogitter-Produktfamilie sind nachfolgend die in Anlehnung an die Untersuchungen von Müller-Rochholz (2017) ermittelten Abminderungsfaktoren anwendbar:

A1 Kriechen und duktiles Versagen		$A1 = 1,34$
A2 Einbaubeschädigungen		
Für Grobkies	Secugrid®-Type	
	30/30 Q6, 40/20 R6, 40/40 Q6	$A2 = 1,09$
	60/60 Q6, 60/20 R6	$A2 = 1,08$
	80/80 Q6, 80/20 R6	$A2 = 1,05$
	120/40 R6, 150/40 R6, 200/40 R6	$A2 = 1,05$
	400/40 R6, 500/50 R6	$A2 = 1,05$
Für Kiessand	30/30 Q6, 40/20 R6, 40/40 Q6	$A2 = 1,05$
	60/60 Q6, 60/20 R6	$A2 = 1,05$
	80/80 Q6, 80/20 R6	$A2 = 1,03$
	120/40 R6, 150/40 R6, 200/40 R6	$A2 = 1,02$
	400/40 R6, 500/50 R6	$A2 = 1,02$
Für Sand	30/30 Q6, 40/20 R6, 40/40 Q6	$A2 = 1,06$
	60/60 Q6, 60/20 R6	$A2 = 1,02$
	80/80 Q6, 80/20 R6	$A2 = 1,02$
	120/40 R6, 150/40 R6, 200/40 R6	$A2 = 1,00$
	400/40 R6, 500/50 R6	$A2 = 1,00$
A3 Fugen, Nähte, Verbindungen (keine Stöße in Richtung der Zugbeanspruchung)		$A3 = 1,00$
A4 Umwelteinflüsse (120 Jahre)		
	pH 2,0 bis 4,0	$A4 = 1,10$
	pH 4,1 bis 8,9	$A4 = 1,00$
	pH 9,0 bis 9,9	$A4 = 1,04$
	pH 10,0 bis 10,9	$A4 = 1,06$
	pH 11,0 bis 12,5	$A4 = 1,18$

Tabelle 1: Exemplarische Secugrid® Abminderungsfaktoren

8.6 Umweltverträglichkeit

Die Umweltunbedenklichkeit ist durch den Hersteller bzw. den Lieferanten der Geokunststoffe durch entsprechende Prüfungen zu belegen. Auslaugbare oder wasserlösliche Zusätze und Verarbeitungshilfen müssen umweltverträglich sein. Die Umweltverträglichkeit muss gemäß dem Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus, FGSV-Verlag, Köln, 2016, Abschnitt 7.7, nachgewiesen werden. Die Prüfwerte für die Feststellung der Umweltunbedenklichkeit sind im Anwendungshandbuch zum genannten Merkblatt (Retzlaff, 2019) angegeben.

9 Qualitätssicherung/Bauvertragsgrundlage

Für Geokunststoffe gilt seit dem Jahr 2002 die CE-Kennzeichnung. Dafür, dass ein Geokunststoff mit einem CE-Kennzeichen versehen wird, ist derjenige verantwortlich, der das Produkt im Europäischen Wirtschaftsraum in Verkehr bringt. In den entsprechenden Normen stehen im Zusammenhang mit dem jeweiligen Anwendungsbereich (beispielsweise im Straßenbau) definierte Produktkennwerte und die zugehörigen Prüftechniken. Ferner ist festgelegt, dass die Hersteller für diese Produktkennwerte zulässige Abweichungen angeben, prüfen und einhalten. Dies impliziert eine entsprechende Qualitätssicherung am Produkt, die gemäß den Vorgaben der Normen als Grundlage für die CE-Kennzeichnung vom Hersteller erbracht werden muss. Die Einhaltung der Regeln wird jährlich durch einen Überwacher (Notified Body) überprüft und zertifiziert. Als Konsequenz aus dieser Entwicklung wird von Seiten der Auftraggeber im Straßenbau in den ZTV E-StB 17 die Durchführung von Baustoffeingangsprüfungen im Rahmen der Eigenüberwachungsprüfungen des Auftragnehmers verlangt (ZTV E-StB 17, 2017). Die Baustoffeingangsprüfung kann entfallen, wenn der Nachweis einer gleichwertigen, freiwilligen Überwachung des Herstellers vorliegt. Diese wird z. B. durch den IVG Industrieverband Geokunststoffe e. V. umgesetzt (IVG, 2018). Der Hersteller erhält nach anforderungskonformer Prüfung das sogenannte ivg-Produktzertifikat. Informationen zum IVG-Zertifikat und eine Übersicht der gültigen Zertifikate sind unter www.ivgeokunststoffe.com zu finden.

Von Auftragnehmerseite erfolgt die sogenannte Eignungsprüfung. Dabei werden die projektspezifische Eignung, wie beispielsweise das planerisch vorgesehene Reibungsverhalten zwischen dem Geokunststoff und den eingebauten Erdstoffen, sowie Schutzwirksamkeitsnachweise etc. überprüft. Diese Prüfungen können nicht als labortechnische Indexversuche durchgeführt werden, sondern bedürfen des Projektbezugs.

Die ebenfalls auftragnehmerseitig durchzuführenden Eigenüberwachungsprüfungen beinhalten die Überprüfung der Produktidentität sowie der Produkteigenschaften (Überprüfung der im Bauvertrag festgelegten Anforderungswerte beziehungsweise -klassen, Überprüfung des Nachweises der Umweltunbedenklichkeit). Bei der Verlegung von Geokunststoffen gehört zu jeder Bahn die bereits werksseitig festgelegte Rollnummer, die in den Bestandsplan eingetragen wird. Dadurch soll eine gegebenenfalls notwendige Identifizierbarkeit und Rückverfolgbarkeit gewährleistet werden. Ein Geokunststoff muss gemäß EN 10320 eine Kennzeichnung zur Identifizierung auf der Baustelle haben (üblicherweise in Form eines Etiketts an der Rolle oder der Verpackung der Rolle). Diese hat neben der genannten Rollnummer Angaben zum Hersteller, Produktnamen, Produkttyp etc. zu enthalten. Weiterhin soll an dem Produkt ein CE-Zeichen angebracht werden. Dafür gibt es nach der Bauprodukteverordnung mehrere Möglichkeiten. Am häufigsten wird ein zweites Etikett an der Rolle/Verpackung angebracht. Dieses Etikett enthält neben dem

CE-Zeichen, Produkttyp und der Nummer des Notified Bodies noch weitere Angaben zur Verwendung und zu den Eigenschaften (inkl. Sollwerten und zulässigen Toleranzen) des Produktes. Der Hersteller/In-Verkehr-Bringer muss eine Leistungserklärung (Declaration of Performance – DOP) vorhalten, welche alle europäisch harmonisierten Charakteristika mit einem Sollwert und zulässigen Toleranzen angibt. Dieses ist dem Kunden auf Anfrage auszuhändigen.

Auf die auftraggeberseitigen Kontrollprüfungen sollte für die Gewährleistung einer durchgehenden Qualität nicht verzichtet werden. Das Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (M Geok E, 2016) enthält die vertragsrelevanten Themen, die auch in den ZTV E-StB 17 (2017) aufgearbeitet sind. Die Lieferbedingungen, das heißt die Punkte, die Hersteller und Lieferant berücksichtigen müssen, sind in den Technischen Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus (TL Geok E-StB 05, 2005) zu finden.

Die genannten Quellen enthalten detaillierte Vorschläge zu Art und Umfang der vom Auftraggeber durchzuführenden Kontrollprüfungen sowohl für Geotextilien als auch für geotextilverwandte Produkte.

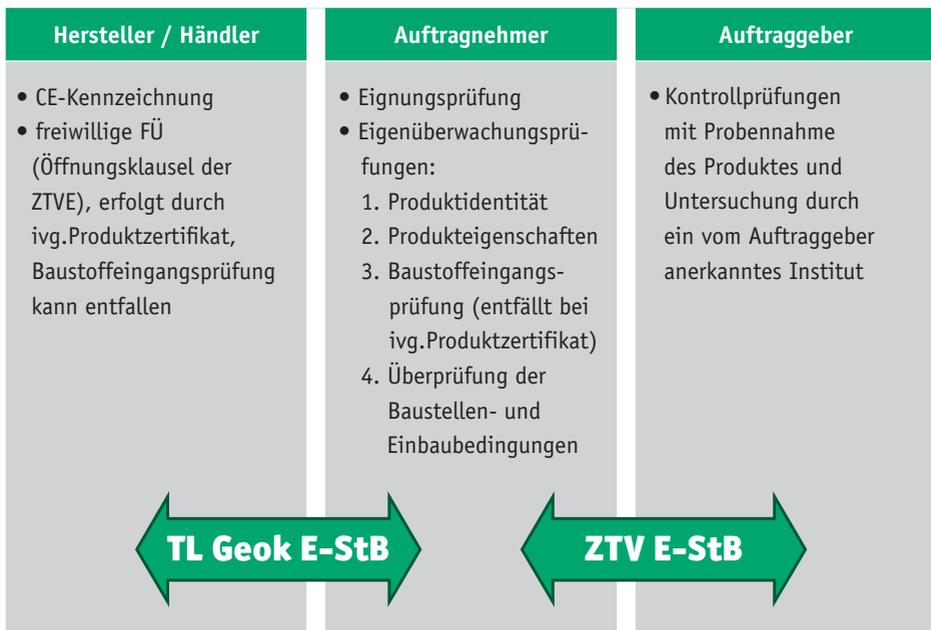


Abbildung 10: Qualitätsmanagement

10 Hinweise zur Ausschreibung/Leistungsbeschreibung

10.1 Allgemeines

Grundsätzlich sollte in den Ausschreibungen/Leistungsbeschreibungen die vorgegebene Anwendung und Bauweise angegeben sein. Je nach Produktgruppe sind entsprechende Kennwerte und die dazugehörigen gültigen Prüfvorschriften zu fordern. Auch auf die fachgerechte Verlegung (einschließlich Ausführung von Durchdringungen, Anschlüsse und/oder Überlappungen) sollte hingewiesen werden, die entweder nach geltenden Vorschriften oder nach den Verlegevorschriften der Hersteller ausgeführt werden sollte.

In die Einheitspreise sind alle Aufwendungen für das fachgerechte Verlegen (einschließlich die Durchführungen von Überlappungen, Verlust durch Verschnitt) sowie, falls erforderlich, die Probeentnahmen für eine Eigenüberwachung einzurechnen. Sollten Anschlüsse und/oder Durchdringungen nicht gesondert als Position ausgewiesen sein, sind diese ebenfalls in den Einheitspreis einzurechnen.

Abgerechnet wird nach m^2 abgedeckter Fläche gemäß Aufmaß (inklusive der Überlappungen, des Verschnitts und der Nachbesserungen).

Folgende Nachweise sollten mit Angebotsabgabe vorliegen:

- Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001
- aktuelle CE-Kennzeichnung
- Nachweis einer Produktgruppen-EPD (Environmental Product Declaration, Umweltproduktdeklaration)
- IVG-Zertifikat als Ersatz für Baustelleneingangsprüfung

10.2 Hinweise zur Ausschreibung von Bentonitmatten

Zunächst ist in der Leistungsbeschreibung die vorgesehene Anwendung zu beschreiben. Die Beschreibung der Bentonitmatte sollte beispielhaft in etwa wie folgt aussehen:

Bentonitmatte einbauen

Die Bentonitmatte soll aus einem ca. 220 g/m^2 Deckvliesstoff und einem ca. 100 g/m^2 Trägerbändchengewebe bestehen, zwischen denen ca. 4.500 g/m^2 Natriumbentonitpulver (bei ca. 12 % Wassergehalt) bei einer Korngröße von $\leq 0,2 \text{ mm}$ kraftschlüssig und erosions sicher eingelagert sind. Das Natriumbentonitpulver soll ein Quellvolumen von $> 22 \text{ ml}$ haben.

Die Längsüberlappungsbereiche der Bentonitmattenbahnen müssen werksseitig (0,5 m breit) mit Bentonitpulver verfüllt sein, um eine selbstdichtende Überlappung sicherzustellen.

Die Kraftschlüssigkeit wird durch eine vollflächige Vernadelung erzielt. Die Schälverbundfestigkeit soll $\geq 360 \text{ N/m}$ betragen.

Die Bentonitmatte soll eine Zugfestigkeit in Längs- und Querrichtung von $> 10 \text{ kN/m}$ und eine Stempeldurchdrückkraft von $> 1800 \text{ N}$ aufweisen.

*Überlappung: In Längsrichtung sind 30 cm zu überlappen, in Querrichtung 50 cm.
Die erforderliche Nutzungsdauer der Bentonitmatte soll 25 Jahre betragen.*

*Die Bentonitmatte ist nach Angaben des Herstellers zu transportieren, zu lagern und zu verlegen.
Die entsprechenden Herstellervorgaben müssen auf der Baustelle vorliegen.*

Die Verlegeleistung ist auf die anderen Gewerke abzustimmen.

Weiterhin sind folgende Angaben erforderlich, ggf. notwendig:

- Permittivität (gemäß Bauweise)
- Beschreibung des Bodens vom Planum und von der Überdeckung
- Hinweis auf eine Anwendung im Kontakt zu Böden, die mit Baukalken oder mit Zement verbessert oder verfestigt sind (falls notwendig)
- Hinweis auf eine Anwendung mit Kontakt zu Zementbeton oder Betonbruch (falls notwendig)
- Hinweis auf eine Anwendung im Kontakt zu industriellen Nebenprodukten, z. B. Schlacken oder Aschen (falls notwendig)
- Umgebungsmilieu: pH-Wert des Bodens und des Überschüttmaterials, falls erforderlich des Grundwassers
- Neigung der Auflagerfläche
- gesonderte Positionierung von Bauwerksanschlüssen und Durchdringungen
- vorgesehene Gebrauchsdauer ($\leq 5 \text{ Jahre}$, $\leq 25 \text{ Jahre}$, $\leq 50 \text{ Jahre}$ $\leq 100 \text{ Jahre}$)

Hinweis: *Ist eine Nutzungsdauer der Bentonitmatte von 100 Jahren gefordert, ist diese durch einen LAGA-Eignungsnachweis sichergestellt.*

10.3 Hinweise zur Ausschreibung von Kunststoffdichtungsbahnen

Auch hier ist in der Leistungsbeschreibung zunächst die vorgesehene Anwendung zu beschreiben. Der fachgerechte Einbau beinhaltet das Verlegen der Kunststoffdichtungsbahn, alle Schweißarbeiten und das Prüfen der Schweißnähte im Rahmen der Eigenüberwachung. Die Qualifikation der Schweißfachkräfte sowie die Eignung der Schweißgeräte sind nachzuweisen. Die Beschreibung der Kunststoffdichtungsbahn sollte beispielhaft in etwa wie folgt aussehen:

Kunststoffdichtungsbahn einbauen:

Kunststoffdichtungsbahn aus PE-HD nach Unterlagen des AG auf dem vorbereiteten, steinfreien Planum verlegen, verschweißen und im Zuge der Eigenüberwachung prüfen. Erforderliche Nutzungsdauer über 25 Jahre. Abgerechnet wird die abgewinkelte Dichtungsfläche ohne Überlappung.

Weiterhin sind folgende Angaben erforderlich:

- Dicke ($\geq 2,5$ mm gemäß M TS E)
- Oberflächenbeschaffenheit (glatt, strukturiert)
- ggf. notwendiger Einbau einer geotextilen Schutzschicht
- Beschreibung des Bodens vom Planum und von der Überdeckung
- Hinweis auf eine Anwendung im Kontakt zu Böden, die mit Baukalken oder mit Zement verbessert oder verfestigt sind (falls notwendig)
- Hinweis auf mögliche, relevante chemische Einflüsse
- vorgesehene Gebrauchsdauer (≤ 5 Jahre, ≤ 25 Jahre, ≤ 50 Jahre ≤ 100 Jahre)

Hinweis: Für die Schutzlagen auf einer Kunststoffdichtungsbahn sind mechanisch verfestigte Vliesstoffe einzusetzen. Zudem müssen entsprechende Nachweise unter Verwendung sogenannter Schutzwirkungsnachweise entweder produkt- oder projektspezifisch vorliegen. Weitere Anforderungen zu Schutzlagen sind im Kapitel 8.3.1 beschrieben.

Hinweis: Ist eine Nutzungsdauer der Kunststoffdichtungsbahn (KDB) von 100 Jahren gefordert, ist eine KDB mit BAM- oder DIBt-Zulassung einzubauen.

Literatur

BAM (2019). *Richtlinie für die Zulassung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff (Geogitter) für Deponieoberflächenabdichtungen – herausgegeben vom Fachbereich 4.3 „Schadstofftransfer und Umwelttechnologien“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung*. 4. Auflage, November 2018. Veröffentlicht: Januar 2019.

DIN 18130 (1998). *Baugrund - Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung des Wasserdurchlässigkeitsbeiwerts - Teil 1: Laborversuche*. <https://www.beuth.de>

DIN EN ISO 10318 (2015). *Geokunststoffe - Teil 1: Begriffe*. <https://www.beuth.de>

DVS (2016a). Richtlinie DVS 2225-1 (09/2016). *Schweißen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau*. Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V., Düsseldorf.

DVS (2016b). Richtlinie DVS 2225-4 (09/2016). *Schweißen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) für die Abdichtung von Deponien und Altlasten*. Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V., Düsseldorf.

EBGEO (2010). *Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen – EBGEO*. 2. Auflage. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (Herausgeber). Ernst & Sohn, Berlin.

GDA-Empfehlung E 2-7 (2015). *Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen*. www.gdaonline.de

GDA-Empfehlung E 3-8 (2015). *Reibungsverhalten von Geokunststoffen*, www.gdaonline.de

Glabisch, U. (2019). *Anwendungshandbuch zu den Merkblättern DWA-M 511 Filtern mit Geokunststoffen und BAW-Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)*. Hochschule Wismar.

IVG (2018). *Empfehlung für die Durchführung der Überwachung und Zertifizierung von Geotextilien, geotextilverwandten Produkten und geosynthetischen Dichtungsbahnen, zugelassen nach dem europäischen Konformitätsverfahren System 2+*. IVG-Industrieverband Geokunststoffe e. V., Obernburg.

LAGA-Ad-hoc-AG „Deponietechnik“ (2018). *Bundeseinheitlicher Qualitätsstandard 5-5 Oberflächenabdichtungskomponenten aus geosynthetischen Tondichtungsbahnen.*

https://www.laga-online.de/documents/bqs-5-5-gtd-18-06-12_1537438901.pdf

LAGA (2004). Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20. *Anforderungen an die stoffliche Verwertung von Abfällen – Technische Regeln. Allgemeiner Teil. Endfassung vom 06.11.2003. Teil II. Technische Regeln für die Verwertung. 1.2 Bodenmaterial (TR Boden).*

https://www.laga-online.de/documents/m20_tr_mineral-abfaelle_allgteil-i_2_1517834500.pdf

LAGA-Eignungsbeurteilung (2018). *Eignungsbeurteilung von Bentofix® NSP 4900 zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien.*

https://www.laga-online.de/documents/bentofix-nsp4900-eignungsbeurteilung-09-01-27-fortschreibung-18-04-27_1537439405.pdf

LAGA-Eignungsbeurteilung (2018). *Eignungsbeurteilung von Bentofix® B 4000 zur Herstellung von mineralischen Dichtungen in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien.*

https://www.laga-online.de/documents/bentofix-b4000-eignungsbeurteilung-09-01-27-fortschreibung-18-04-27_1537439390.pdf

M Geok E (2016). *Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (FGSV 535).* Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln.

M TS E (2017). *Merkblatt über Bauweisen für Technische Sicherungsmaßnahmen beim Einsatz von Böden und Baustoffen mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen im Erdbau (FGSV 559).* Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln.

Müller-Kirchenbauer, A. (2009). *Funktionsnachweis für geotextile Tondichtungsbahnen in Deponieoberflächenabdichtungen.* Mitteilungen Institut für Geotechnik der Leibniz Universität Hannover, Heft 67.

Müller-Rochholz, J. (2007). *Geokunststoffe im Erd- und Verkehrswegebau.* Werner Verlag, Köln.

Müller-Rochholz, J. (2017). *Gutachten MRG 04.1-13 D. Abminderungsfaktoren für Secugrid Polyester Geogitter - Zeitstand, Beschädigung beim Einbau und Umgebungseinflüsse.* Unveröffentlicht.

Retzlaff, J. (2019). *Anwendungshandbuch zu dem Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (M Geok E, 2016)*. GEOscope GmbH & Co. KG, Weimar.

RiStWag (2016). *Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen und Wasserschutzgebieten*. FGSV Verlag GmbH, Köln.

TL Geok E-StB 05 (2005). *Technische Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus (FGSV 549)*. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., Köln.

ZTV E-StB 17 (2017). *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau*. Kirschbaum Verlag, Bonn.

