

Aktuelle Informationen zum Stand der Arbeit und zu den Arbeitsergebnissen des Fachbeirates der BAM zur Zulassung von Geokunststoffen und Dichtungskontrollsystemen

**Andreas Wöhlecke und Werner Müller
BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung**

1 Einleitung

Die Geschichte der BAM-Zulassung begann vor nunmehr 20 Jahren. Durch die neue Deponieverordnung (DepV - diese Abkürzung bezeichnet im Folgenden immer die novellierte Fassung vom 17.10.2011) erhielt die Zulassungstätigkeit der BAM jedoch eine neue gesetzliche Grundlage [1, 2]. Geokunststoffe, Polymere und Dichtungskontrollsysteme müssen nun von der BAM zugelassen und die Eignung sonstiger Baustoffe bundeseinheitlich nachgewiesen werden. Bei der Umsetzung von Anforderungen in Zulassungsrichtlinien der BAM wirkt ein Fachbeirat beratend mit. Die Zuständigkeit und die Aufgaben der BAM werden im Folgenden erläutert. Der Fachbeirat beschloss bereits die Zulassungsrichtlinien für Kunststoffdichtungsbahnen, Schutzschichten, Kunststoff-Dränelemente, Geotextilien zum Filtern und Trennen, eine vorläufige Richtlinie für Bewehrungsgitter aus Kunststoff und eine Richtlinie über Anforderungen an Verlegefachbetriebe, die von seinen Arbeitsgruppen vorbereitet worden waren und somit die Grundlage für die Zulassungstätigkeit bilden. Den vorläufigen Charakter hat die Richtlinie für Bewehrungsgitter deshalb, weil bestimmte technische Fragen noch nicht abschließend geklärt werden konnten. Daran wird weiter gearbeitet. Der Beschluss über die Richtlinie für Dichtungskontrollsysteme steht ebenfalls bevor. In diesem Beitrag wird kurz über wesentliche Anforderungen und Zulassungsvoraussetzungen berichtet. Die Novellierung der Deponieverordnung vom 17.10.2011 berührt die Vorschriften für die Zulassung durch die BAM nicht. Sie erweitert jedoch die Art und Weise, wie ein Eignungsnachweis gegenüber der zuständigen Behörde als gleichwertig zur Zulassung durch die BAM geführt werden könnte. Es geht dabei um CE-Kennzeichnungen und um ausländische Produkte aus dem Europäischen Wirtschaftsraum.

2 Historische Entwicklung der Zulassungen der BAM

Eignungsgutachten beschreiben und bewerten lediglich die Eigenschaften, die ein Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt hat. Sie haben jedoch keinerlei rechtliche Bindungswirkung für den Antragsteller oder das Produkt. Genau aus diesem Grund sind sie ein fragwürdiges Instrument für die ständige Eignungsfeststellung und somit nicht mit einer Zulassung zu vergleichen. Die Zulassungen durch die BAM haben im Laufe der Zeit eine breite und weitgehend unumstrittene fachliche Anerkennung erfahren.

Bereits im Jahr 1985 wurde mit der *NRW-Richtlinie für Kunststoffdichtungsbahnen* in Deutschland der erste Schritt für die Erarbeitung von Anforderungen an Geokunststoffe in Deponieabdichtungen getan. Hier wurden somit zum ersten Mal die Anforderungen an Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) für die Verwendung in Deponiebasisabdichtungen zu-

sammengestellt. Nach dem Erscheinen des *Niedersächsischen Dichtungserlasses* wurde dann schließlich am 30. August 1989 die erste Zulassung für eine KDB durch die BAM auf der Grundlage der NRW-Richtlinie erteilt. Zum ersten Mal wurde also eine Rechtsgrundlage geschaffen, auf deren Basis die BAM Zulassungen in diesem Bereich erteilen konnte. Später forderte auch die TA Abfall (Technische Anleitung Abfall) zugelassene KDB. Diese regelte allerdings ebenfalls weder den Ablauf noch die Zuständigkeiten für die Zulassungsverfahren. Trotzdem wurde die Zulassung durch die BAM zunehmend in den Genehmigungsverfahren gefordert und konnte sich somit etablieren [3].

All diese Unklarheiten hinsichtlich der Zuständigkeiten wurden mit der neuen Deponieverordnung und ihrer Novellierung durch die „Erste Verordnung zur Änderung der Deponieverordnung“ beseitigt [1, 2]. Sie schaffen somit eine eindeutige gesetzliche Grundlage für die Zulassung von Geokunststoffen, Polymeren und serienmäßig hergestellten Dichtungskontrollsystemen für Deponieabdichtungen durch die BAM. Ein Fachbeirat war von Beginn an an der Erarbeitung und Entwicklung der Zulassungskonzepte und der entsprechenden Richtlinien und Empfehlungen maßgeblich beteiligt. Dieser hat entscheidend zur Entwicklung, Umsetzung und Akzeptanz der BAM-Zulassungen beigetragen. Bei der fachlichen Arbeit kann also auf viel Erfahrung zurückgegriffen werden. Waren zunächst Themen wie die chemische Beständigkeit von KDB und die Permeation von Schadstoffen durch diese im Blickfeld, rückten im Laufe der Zeit weitere Arbeitsgebiete wie die Alterung und Lebensdauer der Produkte in den Vordergrund [4]. Auch die Qualitätssicherung bei der Herstellung und dem Einbau der Komponenten war ein wesentliches Thema, das bearbeitet wurde.

Die erste Zulassungsrichtlinie für KDB wurde bereits im Juli 1992 veröffentlicht [5]. Doch das Einsatzgebiet der in der Geotechnik von Deponien eingesetzten Kunststoffprodukte beschränkt sich nicht ausschließlich auf Dichtungsbahnen, vielmehr liegt hier ein ständig wachsendes Feld von Erzeugnissen und deren Anwendungen vor. In dem sich dynamisch entwickelnden bautechnischen Gebiet der Geokunststoffe in der Geotechnik von Deponien und Altlasten wird der Stand der Technik durch die Zulassungen und Richtlinien anwendbar aufgezeigt. Produkte wie z. B. Kunststoff-Dränelemente, Schutzschichten und Bewehrungen aus Kunststoff gehören mittlerweile zu den Produkten, die hier genau betrachtet und deren Themenfelder bearbeitet wurden. Das Tätigkeitsgebiet der BAM hat sich also im Laufe der Zeit deutlich erweitert. Auf die einzelnen Themengebiete soll jedoch noch im Folgenden genauer eingegangen werden.

3 Gesetzliche Grundlage für die Zulassungstätigkeit der BAM

Nach der DepV dürfen für Deponieabdichtungssysteme nur Materialien, Komponenten oder Systeme eingesetzt werden, wenn sie dem Stand der Technik nach Anhang 1 Nummer 2.1.1 entsprechen. Nach Anhang 1 Nummer 2.4 der DepV wird dies für Geokunststoffe, Polymere und serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme durch eine Zulassung durch die BAM nachgewiesen. Diese Voraussetzungen bleiben auch durch die *Erste Verordnung zur Änderung der Deponieverordnung* bestehen. Allerdings wurden in diesem Feld Ergänzungen verfasst und eingefügt. Es können nun Geokunststoffe und Dichtungskontrollsysteme ebenfalls eingesetzt werden, wenn diese

1. nach einer harmonisierten technischen Spezifikation mit einer CE-Kennzeichnung deklariert worden sind. Allerdings gilt dieser Punkt nur, wenn die in der Norm festgelegten Anforderungen an das Material, die Komponenten und die Systeme im Wesentlichen denen der DepV entsprechen oder

2. sie keine CE-Kennzeichnung tragen, stattdessen aber entweder in einem anderen Mitgliedstaat der Europäischen Union oder in der Republik Türkei gemäß den dort geltenden Regelungen oder Anforderungen rechtmäßig hergestellt oder in Verkehr gebracht wurden oder aber die in einem anderen Vertragsstaat des Abkommens über den Europäischen Wirtschaftsraum gemäß den dort geltenden Regelungen oder Anforderungen rechtmäßig hergestellt und in Verkehr gebracht wurden. Auch hier müssen die mit den Prüfungen und Überwachungen im Herstellerstaat nachgewiesenen Material-, Komponenten- und Systemeigenschaften das geforderte Schutzniveau der DepV dauerhaft gewährleisten.

Doch wie sind diese beiden Punkte nun zu bewerten? Als Erstes ist somit geregelt: Sollte es in Zukunft europäische bauaufsichtliche Zulassungen für Geokunststoffe oder Dichtungskontrollsysteme geben, die die Anforderungen der DepV berücksichtigen, dann werden diese die Zulassungen durch die BAM ersetzen. Nach derzeitigem Stand entsprechen die harmonisierten technischen Spezifikationen jedoch sicherlich nicht den Anforderungen der DepV. Aber wie wird nun verfahren, wenn es europäische Anwendungsnormen, Prüfzeugnisse oder Gutachten gibt, die die Anforderungen erfüllen? Wie kann entschieden werden, ob diese dem Stand der Technik nach der DepV entsprechen? Zudem stellt sich die Frage, wie hier ermittelt wird, dass die Forderung nach einer Dauerhaftigkeit von mindestens 100 Jahren angemessen berücksichtigt wurde. In rechtlicher Hinsicht entscheiden natürlich die zuständigen Länderbehörden, wie hier formal zu verfahren ist. Diese könnten jedoch auf dem Wege der Amtshilfe fachlich kompetente Behörden zur Beurteilung heranziehen.

Nun erteilt die BAM ihre Zulassungen völlig unabhängig vom Herkunftsland der Produkte und ihrer Produzenten. Das Nachweisverfahren unter 2. wurde dennoch vorgesehen. Hätte also eines der betreffenden Länder im Wesentlichen mit der DepV vergleichbare Anforderungen an den Bau von Deponieabdichtungen und könnte eine Firma aus diesem Land die Konformität für ihre Produkte durch technische Unterlagen nachweisen, dann könnten diese Unterlagen natürlich auch bei der zuständigen deutschen Behörde eingereicht werden. Auf diese Weise wären inländische und ausländische Nachweise gleichgestellt. Anhand der Unterlagen müsste die zuständige Behörde aber nun im Rahmen ihres planerischen Ermessens für den Einzelfall beurteilen, ob das von der DepV geforderte Schutzniveau beim Einsatz des Produkts gleichermaßen gewährleistet wird. Die zuständigen Behörden werden jedoch in vielen Fällen nicht die Voraussetzungen und Möglichkeiten für eine fachliche Prüfung dieser umfangreichen Richtlinien, Unterlagen und Nachweise haben. Es wird wahrscheinlich schon schwierig sein, vernünftige Übersetzungen in diesem Bereich zu bekommen, da es kaum entsprechend qualifizierte Fachübersetzer gibt. Die zuständige Behörde könnte für eine Beurteilung der Unterlagen für den speziellen Nachweis für ausländische Produkte somit auch in diesem Punkt um Amtshilfe bei den Fachbehörden und bei der Zulassungsstelle nachsuchen.

4 Allgemeines zu den Zulassungen und Richtlinien

Die BAM erteilt die Zulassungen auf Antrag der Produkthersteller und auf der Basis von eigenen Untersuchungen und Prüfergebnissen akkreditierter Prüfstellen. Im Zusammenhang mit der Zulassung hat die BAM die Aufgaben der Definition von Prüfkriterien, der Aufnahme von Nebenbestimmungen in die Zulassung und vor allem auch der Festlegung von Anforderungen an den fachgerechten Einbau und das Qualitätsmanagement für die Produkte. Bei der Zulassung von Geokunststoffen müssen die Anforderungen der DepV nach dem Stand der Technik beachtet werden. Es muss u. a. nachgewiesen werden, dass die Geokunststoffe unter den Einwirkungen und Bedingungen im eingebauten Zustand ihre Funktion über min-

destens 100 Jahre erfüllen. Dichtungskontrollsystem müssen hingegen mindestens 30 Jahre funktionieren. Zur Feststellung der Eignung muss die Widerstandsfähigkeit der Produkte gegenüber allen zu erwartenden physikalischen, chemischen und biologischen Einwirkungen nachgewiesen werden. Der Geokunststoff oder das DKS müssen dazu eben auch sicher, reproduzierbar und qualitätsüberwacht hergestellt werden. Sowohl die Vorfertigung von Produkten als auch der Einbau müssen einem mehrgliedrigen Qualitätsmanagement unterliegen. Dabei muss dieses nach der Empfehlung E 5-1 „Grundsätze des Qualitätsmanagements“ der DGGt (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.) erstellt werden. Neu ist, dass es für einige Produkte Zulassungen für sogenannte Produktfamilien gibt. Eine Produktfamilie besteht dabei aus Produkten mit unterschiedlicher Masse pro Fläche, die jedoch aus den jeweils gleichen Vorprodukten mit dem gleichen Produktionsverfahren hergestellt werden. Im Zulassungsschein wird jedoch jedes Mitglied einer Produktfamilie genau spezifiziert. Als Beispiele seien hier die Geotextilien zum Filtern und Trennen (s. Kapitel 5.2) und die Vliesstoffe in Kombi-Schutzschichten (s. Kapitel 5.6) genannt.

Grundsätzlich stützt sich die Arbeit auf die Richtlinien so weit es geht auf bereits bestehende Regelwerke. Zum Beispiel werden vorzugsweise bestehende Normen des CEN (Europäische Normungsorganisation), der ISO (Internationale Normungsorganisation) oder aber ASTM-Standards (US-amerikanische Normungsorganisation) hinzugezogen. Da die Normung jedoch einem ständigen internationalen Entwicklungsprozess unterliegt, müssen die bestehenden Richtlinien und Empfehlungen an diese angepasst werden. So werden zum Beispiel die entsprechenden Anforderungen an die CE-Kennzeichnung übernommen. Aber auch andere, die jeweiligen Gebiete betreffende Richtlinien, Merkblätter und Empfehlungen, wie z. B. die Empfehlungen der GDA (Deutsche Gesellschaft für Geotechnik), aber auch die Regelwerke des FGSV (Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen), DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V.) und DVS (Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V.), werden hinzugezogen.

Die BAM erstellt jedoch auch in enger Zusammenarbeit mit dem Fachbeirat und seinen Arbeitsgruppen ergänzende Papiere und Anforderungen. Dies ist z. B. nötig, wenn die Normen und Standards keine ausreichenden Anforderungen enthalten oder die Prüfverfahren nicht ausreichend beschrieben sind, um der DepV zu entsprechen. Hier können somit Anpassungen vorgenommen oder auch Empfehlungen gegeben werden, um für die speziellen Produkte im Deponiebau anwendbar zu sein.

4.1 Veröffentlichung der Richtlinien und Zulassungen

Die fertiggestellten und vom Fachbeirat verabschiedeten Zulassungsrichtlinien und Empfehlungen sind auf der Internetseite¹⁾ und im Amts- und Mitteilungsblatt²⁾ der BAM veröffentlicht. Hier ist auch eine Liste mit allen durch die BAM zugelassenen Produkten zu finden. In der letzten Spalte dieser Liste finden sich Angaben darüber, in welchem Heft und auf welcher Seite des Amts- und Mitteilungsblatts²⁾ sich die vollständigen Zulassungsdokumente jeweils finden.

¹⁾ Die veröffentlichten Dokumente finden sich in Bereich: Service → Amtliche Mitteilungen → Abfallrecht, auf der Internetseite der BAM und zwar unter: http://www.bam.de/de/service/amtliche_mitteilungen/abfallrecht/index.htm

²⁾ Das Amts- und Mitteilungsblatt der BAM wird in digitaler Form unter der folgenden URL veröffentlicht: http://www.bam.de/de/service/amtliche_mitteilungen/amtliche_mitteilungsblatt.htm

4.2 Der Fachbeirat

Bei der Bearbeitung von Zulassungsrichtlinien wirkt ein Fachbeirat beratend mit. Dieser tagt unter dem Vorsitz von Herrn Dr. Engelmann vom Umweltbundesamt (UBA) und der Geschäftsführung der BAM. Der Fachbeirat berät die BAM bei der Bearbeitung der Zulassungsrichtlinien, die die Voraussetzungen und Forderungen einer Zulassung beschreiben. In Tabelle 1 sind die Namen der aktuellen Fachbeiratsmitglieder aufgeführt.

Tabelle 1: Mitglieder des Fachbeirats

Mitglied	Firma, Universität, Behörde
Dipl.-Ing. Klaus-Hermann Albers	G quadrat Geokunststoffgesellschaft mbH
Dipl.-Ing. Wolfgang Bräcker	Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim (ZUS AGG)
Dipl.-Ing. Reiner Drewes	Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV)
Dipl.-Ing. Karl Johann Drexler	LfU Bayerisches Landesamt für Umwelt
Henning Ehrenberg	NAUE GmbH & Co. KG
Dipl.-Ing. Andreas Elsing	HUESKER Synthetic GmbH
Dr.-Ing. Bernd Engelmann	Umweltbundesamt (UBA)
Dipl.-Ing. Klaus-Dieter Hegewald	Landesamt für Umweltschutz, Sachsen-Anhalt
Dr.-Ing. Dirk Heyer	TU München, Zentrum Geotechnik
Dipl.-Ing. Dieter Jost	GSE Lining Technology GmbH
Dr. rer. nat. Werner Müller	BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung
Dr.-Ing. Ernst Reuter	IWA Ingenieurgesellschaft für Wasser- und Abfallwirtschaft
Dipl.-Ing. Gerd Peter Romann	AGAS Arbeitsgemeinschaft Abdichtungstechnik e. V.
Prof. Dr.-Ing. Fokke Saathoff	Geotechnik und Küstenwasserbau (Universität Rostock)
Dipl.-Ing. Torsten Sasse	Umtec Prof. Biener Sasse Konertz
Dr.-Ing. Michael Tiedt	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
Dipl.-Ing. Lothar Wilhelm	Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie
Dipl.-Ing. Christian Witolla	Ingenieurbüro Geoplan GmbH
Prof. Dr.-Ing. Karl Josef Witt	Bauhaus-Universität Weimar
Dipl.-Ing. Helmut Zanzinger	Süddeutsches Kunststoff-Zentrum

Um die komplexen Aufgaben für die Vielzahl von Produkten zu erledigen, hat der Fachbeirat die folgenden Arbeitsgruppen (AG) eingerichtet:

- die AG Dichtungskontrollsysteme,
- die AG Geogitter,
- die AG Geotextilien und Kunststoff-Dränelemente,
- die AG Kunststoffdichtungsbahnen und
- die AG Verlegefachbetriebe.

In diesen Arbeitsgruppen wurde somit die Möglichkeit geschaffen, einzelne Themengebiete genau zu durchleuchten und dem Stand der Technik anzupassen. Für die Mitarbeit haben sich Teilnehmer des Fachbeirats bereit erklärt. Außerdem wurden weitere, die Expertise erweiternde Personen vorgeschlagen, um möglichst viel Wissen und Erfahrungen zusammenzutragen. Der Fachbeirat hat beschlossen, dass diese Arbeitsgruppen auch nach dem Fertigstellen der Richtlinien nicht aufgelöst werden sollen. Es wurde festgehalten, dass diese lediglich ruhen, damit sie bei auftretenden neuen Frage- oder Problemstellungen wieder zusammenfinden können.

5 Aktueller Stand der Richtlinien und Zulassungsrichtlinien

Vor gut zweieinhalb Jahren wurde nun die Arbeit in Zusammenhang mit der DepV bei der BAM, im Fachbeirat und in seinen Arbeitsgruppen aufgenommen. Richtlinien, die den Anforderungen der DepV an die Produkte vollständig Genüge leisten, mussten erarbeitet werden. Bei einem Teil der Produkte konnte auf bereits bestehende Dokumente, wie Richtlinien und Empfehlungen, zurückgegriffen werden. Diese mussten jedoch dem aktuellen Stand angepasst und gründlich überarbeitet werden. Aufwendiger gestaltete und gestaltet sich jedoch die Aufgabe bei Produkten, für die es bisher keine entsprechenden Grundlagen gab. Dabei soll an dieser Stelle vor allem auf die Bewehrungen aus Geokunststoffen und auf Dichtungskontrollsysteme für tonmineralische Schichten hingewiesen werden.

Geokunststoffe, Polymere und serienmäßig hergestellte Dichtungskontrollsysteme können seit dem 30. April 2010 nur noch in Deponieabdichtungssystemen eingesetzt werden, wenn es für diese Produkte Zulassungen durch die BAM gibt. Damit es nicht zu Verzögerungen kam und kommt, wurden daher für bestimmte Produkte, für die es bis zu diesem Zeitpunkt noch keine Zulassungen gab, Übergangsregelungen geschaffen. Dies konnten z. B. befristete Zulassungen für Produkte sein, für die es bereits Eignungsgutachten durch die BAM gab. Im Folgenden soll nun der Stand der Arbeit bezüglich der einzelnen Produkte und Gruppen dargestellt werden. Es sei jedoch an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es aufgrund der Fülle an Informationen nur sehr schwer möglich ist, ein genaues Bild der Diskussionen wiederzugeben. Daher lohnt es sich für interessierte Gruppen, einen Blick in die erarbeiteten Papiere zu werfen. Diese sind auf der Internetseite der BAM³⁾ veröffentlicht.

5.1 Kunststoffdichtungsbahnen

In der Arbeitsgruppe (AG) Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) bildete die bereits zwölf Jahre bestehende Zulassungsrichtlinie das Fundament für die Arbeit. Das Zulassungskonzept, das neben den Anforderungen an die KDB auch Anforderungen an die Verlegefachbetriebe und

³⁾ Die veröffentlichten Dokumente finden sich in Bereich: Service → Amtliche Mitteilungen → Abfallrecht, auf der Internetseite der BAM und zwar unter: http://www.bam.de/de/service/amtliche_mitteilungen/abfallrecht/index.htm

die fremdprüfenden Stellen beinhaltet (vgl. hierzu die Kapitel 5.7 und 5.8), hat sich ja offensichtlich bewährt. Allerdings mussten die technischen Anforderungen den Erkenntnissen und Erfahrungen der vergangenen Jahre angepasst werden. Die Beschreibungen der Prüfverfahren und der dazu verwendeten Normen wurden gründlich überarbeitet und auf den aktuellen Stand gebracht.

In den Zulassungsrichtlinien wird versucht, sich bei der technischen Beurteilung der Produkteigenschaften möglichst vollständig auf genormte Prüfverfahren zu stützen (s. hierzu auch Kapitel 4). Wo es möglich war, wurden die Anforderungen in dem Zulassungspapier gestrafft und an die europäischen Regelungen angepasst. Dazu wurden die Prüfverfahren und -vorschriften möglichst auf bestehende europäische Prüfnormen umgestellt. Bei der Anwendung von neuen Normen ergeben sich jedoch leider immer wieder ungeklärte prüftechnische Detailprobleme. Die Prüfnormen werden doch in den Arbeitskreisen der Europäischen Normungsorganisation (CEN) erstellt. Dabei müssen unterschiedliche Traditionen und Erfahrungen der einzelnen Mitgliedsstaaten in der Materialprüfung zu einem kleinsten gemeinsamen Nenner gefügt werden. Dies führt dazu, dass die Prüfverfahren nicht immer hinreichend genau und eindeutig beschrieben werden. Zum Teil müssen diese modifiziert werden, um den Anforderungen bei der Produktion und auf der Baustelle zu genügen. Aus diesem Grund wird die AG des Fachbeirats ihre Tätigkeit fortführen. Auf diese Weise können die Anwendungsprobleme der Prüfnormen diskutiert und weitere Hinweise zur Anwendung von Normen erarbeitet werden.

5.2 Geotextilien zum Filtern und Trennen

Bei den Geotextilien zum Filtern und Trennen lehnen sich die Zulassungsanforderungen eng an die GDA-Empfehlung E 2-9 *Einsatz von Geotextilien im Deponiebau* an. Diese Produkte dürfen im Deponiebau nur dort eingesetzt werden, wo im Mittel eine Temperatur von 20 °C nicht überschritten wird.

Schon seit Längerem ist ein Trend zu immer dünneren geotextilen Filtern zu beobachten. Doch welche Rolle spielt die Dicke des geotextilen Filters für dessen Wirksamkeit und Stabilität über lange Zeiträume? Welche Mindestanforderungen sind im Hinblick auf die Spezifikationen des DVWK-Merkblatts 221 [6] zu stellen, damit ein geotextiler Filter seine Funktion zuverlässig und dauerhaft erfüllt? Diese Fragen werden in der Fachdiskussion seit bald zwei Jahrzehnten immer wieder aufs Neue aufgeworfen. Auch die Arbeitsgruppe und der Fachbeirat mussten sich mit diesen Fragen beschäftigen.

Stark vereinfacht kann die Diskussion folgendermaßen zusammengefasst werden: In Experimenten wurde gefunden, dass sich bei einem Filter aus einem dünnen *Gewebe* im Boden selbst eine sekundäre Filterschicht von ausreichender Wirksamkeit und Stabilität ausbilden kann. Daraus darf aber nicht die Schlussfolgerung gezogen werden, dass auch dünne Vliesstoffe ausreichend filtern könnten. Außerdem ist über die speziellen Bedingungen und Mechanismen im Boden, unter denen die dünnen gewebten Filtergeotextilien zur Ausbildung eines stabilen und wirksamen Sekundärfilters führen, wenig bekannt. Daraus ergeben sich nun die folgenden Schlussfolgerungen. Zum einen dürfen im Deponiebau zum sicheren Filtern nur Vliesstoffe verwendet werden und zum anderen müssen diese eine gewisse Mindestdicke haben. In der Zulassungsrichtlinie heißt es nun, dass zum Filtern *Vliesstoffe* eingesetzt werden. Das Filtern geht in diesem Bereich immer auch Hand in Hand mit dem Trennen. Die Anforderungen an den Vliesstoff sind nun ein Flächengewicht von mindestens 300 g/m², die Dicke muss mindestens 3 mm, die Stempeldurchdrückkraft mindestens 2,5 kN und der Durchdrückvorschub bei der Stempeldurchdrückkraft mindestens 50 mm betragen.

Außerdem muss die Dicke des Vliesstoffs mindestens der 30-fachen charakteristischen Öffnungsweite O_{90} entsprechen.

Geotextilien, die nur zum Trennen eingesetzt werden, müssen zur Geotextilrobustheitsklasse 5 gehören. Der Durchdrückvorschub bei der Stempeldurchdrückkraft muss auch hier mindestens 50 mm betragen. Die charakteristische Öffnungsweite soll zwischen 0,06 mm und 0,2 mm liegen. Neu ist auch, dass bei den Geotextilien zum Filtern und Trennen gleich eine ganze Produktfamilie zugelassen wird (s. auch Kapitel 4). Typischerweise sind Vliesstoffe mit Flächengewichten von 300 g/m² bis 600 g/m² aufgeführt.

5.3 Kunststoff-Dränelemente

Auf dem Gebiet der Kunststoff-Dränelemente konnte auf eine Prüfrichtlinie der BAM zurückgegriffen werden. Auf der Basis der Prüfrichtlinie wurden in der Vergangenheit bereits Eigenschaftsgutachten durch die BAM erstellt. Entscheidende Anforderungen an Kunststoff-Dränelemente sind unter anderem die Langzeit-Scherfestigkeit und das Langzeit-Wasserableitvermögen in der Ebene. Diese Eigenschaften müssen ja auch dauerhaft gewährleistet werden können. Die Nachweisverfahren für diese Anforderungen waren durch das bestehende Papier schon vorhanden und konnten somit übernommen werden.

Um das Wasserableitvermögen jedoch auch dauerhaft gewährleisten zu können, spielt nicht nur der Dränkern, sondern auch der geotextile Filter auf der Oberseite des Dränelements eine entscheidende Rolle. Allerdings wurden in der Vergangenheit noch keine Anforderungen an diesen, sondern vielmehr Hinweise zu diesem Bestandteil verfasst. Es wurde z. B. auf das Erfordernis einer Bemessung der Filterwirksamkeit nach den Regeln des DVWK-Merkblatts 221 [6] in jedem Einzelfall verwiesen. Die Arbeitsgruppe und der Fachbeirat mussten nun die in den vergangenen Jahren gemachten Erfahrungen aufarbeiten. Die Diskussionen in der Arbeitsgruppe und dem Fachbeirat zeugten davon, dass an diesen Stellen Handlungsbedarf herrschte und daher klare Regelungen für diesen Bestandteil gefunden werden mussten. Im Folgenden werden somit die aus der Arbeit resultierenden Ergebnisse in Kürze dargestellt.

Zunächst wurde beschlossen, dass die Filtervliesstoffe der Kunststoff-Dränelemente nun dieselben Anforderungen erfüllen müssen, wie sie allgemein für Filtervliesstoffe formuliert wurden (s. dazu Kapitel 5.2). Es gibt ja auch auf den ersten Blick keinen einleuchtenden Grund, von diesen Forderungen abzusehen. Dieser Vliesstoff ist doch ebenfalls ein Filter, der in gewisser Weise zwei Phasen voneinander trennt. Allerdings erfüllen die derzeit auf dem Markt zugänglichen, zugelassenen Kunststoff-Dränelemente diese Anforderungen nicht. Bei der Umstellung der Produkte kann es außerdem zu erheblichen technischen Schwierigkeiten kommen. Doch wie kann nun mit der Situation umgegangen werden? Ein praktikabler Weg, um weiterhin mit derartigen Produkten arbeiten zu können, musste also gefunden werden. Es wurde demnach die folgende Übergangsregelung geschaffen:

Weicht ein Produkt beim Filtergeotextil von den Anforderungen an geotextile Filter ab, so muss der Antragsteller in Abstimmung mit der Zulassungsstelle ein Gutachten einer anerkannten und fachkundigen Stelle vorlegen. Dieses Gutachten muss nun nach den Regeln des DVWK-Merkblatts 221 den Bereich von Böden genau festlegen, für den eine langfristige ausreichende mechanische Filterfestigkeit und hydraulische Filterwirksamkeit gewährleistet sind. Dieser Bereich wird nun von den Parametern des Filtergeotextils, wie z. B. charakteristische Öffnungsweite und Dicke, abhängig sein. Auf dieses Gutachten wird dann wiederum in der Zulassung Bezug genommen. Nämlich die Bereiche, in denen die Kornverteilungen der

Rekultivierungsböden liegen müssen, um die Anforderungen zu erfüllen, werden übernommen. Zusätzlich resultiert aus diesem Vorgehen, dass folglich die Kornverteilung der Rekultivierungsschicht häufiger als üblich untersucht werden muss, um die Übereinstimmung der eingesetzten Böden zu gewährleisten. Bei von diesen Anforderungen abweichenden Bedingungen darf das so festgelegte Kunststoff-Dränelement nur dann eingesetzt werden, wenn zusätzlich eine nach den Regeln des DVWK-Merkblatts 221 bemessene Filterschicht eingebaut wird. Diese Gutachten liegen inzwischen vor. Die zugelassenen Kunststoff-Dränelemente können daher weiterhin verwendet werden, wenn beim Nachweis der Filterwirksamkeit und –stabilität die Anforderungen beachtet werden.

Ein weiteres intensiv diskutiertes Thema war der Einbau von Kunststoff-Dränelementen. An dieser entscheidenden Stelle können schwerwiegende Fehler gemacht werden, die dann die Funktionserfüllung des Produktes behindern. Das fängt bereits bei der Verlegung der Kunststoff-Dränelemente an. Werden die Stöße z. B. nicht einwandfrei hergestellt, kann das zu massiven Behinderungen führen. Beim Aufbringen der Rekultivierungsschicht kann das Element wiederum schwer beschädigt werden, wenn die Komponente verschoben oder auch Aufwellungen verursacht werden. Aus diesem Grund wurde hier also ebenfalls die Anforderung eingeführt, dass Kunststoff-Dränelemente nur durch anerkannte Verlegefachbetriebe eingebaut werden dürfen (s. dazu Kapitel 5.7).

5.4 Dichtungskontrollsysteme

Die Arbeit an der Zulassungsrichtlinie für Dichtungskontrollsysteme (DKS) gründet auf der Empfehlung des Arbeitskreises Dichtungskontrollsysteme (AK DKS) aus dem Jahre 2000. Die Überarbeitung, die in der Zulassungsrichtlinie DKS münden soll, wurde nun in der Arbeitsgruppe DKS abgeschlossen. Das überarbeitete Papier kann damit zur weiteren Abstimmung in den Fachbeirat getragen werden. Eine Verabschiedung der Richtlinie scheint damit in greifbarer Nähe zu sein.

Grundsätzlich werden in dem Papier zwei wesentliche Themenkomplexe betrachtet. Zum einen sind dies DKS für Konvektionssperren und zum anderen solche, die für sonstige Abdichtungskomponenten verwendet werden könnten. Für beide Systeme fordert die neue DepV eine Funktionserfüllung von mindestens 30 Jahren.

Für DKS, die in Verbindung mit Konvektionssperren eingesetzt werden, lagen bereits zwei Eignungsgutachten auf der Grundlage der Empfehlung über Anforderungen an DKS vor. Die Eignungsgutachten wurden in befristete Zulassungen umgewandelt. Die Arbeitsgruppe hat überprüft, wo diese Empfehlung verbessert werden kann und wo sie aktualisiert werden muss. Dabei wurde auch diskutiert, welchen Stand diese Kontrolltechnik erreicht hat und ob nicht technische Neuentwicklungen Änderungen der Anforderungen nötig machen. Unter anderem wurden neue Einbaumodifikationen durch die Hersteller vorgestellt. Eine abgewandelte Anordnung von Messsensoren soll es nun ermöglichen, schon eingebaute Abdichtungen, z. B. temporäre Konvektionssperren, *nachzurüsten*.

Bei jedem Bauprojekt muss eine Funktionsprüfung am DKS durchgeführt werden. Die Richtlinie gibt lediglich Hinweise - und das soll sie hier auch nur. Die genaue Durchführung und Parameter wie Zeitpunkt und Randbedingungen können dabei von den zuständigen Stellen des Baubetriebes festgelegt werden. Leider gab es hier in der Vergangenheit wiederholt Schwierigkeiten bei der Durchführung. Aus diesem Grund hat die AG ein Papier verfasst, das die möglichen Vorgehensweisen bei einer Funktionsprüfung vorstellt und somit Hilfestel-

lung bei der Entscheidungsfindung bei offenen Fragen geben kann. Dieses Papier wird dann wahrscheinlich bald auf der Internetseite der BAM zu finden sein.

Weiterhin wurde bei der Erstellung der Empfehlung davon ausgegangen, dass für das System Konvektionssperre, DKS und Auflager der Konvektionssperre formal eine Gleichwertigkeit zum System Konvektionssperre und mineralische Dichtung nachgewiesen werden muss. Es wurde daher der Durchfluss in Abhängigkeit vom k-Wert des Auflagers ermittelt, wenn mit einer gewissen Häufigkeit Löcher von gerade so geringem Durchmesser in der Konvektionssperre auftreten, dass sie nicht mehr detektiert werden können. Dieser Durchfluss musste dem der mineralischen Dichtung entsprechen. Bei dieser Berechnung wurden sehr konservative Annahmen gemacht. Dies führte praktisch dazu, dass das Auflager so zu gestalten war, dass doch wieder eine Art abgemagerte Kombinationsdichtung entstand. Bei deren Herstellung ergaben sich regelmäßig erhebliche bautechnische Probleme. Die neue DepV sieht jedoch keine Gleichwertigkeitsnachweise mehr vor. Vor diesem Hintergrund wurden realistischere Annahmen gemacht und die Anforderungen an das Auflager aufgeweicht.

5.5 Bewehrungsgitter aus Kunststoff

Die Erarbeitung einer Zulassungsrichtlinie für Bewehrungsgitter aus Kunststoff bereitet erhebliche Mühe. Hier müssen nicht nur grundsätzliche materialtechnische, sondern auch bemessungstechnische Probleme behandelt werden. Bei der Bewertung der Eignung eines Bewehrungsgitters aus Kunststoff werden verschiedene Aspekte betrachtet. Wie groß ist z. B. die Zugkraft, die ein Bewehrungsgitter unter allen äußeren Einwirkungen in einer Deponieabdichtung über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren aushalten kann? Die Antwort liegt hier in den Eigenschaften der Längselemente des Gitters. Außerdem muss aber ebenfalls die Frage beantwortet werden, welchen Herausziehungswiderstand das Bewehrungsgitter im Verbund mit dem Boden unter allen äußeren Einwirkungen wiederum über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren der Zugkraft entgegensetzen kann. Die entscheidende Frage lautet somit: Welche Zugkraft ist dauerhaft verankerbar?

Die Annahme nach dem gegenwärtigen Stand der Technik lautet: Wenn ein Bewehrungsgitter in seinem Verankerungsgraben nur hinreichend lang ausgelegt und die Bodenauflast hinreichend groß gewählt wird, dann ist auch jede Zugkraft verankerbar. Das Limit setzt diesbezüglich die Zugfestigkeit der Längsstäbe und damit die Kraft, die durch das Gitter ausgehalten werden kann. Im Allgemeinen ist diese Antwort jedoch nicht richtig. Schwierigkeiten könnten dann entstehen, wenn bei anisotropen Gittern die Zugfestigkeit der Längselemente immer weiter nach oben getrieben wird. Hier spielen auch die Eigenschaften der Querelemente und insbesondere der Verbindungsstellen zwischen den Längs- und Querelementen eine wesentliche Rolle. Denn diese bestimmen im Allgemeinen die noch verankerbare Zugkraft. Das prinzipielle Problem wird in [7] detailliert diskutiert.

Die Beantwortung der ersten Frage nach der Zugfestigkeit der Längselemente bereitet keine prinzipiellen Schwierigkeiten. Allerdings müssen die Details der Prüfverfahren geregelt und die Methoden für die Bestimmung von Abminderungsfaktoren genau festgelegt werden. Für die Beantwortung der zweiten Frage müssen nicht nur zweckmäßige Modifikationen von Prüfverfahren gefunden, sondern auch die geltenden Bemessungsregeln überdacht und ergänzt werden. Der Stand der Diskussion wird in einer erst noch vorläufigen Zulassungsrichtlinie dokumentiert.

Man sieht also, dass das Zulassungsverfahren vor eigentümlichen Schwierigkeiten steht: Der Stand der Technik ist sowohl in materialtechnischer wie auch in bemessungstechnischer

Hinsicht noch nicht soweit ausgearbeitet, dass man Bewehrungsgitter im Deponiebau ohne Weiteres verwenden könnte. Andererseits ist der Druck, mit Bewehrungsgittern bauen zu wollen und zu müssen, groß. Die Diskussion in der Arbeitsgruppe und die Bearbeitung der Probleme durch die Hersteller haben jedoch immerhin zu einem Bearbeitungsstand geführt, bei dem die Zulassungsstelle versucht, mit Bescheinigungen für einzelne Produkte und einzelne Bauvorhaben oder befristeten Zulassungen vorsichtig den Weg für die Benutzung von Bewehrungsgittern zu öffnen.

5.6 Schutzschichten

Bei der Arbeit konnte bei diesen Produkten auf ein bewährtes Zulassungskonzept zurückgegriffen werden. Es ergeben sich somit keine grundsätzlichen Änderungen. Die Anforderungen wurden jedoch gestrafft und an die europäischen Regelungen angepasst. Bei grober Körnung (16/32 mm) der Dränageschicht, großer Auflast und erhöhten Temperaturen (i. d. R. bei der Basisabdichtung) bieten praktisch nur Schutzschichten mit einer mineralischen Komponente eine ausreichende und dauerhafte Schutzwirkung. Im Hinblick auf die Zulassung werden die Schutzschichten daher in drei Gruppen untergliedert:

- (1) Schutzschichten aus einer geosynthetischen und einer mineralischen Komponente. In der Regel besteht diese „Kombi-Schutzschicht“ aus einem zugelassenen Vliesstoff von mindestens 1200 g/m² Flächengewicht und einer mineralischen Lage, die nach geometrischen Kriterien filterstabil gegenüber dem 16/32-Kies der Dränage sein muss.
- (2) Komplettsysteme, wie z. B. verpackter Sand.
- (3) Rein geosynthetische Schutzlagen. Hier sind derzeit nur Vliesstoffe zugelassen. Aber auch ein Kunststoff-Dränelement kann in einer Oberflächenabdichtung bereits ausreichenden Schutz bieten.

Die ersten beiden zugelassenen Schutzschichtsysteme können ohne weiteren Nachweis in den Basisabdichtungen eingesetzt werden. Nur in Sonderfällen, wenn im Vergleich zum 16/32er Kies sehr grober Kies eingesetzt oder extrem hohe Auflasten aufgebracht werden, sind hier Schutzwirksamkeitsprüfungen erforderlich. In der Oberflächenabdichtung werden Vliesstoffe eingesetzt, deren Flächengewicht aufgrund einer Schutzwirksamkeitsprüfung festgelegt wird. Dieses muss jedoch mindestens 800 g/m² betragen. In den Sonderfällen, wo bei Basisabdichtungen die Auflast eher gering und die Körnung der Dränage feiner oder breiter abgestuft sind, kann das Flächengewicht des Vliesstoffs in der *Kombi-Schutzschicht* bis auf 800 g/m² reduziert werden. Dazu muss jedoch ein Schutzwirksamkeitsnachweis geführt werden. Ist zudem die mittlere Umgebungstemperatur in der Basis ≤ 20 °C, so können in diesen Sonderfällen auch rein geosynthetische Schutzlagen aus zugelassenen Vliesstoffen mit einem Flächengewicht von mindestens 2000 g/m² eingesetzt werden. Auch hier muss jeweils ein Nachweis der Schutzwirksamkeit geführt werden. Zudem müssen die geosynthetischen Komponenten in Schutzschichten oder die Komplettsysteme immer durch einen Verlegefachbetrieb, der auch die Dichtungsbahnen verlegt, eingebaut werden.

5.7 Verlegefachbetriebe

Die Anforderungen an Verlegefachbetriebe waren und sind ein wichtiges Element bei der Betrachtung der Funktionsdauer von Geokunststoffprodukten im eingebauten Zustand. Der Einbau dieser Produkte ist eine schwierige Aufgabe, die eine große Erfahrung und geeignete Ausrüstung erfordert. Auch hier lag eine Empfehlung vor, auf deren Grundlage das aktuelle Papier erarbeitet werden konnte, das die Anforderungen an die Verlegefachbetriebe be-

schreibt. Der Nachweis der erforderlichen Qualifikation, Ausstattung und Erfahrung kann z. B. durch die Anerkennung als Fachbetrieb durch eine Güteüberwachungsgemeinschaft eines Fachverbandes geführt werden. Die Überwachungsordnungen der Fachverbände A-GAS e. V. (Arbeitsgemeinschaft Abdichtungssysteme) und AK GWS e. V. (Arbeitskreis Grundwasserschutz) werden an die neue Richtlinie angepasst. Nicht nur für die Kunststoffdichtungsbahnen, sondern auch für Kunststoff-Dränelemente und Schutzschichten gilt nun die Regelung: Diese Geokunststoffe müssen

[...] nachgewiesenermaßen von einer erfahrenen und mit qualifiziertem Personal sowie erforderlichen Geräten ausreichend ausgestatteten Fachfirma eingebaut werden. [...]

Für Geotextilien zum Filtern und Trennen sowie für Bewehrungsgitter aus Kunststoff gilt diese Vorschrift immer dann, wenn die Produkte im Zusammenhang mit einer Kunststoffdichtungsbahn eingebaut werden. Werden diese Produkte dagegen in Abdichtungssystemen ohne Kunststoffdichtungsbahn oder in anderem Zusammenhang eingebaut, so müssen die den Einbau durchführenden Arbeitskräfte vorab durch eine qualifizierte Fachkraft geschult werden. Der Mindestumfang der jeweiligen Schulungsmaßnahmen ist in den Zulassungsrichtlinien festgehalten. Der Inhalt, die Teilnehmer, der Zeitpunkt und die Dauer dieser Maßnahmen müssen dokumentiert und die Einhaltung dieser Vorschrift muss vom Fremdprüfer kontrolliert werden.

5.8 Fremdprüfende Stellen auf der Deponiebaustelle

Auf der Internetseite der BAM wurde eine Richtlinie für die Anforderungen an fremdprüfende Stellen beim Einbau von Kunststoffkomponenten und –bauteilen in Deponieabdichtungssystemen veröffentlicht. Eine Übersicht mit den Stellen, die die Anforderungen erfüllen, ist hier ebenfalls zu finden. Diese Dokumente regeln somit die Fremdprüfung im Zusammenhang mit den Zulassungen [8].

Die im AK GWS organisierten Fremdprüfer haben eine Arbeitsgruppe gebildet. Diese arbeitet daran, die Probleme zu lösen, die sich bei der Umsetzung der Fremdprüferrichtlinie und den auf dieser fußenden Akkreditierungsmaßnahmen nach DIN EN ISO/IEC 17020 und DIN EN ISO/IEC 17025 ergeben. Weiterhin sollen die Verfahrensweisen auf der Baustelle transparenter und besser vergleichbar gemacht, der Qualitätsstandard bei der Fremdprüfung vereinheitlicht und angehoben werden. Zu diesem Zweck werden Ringversuche, Maßnahmen der *freiwilligen Selbstkontrolle*, Qualitätssicherungspläne usw. durch die Arbeitsgruppe des AK GWS erarbeitet. Mit der Erweiterung des Geokunststoffportfolios im Deponiebau ergeben sich zudem neue Problemstellungen. Die fremdprüfenden Stellen können nicht für alle erforderlichen Prüfungen an allen Produkten akkreditiert sein. Nur die allerwenigsten fremdprüfenden Stellen werden z. B. norm- und fachgerechte Zugprüfungen an hochfesten Bewehrungsgittern durchführen können. Die Kosten für die Beschaffung der entsprechenden Prüftechnik würden sich praktisch nicht erwirtschaften. Hier wurde deshalb die Möglichkeit geschaffen, solche Prüfungen an den auf der Baustelle genommenen Proben beim zugehörigen Fremdüberwacher des Produzenten durchführen zu lassen.

Die BAM unterstützt die Aktivitäten, da die Fremdprüfung von großer Bedeutung für die Produkte und späteren Komponenten ist. Um die Unsicherheiten über Art und Umfang der Fremdprüfungen zu beseitigen, wurden jeweils entsprechende Tabellen in die Zulassungsrichtlinien aufgenommen. Die Angaben in den Tabellen sind verbindlich für den Einbau zugelassener Produkte. Zudem sind die vom AK GWS erarbeiteten Standardqualitätssicherungspläne auf der Internetseite der BAM zugänglich gemacht.

Schlussbemerkung

Seitdem die Arbeit im Fachbeirat und seinen Arbeitsgruppen am 16.10.2009 aufgenommen wurde, ist ein beachtliches Pensum bearbeitet worden. Viele hervorragende Fachleute haben hierfür unentgeltlich ihre Zeit und Arbeitskraft zur Verfügung gestellt. Dabei sind in den höchst interessanten Sitzungen und Diskussionen immer wieder besondere Ansätze und Anregungen zutage gekommen, die die Arbeit teilweise stark geprägt haben. Im Namen der Zulassungsstelle möchten sich die beiden Autoren daher bei den Mitgliedern des Fachbeirats und der Arbeitsgruppen für den Einsatz und die ausgezeichnete Zusammenarbeit bedanken.

Literatur

1. N.N.: Artikel 1 (Verordnung über Deponien und Langzeitlager (Deponieverordnung - DepV) der Verordnung zur Vereinfachung des Deponierechts. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 22, (2009), S. 900-950.
2. N.N.: Erste Verordnung zur Änderung der Deponieverordnung. Bundesgesetzblatt, Teil I, Nr. 52, (2011), S. 2065-2080.
3. *Stief, K.*: 40 Jahre Deponietechnik - ein subjektiver Rückblick. Müll und Abfall, 41(2009), H. 4, S. 184-196.
4. *Müller, W. W.*: Dichtungsbahnen zur Abdichtung von Deponien und Altlasten. In: 25. Fachtagung "Die sichere Deponie". Jost, D. und Albers, K. (Hrsg.). Würzburg: SKZ-ConSem GmbH 2009, S. C1-C22.
5. *Müller, W. W. und Preuschmann, R.*: Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen in Kombinationsdichtungen - Anforderungen an Material, Herstellung und Einbau. AbfallwirtschaftsJournal, 4 (1992), H. 1, S. 61 - 68.
6. N.N.: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., DVWK-Merkblatt 221, Anwendung von Geotextilien im Wasserbau. Hamburg und Berlin: Paul Parey Verlag, 1992 (vergriffen).
7. Müller, W.: Zur Bemessung der Verankerung von Bewehrungsgittern aus Kunststoff beim Schutz von Böschungen vor hangparallelem Gleiten. Bautechnik 88, (2011), S. 347-361.
8. *Müller, W. W.*: Kunststofftechnische Fremdprüfung beim Bau von Abdichtungen für Deponien und Altlasten. In: 24. Fachtagung, Die sichere Deponie. Jost, D. und Albers, K. (Hrsg.). Würzburg: SKZ-ConSem GmbH 2008, S. C1-C18.

