

Stand der Arbeiten aus der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT) an den Empfehlungen für die Anwendung von Drän- und Bentonitmatten in Dichtungssystemen für Deponien und Altlasten

1. Einleitung

Zwei Arbeitskreise der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V (DGGT) beschäftigen sich mit dem Thema Geokunststoffe in Dichtungssystemen für Deponien und Altlasten:

- Ak 5.1: Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau
(Obmann: Prof. Dr. Fokke Saathoff)
- Ak 6.1: Geotechnik der Deponiebauwerke
(Obmann: Prof. Dr. Karl Josef Witt)

Beide Arbeitskreise bildeten bereits im Jahre 1996 eine gemeinsame Unter(arbeits)gruppe:

- UAG Ak 5.1 - Ak 6.1: Geokunststoffe im Deponiebau
(Obmann: Prof. Dr. Fokke Saathoff)

Der vorliegende Beitrag hat das Ziel, den momentanen Stand der Arbeiten an den diversen Empfehlungen für die Anwendung von Drän- und Bentonitmatten zu schildern. Zum besseren Verständnis der momentanen Situation muss das Thema Qualitätsmanagement vorangestellt werden; dies soll anhand der Aktivitäten der Untergruppen UG 3 und UG 6 des Ak 5.1 verdeutlicht werden.

2. UG 3 des Ak 5.1: „Qualitätsmanagement, Einbau und Kontrolle“

Unter Leitung von Dipl.-Ing. Torsten Sasse beschäftigt sich die Untergruppe UG 3 des Ak 5.1 mit den „Empfehlungen EAG-QM zum Qualitätsmanagement bei der Anwendung von Geokunststoffen“. Diese Untergruppe soll einen Leitfaden für alle anderen Untergruppen des Ak 5.1 erarbeiten, wie das Qualitätsmanagement bei der Anwendung von Geokunststoffen in der Produktion und auf der Baustelle ablaufen kann. Die UG 3 ist auch dafür zuständig, dass innerhalb der Empfehlungen des Ak 5.1 einheitliche Begriffe benutzt werden.

Bedingt durch die Neuerungen der Europäischen Normen müssen die bereits erstellten Entwürfe komplett überarbeitet werden. Die bislang im Deponiebau übliche Fremdüberwachung in der Produktion (und auf der Baustelle) wird durch das Europäische System 2+ ersetzt. Die UG 3 hat zwischenzeitlich ihre Arbeiten ruhen lassen, um abzuwarten, wie sich die Europäischen Normen bzgl. dieser QS-Belange entwickeln und wie die neuen Vorgaben in ersten Merkblättern, Regelwerken, Empfehlungen, Lieferbedingungen etc. und in der Praxis umgesetzt werden.

Die geschilderte Situation ist nicht nur für die UG 3 und damit den gesamten Ak 5.1 äußerst unbefriedigend. So war es der UG 3 recht, dass die UG 6 „Tunnelbau“ hier als Untergruppe voranschritt, um den Versuch zu starten, die QS-Belange nach bisheriger Erfahrung bzw. beabsichtigtem Vorgehen einerseits (nämlich die „Deponiephilosophie“ in den Tunnelbau zu übertragen und u.a. zukünftig auch hier die Fremdüberwachung auf der Baustelle zu fordern) und andererseits das Europäische System 2+ unter einen Hut zu kriegen.

3. Die EAG-EDT-Philosophie der UG 6 des Ak 5.1: „Tunnelbau“

Die unter Leitung von Dipl.-Ing. Aloys Schlütter bereits im November 2005 veröffentlichten „Empfehlungen EAG-EDT zu Dichtungssystemen im Tunnelbau“ haben somit Signalwirkung für alle Ak 5.1 Empfehlungen (auch für die im Bereich des Deponiebaus). Doch zunächst etwas zur geschichtlichen Entwicklung der EAG-EDT (2005).

Alle Empfehlungen der DGGT, so auch die EAG-EDT, haben empfehlenden Charakter, im Gegensatz zu den im Tunnelbau eingeführten Regelwerken Ril (Bereich Bahn) oder ZTV-ING (Bereich Straße). Im Bereich des Tunnelbaus ergab sich so etwa im Jahre 2001 die besondere Situation, dass EAG-EDT, Ril und ZTV-ING zur Überarbeitung anstanden und parallel im Laufe der Bearbeitung die Europäischen Normen „dazwischenfunkten“. Wie bei der UG 3 im Ak 5.1 stellten auch hier die Ausschüsse, die für die Ril und für die ZTV-ING verantwortlich zeichneten, ihre Arbeiten ein, um die Entwicklungen abzuwarten. Die UG 6 bekam von beiden Ausschüssen die Aufgabe, einen Lösungsvorschlag zu erarbeiten. So sollten nach Absicht der Bauherren die EAG-EDT die Grundlage für ihre spezifischen Regelwerke bilden, nämlich für die Ril 853 der Deutschen Bahn AG und für die ZTV-ING, Teil 5 „Tunnelbau“ Abschnitt 5 „Abdichtung“ einschließlich zugehöriger Technischer Lieferbedingungen (TL) und Technischer Prüfvorschriften (TP) des BMVBW. Dadurch sollte auch eine (erstmalige) weitgehende Übereinstimmung der Regelungen für Eisenbahn- und Straßentunnel erreicht werden.

Aus der in den Abb. 1 und 2 dargestellten Systematik ergeben sich unterschiedliche Varianten der Qualitätssicherung, getrennt nach Produktion und Bauausführung.

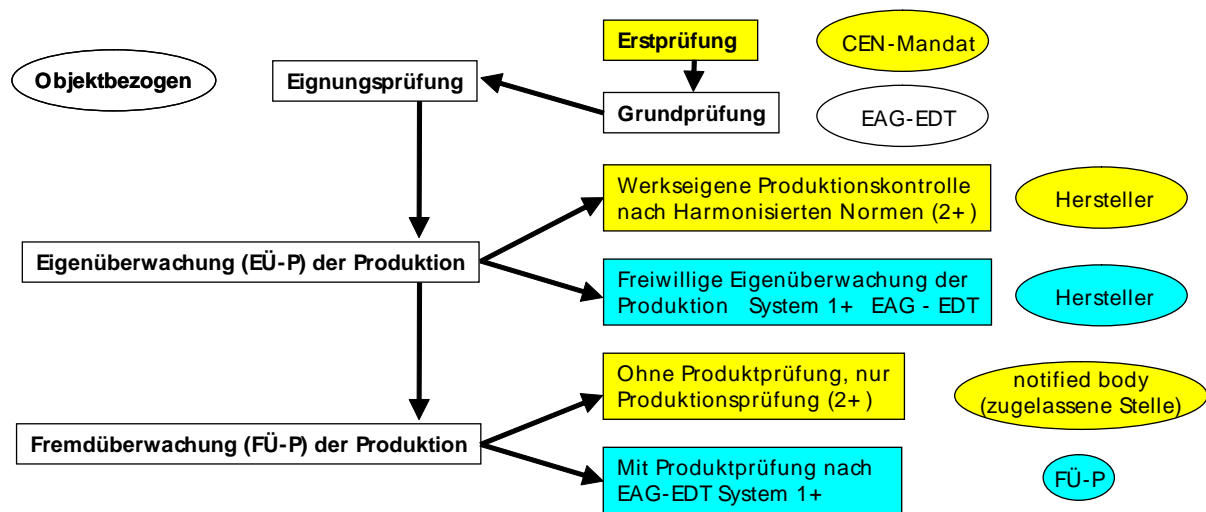


Abb. 1: Übersicht der Qualitätssicherungsmaßnahmen nach EAG-EDT für die Produktion

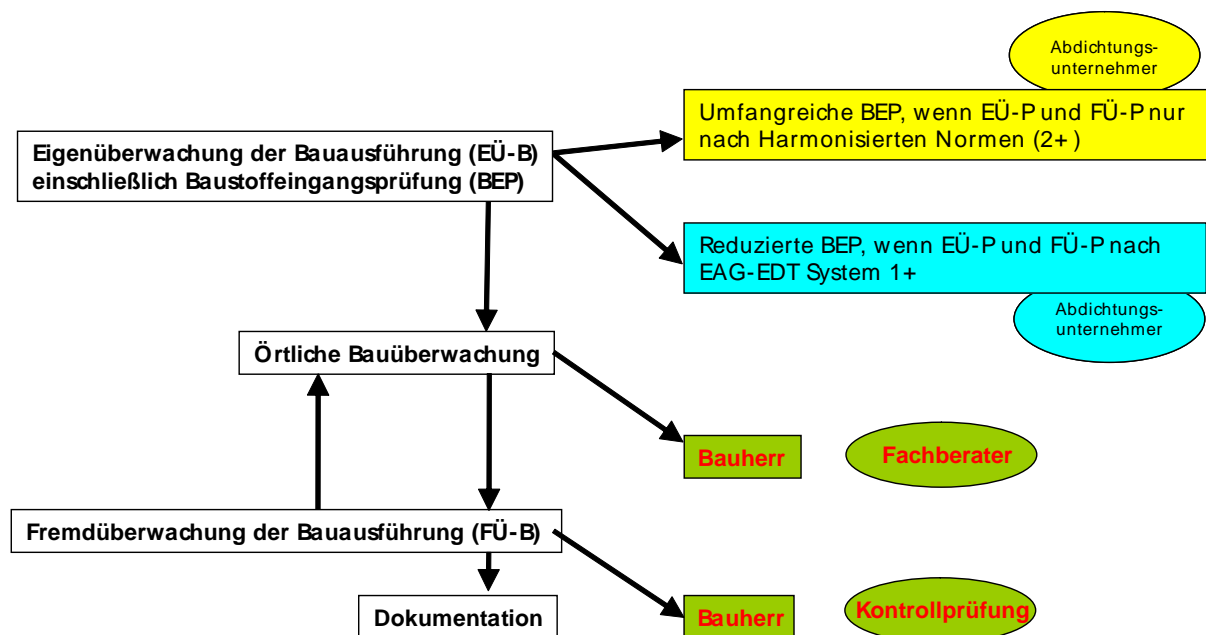


Abb. 2: Übersicht der Qualitätssicherungsmaßnahmen nach EAG-EDT für die Bauausführung

Die Vorgaben der Harmonisierten Europäischen Normen für Geokunststoffe mit Überwachung der Produktion nach dem System 2+ sind dabei berücksichtigt. Bei den Herstellern, die freiwillig eine Eigenüberwachung der Produktion (Werkseigene Produktionskontrolle) nach EAG-EDT System 1+ (Intervalle sind in EAG-EDT angegeben) und eine Fremdüberwachung der Produktion mit Produktprüfung nach EAG-EDT System 1+ durchführen, reduziert

und vereinfacht sich die geforderte Eigenüberwachung der Bauausführung bzw. der Umfang der Baustoffeingangsprüfungen. Details können in den EAG-EDT nachgelesen werden. Abb. 3 zeigt zusammenfassend die beiden möglichen Wege.

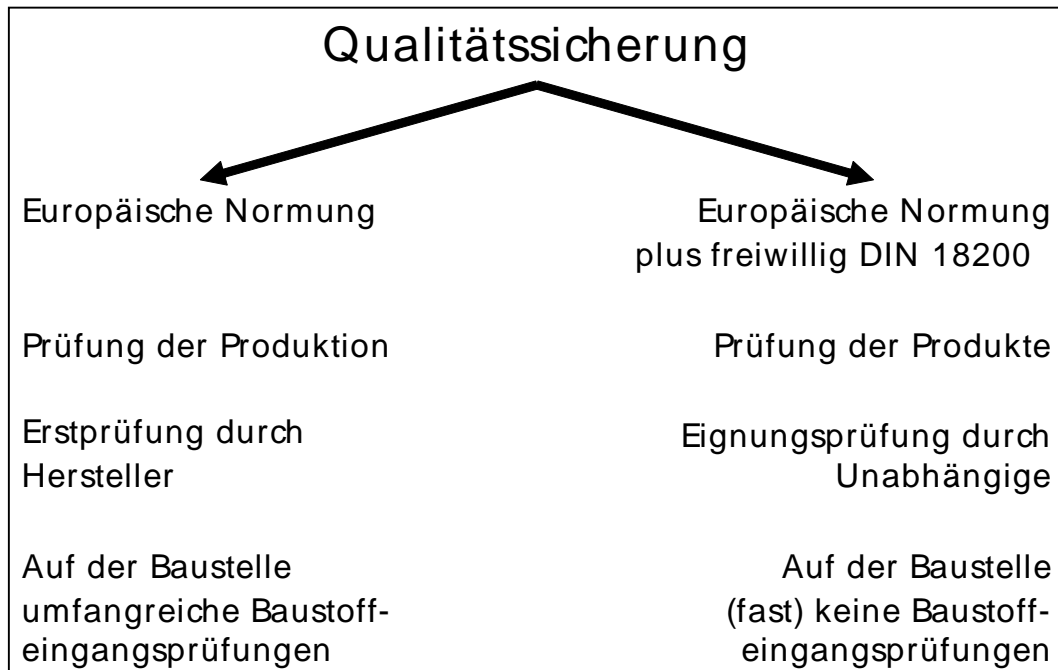


Abb. 3: Mögliche Qualitätssicherungswege (SAATHOFF et al 2006)

Wie geschildert, wurden die EAG-EDT dann im November 2005 veröffentlicht. Alle Untergruppenmitglieder waren der festen Überzeugung, dass die EAG-EDT-Philosophie exakt in die Ril 853 der Deutschen Bahn AG und die ZTV-ING, Teil 5 „Tunnelbau“, Abschnitt 5 „Abdichtung“ einschließlich zugehöriger Technischer Lieferbedingungen (TL) und Technischer Prüfvorschriften (TP) des BMVBW, übernommen wird. Bei der Deutschen Bahn wird dies nach heutigem Stand auch exakt so geschehen.

Im Bereich der Straße muss eine Notifizierung der Regelwerke durch CEN (üblicherweise landläufig mit „Brüssel“ bezeichnet) erwirkt werden. Hier gab es jedoch einen Einspruch. Die Beteiligten bei der BAST und im zuständigen Ministerium waren so verunsichert, dass der entsprechende Abschnitt überarbeitet wurde und in der momentanen Fassung kein 100%iges Abbild der EAG-EDT-Philosophie mehr darstellt. Es bleibt zu hoffen, dass die Beteiligten im Allgemeinen Rundschreiben (ARS) Worte der Klärung finden und die EAG-EDT-Philosophie dort noch verankern werden.

Parallel zu diesem Vorgang wurden zwischenzeitlich weitere Werke nach „Brüssel“ geschickt, die die EAG-EDT-Philosophie zum Vorbild nahmen oder zumindest vergleichbare Ansätze aufweisen und die nicht beanstandet wurden (u.a. die neuen ZTV-E, ZTV-SOB und TL SOB und TL Gestein). Nun ist die Verwirrung, auch bei den Zuständigen im Bereich Straßentunnel im BMVBW, groß. Für die Aktivitäten des Ak 5.1 sind die nächsten Monate von immenser Bedeutung. Je nachdem, wie das BMVBW entscheidet, müssen die Empfehlungen EAG-Drän und EAG-QM mit erläuternden Hinweisen in die eine oder in die andere Richtung versehen werden.

4. UG 2 des Ak 5.1: „Trennen, Filtern, Dränen“

Unter Leitung von Dr.-Ing. Michael Heibaum hat die UG 2 die Texte zu den geplanten "Empfehlungen EAG-Drän zum Einsatz von geosynthetischen Dränmatten" vervollständigt und dem Redaktionsausschuss heute vor 3 Jahren übergeben. Die Besetzung der Untergruppe UG 2 mit Vertretern der Hersteller, der Anwender und der Gutachter gewährleistet eine umfassende Behandlung des Themas. In zwei Punkten ist die Europäische Normung noch zu verankern: Die Berücksichtigung der Bemessung der Langzeitdicke mit Kontaktflächen weich-hart und weich-weich (statt bisher hart-hart, evtl. nach BAM-Methode) und der Qualitätsbelange nach Vorlage der EAG-EDT, falls diese Vorgehensweise im Vorgang „Straßentunnel“ durch „Brüssel“ abgesegnet wird.

Nachfolgend werden die Kapitel der EAG-Drän kurz zusammengefasst.

4.1 Entwurfsgrundsätze

Die Ausführungen der EAG-Drän gelten in erster Linie für Dränmatten im Zusammenhang mit großflächigen Dichtungssystemen. Für diesen Anwendungsbereich liegen bis heute keine Empfehlungen vor, obwohl für die entsprechenden Systeme eine detaillierte Bemessung gefordert wird. Da Dränmatten auch in zahlreichen anderen Bereichen zum Einsatz kommen, werden dafür Hinweise gegeben.

Bei Dränmatten und bei mineralischen Dränschichten sind die grundsätzlichen Anforderungen prinzipiell dieselben. Insbesondere sind alle Einflüsse auf die hydraulische Leistungsfähigkeit und/oder systembedingte Einflüsse durch Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen.

Ziel der Bemessung ist der Nachweis, dass die Dränmatte unter Beachtung aller projektbezogenen Randbedingungen die erforderlichen Abflussleistungen über den vorgesehenen Zeitraum (langfristig) mit ausreichender Sicherheit gewährleistet.

Der Zufluss zu einer Dränmatte (Dränspende) wird durch den Wasserandrang, die Durchlässigkeit und den Wasserhaushalt des angrenzenden Bodens bestimmt. Das daraus erforderliche Wasserableitvermögen wird nach dem Stand der Technik, ggf. projektbezogen auf der Basis von Messungen und Berechnungen (im Deponiebau z. B. nach dem HELP-Modell, GDA-Empfehlung E 2-30) ermittelt. Weitere Informationen zum Wasserandrang finden sich je nach Anwendungsgebiet in DIN 4095 (Dränung zum Schutz baulicher Anlagen), in DIN 1986-2 (Entwässerungsanlagen für Gebäude und Grundstücke) und in den GDA-Empfehlungen E 2-20 (Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen).

4.2 Material und System

Dränmatten sind im Allgemeinen Verbundstoffe aus einer Sickerschicht mit ein- oder zweiseitiger geotextiler Filterschicht. Sickerschichten ohne Filterschichten kommen zum Einsatz, wenn die Filterfunktion nicht erforderlich ist (z. B. Kontrollschichten zwischen Kunststoffdichtungsbahnen, dränierte Tunnel). In einfachen Anwendungsfällen können auch Vliesstoffe entsprechender Dicke und Flächenmasse als filterfeste Sickerschicht eingesetzt werden.

An dieser Stelle der EAG-Drän werden 7 Anwendungsbereiche beschrieben und mit Abbildungen -wie in Abb. 4 dargestellt- erläutert.

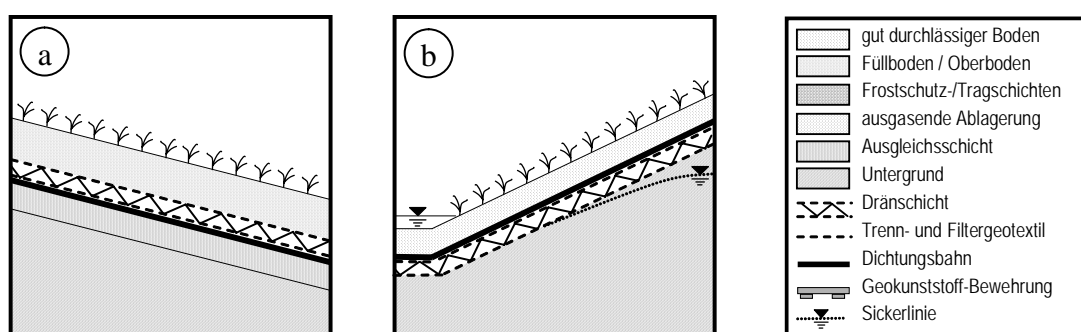


Abb. 4: Ein Bild aus dem Entwurf der EAG-Drän, Dränmatten a) über und b) unter einer Dichtung

Die folgenden Abschnitte lauten Bettung, Verformungsverhalten, Alterung und Langzeitbeständigkeit sowie Hinweise zur Filterschicht.

4.3 Bemessungen und Nachweise

Die Abschnitte lauten hier

- Hydraulischer Nachweis (Dicke der Dränmatte für den Bemessungszeitraum / Vorhandenes Wasserableitvermögen / Dränabfluss / Abminderungsfaktoren / Sicherheitsfaktor / Rechnerischer Nachweis)
- Gasableitvermögen
- Langfristige Gebrauchstauglichkeit
- Standsicherheitsnachweise von Systemen mit Dränmatten und
- Bemessung von Vertikaldräns.

4.4 Qualitätssicherung

Wie oben geschildert, ist dieses Kapitel momentan noch völlig unklar.

4.5 Hinweise zur Bauausführung

4.6 Prüfungen

Dieses Kapitel beschreibt sehr ausführlich Wissenswertes über die relevanten Prüfungen, z. B. über Prüfungen zur inneren und äußeren Scherfestigkeit (Grenzzustand der Tragfähigkeit), Wasserableitvermögen, Druck-Stauchungsverhalten, Druck-Kriechverhalten, Druck-Schub-Kriechverhalten etc.

5. UG 4 des Ak 5.1: „Geosynthetische Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten)“

Unter Leitung von Dr.-Ing. Dirk Heyer wurden im Oktober 2002 die von der UG 4 erarbeiteten "Empfehlungen EAG-GTD für die Anwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen" veröffentlicht (EAG-GTD 2002). Die Arbeiten der UG 4 ruhen seitdem und sollen bei Bedarf zu gegebener Zeit wieder aufgenommen werden. Die Erfahrungen der UG 4 sind in die E 2-36 eingeflossen (vgl. Abschnitt 6.4).

6. UAG Ak 5.1 - Ak 6.1: „Geokunststoffe im Deponiebau“

6.1 Allgemeines

Die UAG Ak 5.1 - Ak 6.1 "Geokunststoffe im Deponiebau" ist eine gemeinsame Unter(arbeits)gruppe des Arbeitskreises Ak 5.1 "Kunststoffe in der Geotechnik und im Wasserbau" und des Arbeitskreises Ak 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke".

Neben ausgewählten Experten der Arbeitskreise Ak 5.1 und Ak 6.1 sind alle UG-Leiter des Ak 5.1 Mitglied in der UAG. Die UAG hat seit Gründung am 11. April 1996 an der Erstellung und Überarbeitung vieler GDA-Empfehlungen, in denen Geokunststoffe eine Rolle spielen, mitgewirkt.

Die jüngsten Empfehlungen wurden in *Bautechnik, Heft 9 / 2005* und in *Bautechnik, Heft 9 / 2007* veröffentlicht:

- Überarbeitung der E 2-9: Einsatz von Geotextilien im Deponiebau (2005).
- Überarbeitung der E 3-8: Reibungsverhalten von Geokunststoffen (2005).
- Neufassung der E 5-5: Qualitätsüberwachung für Geotextilien (2005).
- Überarbeitung der E 2-36: Oberflächenabdichtungssysteme mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen (2007).

Die beiden erstgenannten Empfehlungen werden nachfolgend nicht erläutert.

Die Überarbeitung der Empfehlungen E 2-20 (Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen) und E 3-9 (Eignungsprüfungen) steht nach Klärung der QS-Belange (vgl. oben) an oberster Priorität zukünftiger UAG-Aktivitäten.

Alle GDA-Empfehlungen werden in der Septemбераusgabe der *Bautechnik* veröffentlicht. Gehen innerhalb eines Jahres keine Kommentare zu den Empfehlungsentwürfen ein, wird der Status „Entwurf“ aufgehoben.

6.2 E 5-5: Qualitätsüberwachung für Geotextilien

Mit der Empfehlung E 5-5 wurde versucht, die Belange, die die UG 3 des Ak 5.1 zu verantworten hat, und die EAG-EDT-Vorschläge in einer kurzen Empfehlung zusammenfassend darzustellen.

Es werden Begriffe definiert, die Belange der Europäischen Normen verankert und konkrete Hinweise gegeben.

Bei den Herstellern, die freiwillig eine umfangreiche Güteüberwachung durchführen [hier nach FGSV-(Straßenbau-)Merkblatt (2005)], reduziert und vereinfacht sich die geforderte Eigenüberwachung der Bauausführung (Abb. 5). Auch die nach FGSV-Merkblatt so genannte (Baustoff-) Eingangsprüfung unterscheidet zwischen Produzenten, die die Eigen- und Fremdüberwachung der Produktion nach Harmonisierten Europäischen Normen durchführen oder sich freiwillig einer Güteüberwachung unterziehen.

6.3 E 2-20: Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen

Wie in Abschnitt 6.1 bereits festgehalten, steht die Überarbeitung der Empfehlung E 2-20 „Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen“ an oberster Priorität zukünftiger UAG-Aktivitäten.

6.4 E 2-36: Oberflächenabdichtungssysteme mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen

Die E 2-36 ist die jüngste Empfehlung der UAG, versehentlich fälschlicherweise in der *Bau-technik Heft 9/2007* mit den Autoren & Kontaktadressen Witt/Ramke versehen. Die Empfehlung befasst sich mit den Aspekten, die bei der Verwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (GTD bzw. Bentonitmatten) in Oberflächendichtungssystemen von Deponien zu beachten sind. Kontroverse Diskussionen wurden geführt.

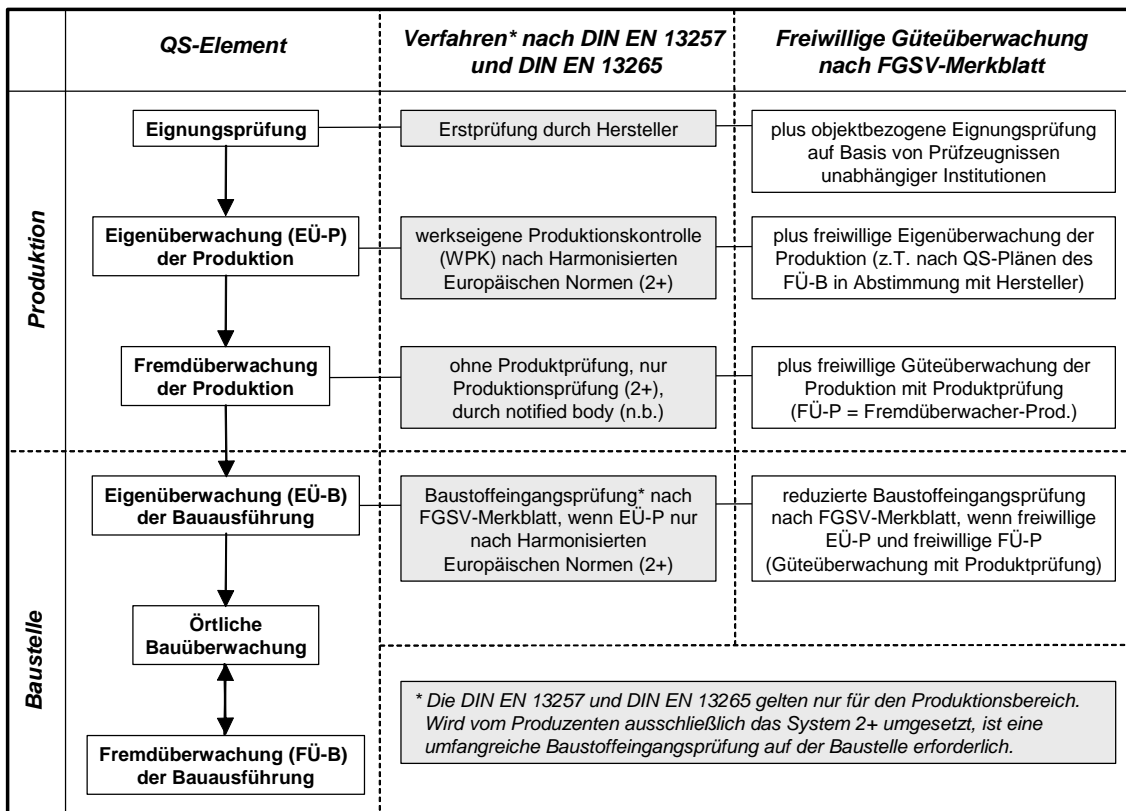


Abb. 5: E 5-5 Bild 1: Übersicht der Qualitätsmanagementmaßnahmen

Bei grundsätzlichen Anforderungen an Wirksamkeit, Herstellung, Prüfung, Bemessung, Ausführung und Qualitätssicherung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen wird auf die „Empfehlungen für die Anwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen“ (EAG-GTD 2002) verwiesen (vgl. Kapitel 5).

Als Regeldichtungssysteme an der Oberfläche von Deponien waren bisher mineralische Dichtungsschichten oder Kombinationsdichtungen in Verbindung mit Entgasungs-, Entwässerungs- und Rekultivierungsschichten vorgesehen (vgl. E 2-4). Alternative Dichtungsele-

mente sind möglich, wenn das damit hergestellte Dichtungssystem seine Funktion langfristig einwandfrei erfüllt. Zukünftig wird eine erste und zweite Dichtungskomponente unterschieden werden, wobei eine der Komponenten mineralisch sein kann. Eine Möglichkeit zur Herstellung alternativer Dichtungssysteme bzw. mineralischer Dichtungskomponenten liegt in der Verwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen als teilweiser oder auch vollständiger Ersatz für lagenweise, erdbautechnisch eingebaute mineralische Dichtungsschichten.

Nachfolgend werden ausgewählte Passagen der E 2-36 zitiert.

6.4.1 Aufbau geosynthetischer Tondichtungsbahnen

Im Deponiebau kommen industriell gefertigte, dünn-schichtige geosynthetische Tondichtungsbahnen zum Einsatz. Diese bestehen als mechanisch erzeugtes Verbundsystem aus

- einer oder mehreren pulverförmigen oder granulierten Bentonitschichten zwischen zwei oder mehreren miteinander vernadelten Geotextillagen
- einer Schicht aus pulverförmigem oder granuliertem Bentonit zwischen zwei oder mehreren Geotextilien, die miteinander vernäht sind (Abb. 6).

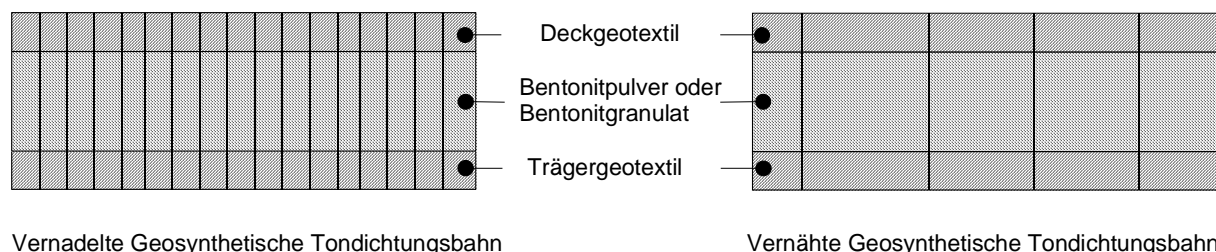


Abb. 6: E 2-36 Bild 1: Aufbau von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (EAG-GTD 2002)

Die Verbundstruktur verhindert eine Umverteilung des Bentonits durch äußere mechanische Einwirkungen im Verarbeitungs- und Gebrauchszustand. Die Dicken der Produkte bewegen sich im trockenen Zustand im Bereich von 5 mm bis 10 mm und weisen 4 kg bis 10 kg Bentonit pro m² auf. Material- und Systemanforderungen an Geotextilien, Bentonit und den Verbund werden in den EAG-GTD gestellt. Als Dichtungsmaterial wird Natrium- oder Calciumbentonit verwendet. Ihre dichtende Eigenschaft erlangen geosynthetische Tondichtungsbahnen durch Hydratation des Bentonits bei Wasserzutritt unter Auflast und unter der Geotextil-Verbundwirkung. Die Geotextil-Verbundwirkung dient gleichzeitig der langfristig standsiche-

ren Übertragung der Schubkräfte auf Böschungen. Als Geokunststoffkomponenten kommen Vliesstoffe, Gewebe und Vliesstoff-Gewebe-Kombinationen zum Einsatz.

6.4.2 Dichtungswirkung bei Ionenaustausch

Mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen kann aufgrund des sehr geringen Durchlässigkeitsbeiwertes des gequollenen Bentonits im Vergleich zu mineralischen Dichtungstoffen eine gleichwertige Dichtungswirkung bei geringerer Schichtdicke erzielt werden. Die Dichtwirkung geosynthetischer Tondichtungsbahnen ist unmittelbar an den Wasserhaushalt und das feuchte Milieu der Umgebung gebunden. Darüber hinaus ist sie von der Auflast und der Bentonitmenge abhängig.

Für den Nachweis der Dichtungswirkung geosynthetischer Tondichtungsbahnen wird die Permittivität Ψ (1/s) des Produktes im Labor (Durchlässigkeitsversuch) bestimmt. Die Permittivität ist definiert als das Wasservolumen, das in Abhängigkeit von der Auflast pro Zeiteinheit, Höhendifferenz und Flächeneinheit durch die geosynthetische Tondichtungsbahn hindurchtritt. Es ist die auf die Dicke der Dichtung bezogene Wasserdurchlässigkeit.

$$\Psi = \frac{V_w}{\Delta t \cdot \Delta h \cdot A} = \frac{k}{d}$$

| | | |
|------------|-------------------|---|
| Ψ | [1/s] | Permittivität |
| V_w | [m ³] | Wasservolumen |
| Δt | [s] | Messzeitspanne |
| Δh | [m] | Differenz der Standrohrspiegelhöhen |
| A | [m ²] | Querschnittfläche |
| k | [m/s] | Wasserdurchlässigkeitsbeiwert senkrecht zur Schichtebene |
| d | [m] | Schichtdicke |

Bei Langzeitanwendungen von Natriumbentonit ist von einem vollständigen Ionenaustausch von Natrium- gegen bevorzugt Calciumionen auszugehen. Infolge Ionenaustausch nimmt die Wasserdurchlässigkeit bzw. Permittivität erfahrungsgemäß um eine halbe bis eine Zehnerpotenz zu. Für Sickerprognosen sind im Einzelfall produktspezifische Nachweise durch herstellerunabhängige Fachleute zu führen.

6.4.3 Dichtungswirkung bei Trockenstresseinwirkung

Für das Erzielen und Aufrechterhalten der Dichtwirkung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen ist grundsätzlich ein Mindestwassergehalt von etwa $w = 100\%$ erforderlich. In der Regel jedoch ist die geosynthetische Tondichtungsbahn in einem Deponieoberflächendichtungssystem von Böden umgeben, die sich in teilgesättigten Zuständen befinden bzw. in denen nur zeitweise mit dem Anfall von freiem Wasser zu rechnen ist. In Abhängigkeit von den örtlichen klimatischen Verhältnissen, dem Wasserhaushalt des jeweiligen Dichtungssystems und der Wurzelentwicklung des Bewuchses sind Beanspruchungen infolge Austrocknung und Wiederbefeuchtung zu beachten, die zu wechselnden Wassergehalten im Bentonit führen. Falls parallel zur Trockenstresswirkung Ionenaustauschvorgänge bereits vollzogen wurden, kann es dabei zu Strukturbildungen im Bentonit kommen, die eine Erhöhung der Permittivität des Produktes bewirken.

Ursächlich hierfür ist die Eigenschaft, dass die Wasserabgabe und Wasseraufnahme von Bentoniten einer Hysterese unterliegen, die eine vollständige, alleinige Rückquellung bis zum ursprünglichen Volumen vor der Schrumpfung verhindert. Einhergehend mit der Wiedervernässung finden eine Plastifizierung des Bentonits infolge Wasseraufnahme und eine Abnahme der Festigkeit statt. In Verbindung mit der Auflast aus überdeckenden Bodenschichten -in der Regel Entwässerungs- und Rekultivierungsschicht- führt diese Plastifizierung zu einer Annäherung der durch Trockenstresseinwirkung entstehenden Rissufer. Dieser Konsolidationsprozess verläuft auflast- und zeitabhängig und führt innerhalb weniger Tage zu einer Verbesserung der Dichtungswirkung nach Trockenstress (EGLOFFSTEIN 2000).

Unter den Randbedingungen, dass geosynthetische Tondichtungsbahnen keine Trockenstressschädigung während der Verlegephase durch unzureichende Überschüttung erlitten haben und dass sie mit Erdstoffen in einer Mächtigkeit überdeckt sind, die einer Mindestauflast von 20 kPa entspricht, belegen langjährige Labor- und Feldversuche, dass geosynthetische Tondichtungsbahnen ein zuverlässiges Selbstheilungsvermögen nach Wiedervernässung besitzen (REUTER 2006).

6.4.4 Langzeit-Schubkraftübertragung der geotextilen Komponenten

Die auf Deponieböschungen wirkenden hangabwärts gerichteten Schubkräfte müssen über die Geokunststoffkomponenten in den Untergrund abgetragen werden. Eine mittragende Wirkung des Bentonits wird in den geotechnischen Standsicherheitsnachweisen nicht angesetzt. Vor diesem Hintergrund müssen die eingesetzten Geotextilien eine ausreichende Zugfestigkeit über die vorgesehene Nachweisdauer besitzen.

Die in den abfallrechtlichen Verfahren des Deponiebaus üblicherweise anerkannten Zulassungen für Geokunststoffe der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) gehen von einer nachzuweisenden Mindestfunktionsdauer von ≥ 100 Jahren aus. Entsprechende produktspezifische Nachweise zur Langzeit-Schubkraftübertragung der geotextilen Komponenten werden bei der BAM und dem Süddeutschen Kunststoffzentrum durchgeführt. Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen den geprüften Produkten bei Böschungsneigungen bis 1:n = 1:3 mechanische Funktionsdauern von (mindestens) mehreren Jahrhunderten.

Analog zur Verfahrensweise bei Kunststoffdichtungsbahnen wird die ausschließliche Verwendung entsprechend geprüfter und bestätigter Produkte empfohlen.

6.4.5 Entwurfsgrundsätze

Geosynthetische Tondichtungsbahnen unterscheiden sich von den mineralischen Dichtungsschichten in verschiedener Hinsicht, was beim Entwurf entsprechender Oberflächendichtungssysteme zu berücksichtigen ist. Die Wirksamkeit des vorgesehenen Dichtungssystems ist für alle Betriebszustände für jedes Bauvorhaben nachzuweisen. Das Dichtungssystem kann als ausreichend sicher angesehen werden, wenn es die projektspezifischen Anforderungen erfüllt.

Hinweise zum Umfang grundsätzlicher und projektbezogener Eignungsnachweise sind in „Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen als mineralische Dichtung in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien - Bentonitmattengrundsätze“ (LAGA 2005) zu finden. Die maßgebenden Einwirkungen und Lastfälle sind unter Berücksichtigung der projektspezifischen Randbedingungen festzulegen und zu begründen.

Aus Gründen der Langzeitbeständigkeit dürfen für die zum Einsatz kommenden Kunststoffe nur Formmassen eindeutiger Herkunft und Zusammensetzung aus Polypropylen oder Polyethylen hoher Dichte verwendet werden. Für die geosynthetische Tondichtungsbahn sind die Eignungsnachweise auf Grundlage der EAG-GTD zu führen, wobei produktspezifische Aspekte zu berücksichtigen sind. In Tabelle 1 sind die maßgebenden Mindestanforderungen an die geosynthetischen Tondichtungsbahnen nach EAG-GTD aufgeführt.

Die Nachweise der Dichtungswirkung in allen Betriebszuständen werden -ggf. unter Berücksichtigung des Ionenaustausches- in Labordurchlässigkeitsversuchen in Anlehnung an DIN 18130 erbracht. Der Nachweis der Wirksamkeit (Permittivität) bei Verformungen der geosynthetischen Tondichtungsbahn ist für die maßgebenden Betriebszustände zu erbringen.

Beim Entwurf von Deponie-Oberflächendichtungssystemen mit geosynthetischen Tondichtungsbahnen ist der Wasserhaushalt des Gesamtsystems zur Bewertung des Einflusses auf die Quell- und Schrumpfeigenschaften des Bentonits objektspezifisch zu untersuchen (vgl. E 2-30). Zusätzliche Schutzmaßnahmen gegen witterungsbedingte Austrocknung, wie sie z. B. bei WITT et al (2004) beschrieben sind, können standortspezifisch erforderlich werden.

| Parameter | Symbol | Norm Empfehlung | Anforderung |
|--|------------|-------------------------------|--|
| Bentonitmenge | M_{clay} | DIN EN 14196 | $\geq 4500 \text{ g/m}^2$ (Natriumbentonit) $\geq 8000 \text{ g/m}^2$ (Calciumbentonit) |
| Wassergehalt (Bentonit) | w | DIN 18121-1 | $\leq 12 \%$ |
| Quellvermögen (Bentonit) | - | ASTM D 5890 | $\geq 20 \text{ ml}$ (Natriumbentonit) $\geq 8 \text{ ml}$ (Calciumbentonit) |
| Wasseraufnahmevermögen (Bentonit) | W_A | DIN 18132 | $\geq 450 \%$ (Natriumbentonit) $\geq 150 \%$ (Calciumbentonit) |
| Montmorillonitgehalt (Bentonit) | MB | DIN EN in Vorb. (prEN 254056) | $\geq 300 \text{ mg/g}$ (Natriumbentonit) $\geq 300 \text{ mg/g}$ (Calciumbentonit) |
| Flächenbezogene Masse (Geotextil) | M_A | DIN EN 965 | $\geq 100 \text{ g/m}^2$ (Gewebe) $\geq 200 \text{ g/m}^2$ (mech. verf. Vliesstoff) |
| Zugfestigkeit (Geotextil: Gewebe) | T_{max} | DIN EN ISO 10319 | $\geq 7,0 \text{ kN/m}$ (längs/quer) |
| Stempeldurchdrückkraft (Geotextil: Vliesstoff) | F_p | DIN EN ISO 12236 | $\geq 1,0 \text{ kN}$ |

Tabelle 1: E-2-36 Tabelle 1. Mindestanforderungen an geosynthetische Tondichtungsbahnen nach EAG-GTD

Ohne zusätzliche Vorkehrungen gegen witterungsabhängige Austrocknungen zeigen langjährige Feldmessungen an Oberflächendichtungssystemen mit 1,0 bis 1,3 m Überdeckung der geosynthetischen Tondichtungsbahn durch Rekultivierungs- und Entwässerungsschichten jährliche saisonale Durchsickerungen von etwa 5 bis 25 mm/a (RETTIG et al 2005; REUTER 2006; WOLSFELD 2005), je nach klimatischen Standortverhältnissen.

Die mechanischen Eigenschaften des Verbundsystems werden durch die Geokunststoffkomponenten bestimmt. Ausreichende Robustheit und Dehnfähigkeit sind Voraussetzungen für den Verlege- und Überschüttungsvorgang. Die Hinweise der E 2-9 sind zu beachten. Die in den EAG-GTD (2002) geforderten Angaben hinsichtlich Verformungen und Dehnungsbeanspruchungen an Anschlüssen und Durchdringungen sind zu berücksichtigen.

Für Böschungen ist die Standsicherheit in den Gleitfugen des Dichtungssystems nach E 2-7 nachzuweisen. Die innere Scherfestigkeit des Verbundsystems und der Scherwiderstand zu den angrenzenden Schichten müssen dauerhaft die Sicherheitsanforderungen der Norm DIN V 4084-100 erfüllen. Maßgebende Bau- und Betriebszustände sind zu berücksichtigen (EAG-GTD 2002).

Die im Entwurfsstadium zugrunde gelegten Grenz- bzw. Mindestwerte müssen vor Baubeginn durch entsprechende Versuche an den zum Einsatz kommenden geosynthetischen Tondichtungsbahnen und angrenzenden Systemkomponenten nachgewiesen werden (vgl. E 2-7 und E 2-9).

Um vegetationsbedingte Trockenstresseinwirkungen zu vermeiden, muss die Rekultivierungsschicht nach E 2-31 ggf. in Kombination mit zusätzlichen wurzelsperrenden Komponenten die geosynthetische Tondichtungsbahn schützen.

6.4.6 Ausführung

Bei Ausführung und Verlegung einer geosynthetischen Tondichtungsbahn sind die Verlegeanleitung des Herstellers und die EAG-GTD zu beachten. Die geosynthetische Tondichtungsbahn ist vom Hersteller mit Typenaufdruck und Etikett zu versehen. Für Versand, Transport und Lagerung sind die GTD-Rollen zum Schutz vor Feuchtigkeit in Folie zu verpacken. DIN EN ISO 10320 ist zu beachten. Bei Anlieferung ist der Lieferschein auf Vollständigkeit und Übereinstimmung mit der Bestellung zu prüfen.

Die Auflagerfläche muss gemäß den Vorgaben verdichtet, eben und frei von scharfkantigen Gegenständen oder schädlichen Stoffen sein. Kleinere Unebenheiten sind unbedenklich, soweit sie das Maß von 2 cm in der Höhe nicht überschreiten. Als Auflagermaterial sind mit Ausnahme der enggestuften Kiese (GE) und dementsprechenden Lieferkörnungen alle Bodengruppen nach DIN 18196 geeignet.

Bereits verlegte Bahnen dürfen ohne ausreichende Überschüttung nicht befahren werden. Verlegte Bahnen, die vor dem Überschütten durch Niederschlagseinwirkung gequollen sind, dürfen nicht überschüttet werden. Sie sind auszubauen und durch einwandfreie Bahnen zu ersetzen.

Aufgrund ihrer großen Saugspannung können Bentonitmatten bei Erstquellung ihren maximalen Wassergehalt allein in Kontakt mit erdfeuchten Böden innerhalb von wenigen Wochen erreichen. Gequollene Bentonitmatten müssen deshalb frühzeitig gegen schädliche Wassergehaltsänderungen geschützt werden. Die in den EAG-GTD geforderte Mindestüberdeckung von 30 cm unterstützt die Dichtungswirkung während der Erstquellung und schützt vor mechanischen Beschädigungen. Als Schutzmaßnahme gegen Witterungseinflüsse ist diese Mindestüberdeckung nicht hinreichend. Eine optimale Dichtwirkung wird erreicht, wenn zwischen dem Aufbringen der Mindestüberdeckung von 30 cm in der Verlegephase und dem Aufbringen der weiteren Deckschichten nicht mehr als zwei bis drei Wochen vergehen.

Sofern bei der geosynthetischen Tondichtungsbahn ein Unterschied zwischen Träger- und Deckgeotextil besteht, dürfen Ober- und Unterseite der geosynthetischen Tondichtungsbahn nicht verwechselt werden.

Folgende Varianten zur Sicherstellung der Dichtigkeit im Überlappungsbereich sind gebräuchlich:

- Bentonitfüllung der Deckvlieslage im Überlappungsbereich (erfordert während der Ausführung in der Regel keine zusätzlichen Arbeitsvorgänge/Maßnahmen),
- Einbringen von Bentonitpaste oder -pulver in den Überlappungsbereich,
- Verkleben des Überlappungsbereiches, z. B. mit Emulsionen,
- dachschindelartige Überlappung ohne Dichtende Zusatzstoffe, die nur in Fällen mit besonders geringen Anforderungen ausreichend ist.

7 Abschließende Bemerkung

Die Ausschüsse Ak 5.1, Ak 6.1 und UAG nehmen Anregungen gerne entgegen. Kommentare und Änderungsvorschläge zum Thema *Geokunststoffe in Deponien und Altlasten* richten Sie bitte an

Universität Rostock

Institut für Umweltingenieurwesen

Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff

Justus-von-Liebig-Weg 6

18059 Rostock

E-Mail: fokke.saathoff@uni-rostock.de

8 Literatur

EAG-EDT: Empfehlungen zu Dichtungssystemen im Tunnelbau. Empfehlungen des Arbeitskreises 5.1 „Kunststoffe in der Geotechnik und für den Wasserbau“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik DGGT. VGE Verlag Glückauf Essen, 2005

EAG-GTD: Empfehlungen für die Anwendung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen (Bentonitmatten). Empfehlungen des Arbeitskreises 5.1 „Kunststoffe in der Geotechnik und für den Wasserbau“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik DGGT. Ernst & Sohn, 2002

EGLOFFSTEIN, T.: Der Einfluss des Ionenaustausches auf die Dichtwirkung von Bentonitmatten in Oberflächenabdichtungen von Deponien. ICP Eigenverlag, Bauen und Umwelt Band 3, Karlsruhe 2000

FGSV-(Straßenbau-)Merkblatt: Merkblatt für die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues M Geok E. Ausgabe 2005. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, FGSV 535, Köln, 2005

LAGA: Grundsätze für die Eignungsbeurteilung von geosynthetischen Tondichtungsbahnen als mineralische Dichtung in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien – Bentonitmattengrundsätze. Arbeitsentwurf der LAGA Ad-hoc-Unterarbeitsgruppe Bentonitmatten, Stand Oktober 2005

RETTIG, R; RAABE, S.; MELCHIOR, S. & STEINERT, B.: Zwischenergebnisse der Versuchsfelder der MEAB zu alternativen Oberflächenabdichtungssystemen auf der Deponie Deetz/Brandenburg. 2. Leipziger Deponiefachtagung 2006

REUTER, E.: Bentonitmatten als Dichtungselemente in Oberflächenabdichtungssystemen. Statusworkshop Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme, Arbeitskreis 6.1 der DGGT, Fachhochschule Lippe und Höxter, 2006

- SAATHOFF, F., BRUMMERMANN, K.; SCHLÜTTER, A. & ARTH, P.: EAG-EDT Empfehlungen zu Dichtungssystemen mit Kunststoffdichtungsbahnen im Tunnelbau. geotechnik, Heft 2, VGE Verlag Glückauf Essen, S. 127-132 (6 Seiten), ISSN 0172-6145, 2006
- WITT, K.J.; ZEH, R.M. & FABIAN, F.: Kapillarschutzschichten für mineralische Dichtungskomponenten in Oberflächenabdichtungen. Müll und Abfall, Heft 11, 2004
- WOLSFELD, N.: Bodenphysikalische Eignung mineralischer Oberflächenabdichtungssysteme für Monodeponien der Stahlindustrie. Freiburger Bodenkundliche Abhandlungen, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br., Heft 43, 2005

