

C Eignungsgutachten für Kunststoff-Dränelemente durch die BAM

Dr. rer. nat. Werner Müller, Berlin

Eignungsgutachten für Kunststoff-Dränelemente durch die BAM

Zusammenfassung

Kunststoff-Dränelemente bieten viele Vorteile gegenüber den herkömmlichen Kiesfiltern und Kiesdränagen. Die am Markt erhältlichen Produkte sind jedoch nicht von vornherein auf die sehr lange Funktionsdauer von Deponieabdichtungen ausgelegt. Es ist daher ein spezieller Eignungsnachweis erforderlich. Über die Erfahrungen und Probleme bei der Begutachtung wird berichtet. Der Eignungsnachweis ersetzt nicht eine Bemessung, die in jedem Einzelfall erforderlich ist. Hierbei gibt es immer noch formale Probleme, da weder die Ableitung der Bemessungsparameter für den Filter aus den Prüfgrößen noch die Art und Größe der Teilsicherheitsbeiwerte, die in die Bemessungsgleichung für die Entwässerungslängen eingehen, klar geregelt ist.

1 Einleitung

Die BAM hatte im Herbst 2003 eine Prüfrichtlinie „Eignungsnachweis für Kunststoff-Dränelemente in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten“ herausgegeben, über die auf der letzten Tagung „Die sichere Deponie“ berichtet wurde. Nach den ersten Erfahrungen bei der Begutachtung wird im Folgenden auf einige Details der verwendeten Untersuchungsverfahren und zugehörige Probleme eingegangen. Zuvor soll jedoch die Anforderung an die Funktionsdauer von Kunststoff-Dränelementen in Deponieabdichtungen kurz in Erinnerung gerufen werden.

Im Anhang 1 der Deponieverordnung heißt es in einer Fußnote zur Tabelle 2: „Die zuständige Behörde kann auf Antrag des Deponiebetreibers Abweichungen von Schichtstärke und Durchlässigkeitsbeiwert der Entwässerungsschicht zulassen, wenn nachgewiesen wird, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht und die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht langfristig gewährleistet sind.“ Der Begriff „langfristig gewährleistet“ wird von den zuständigen Länderbehörden in der Regel so interpretiert, dass das entsprechende Bauprodukt dauerhaft beständig sein soll.

Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) hatte im Rahmen seiner auf dem Baurecht basierenden Zulassungstätigkeit für Dichtungselemente in Deponieabdichtungen Grundsätze für deren Eignungsnachweis erstellt¹. Darin wird der Begriff der Langzeitbeständigkeit und der

¹ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), 1995. Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen. In: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGt) (Hrsg.), GDA-Empfehlung: Geotechnik der Deponien und Altlasten, 3. Auflage, Ernst & Sohn, Berlin.

Dauerbeständigkeit definiert. „Unter Dauerbeständigkeit wird hier ein Verhalten verstanden, bei dem der Erhalt der maßgebenden dichtenden und mechanischen Eigenschaften des betrachteten Dichtungselements nach dem Stand der Technik über Zeiträume, die mehrere hundert Jahre umfassen, angenommen werden kann.“² In dieser Definition ist enthalten, dass in die Extrapolation begründete Hypothesen mit eingehen („angenommen werden kann“), dass das Ergebnis eine große Spannweite umfasst („mehrere hundert Jahre“), und dass die Abschätzung immer nur einen gewissen vorläufigen Charakter hat („Stand der Technik“).

Der Begriff wird abgegrenzt von dem der Langzeitbeständigkeit: „Unter Langzeitbeständigkeit wird hier ein Verhalten verstanden, bei dem der Erhalt der maßgebenden dichtenden und mechanischen Eigenschaften nach dem Stand der Technik über einen Zeitraum von 50 bis 100 Jahren angenommen werden kann.“³

Die European Organisation for Technical Approvals (EOTA), deren deutsches Mitglied das DIBt ist, fordert, dass die Funktionsdauer eines Bauprodukts der Lebensdauer des Bauwerks insgesamt entsprechen muss, wenn das Bauprodukt im Bauwerk nicht repariert oder nicht mit nur geringem Aufwand ersetzt werden kann. Dabei werden vier Lebensdauern von Bauwerken unterschieden: kurz (10 Jahre), mittel (25 Jahre), normal (50 Jahre) und lang (100 Jahre). Eine endgültige Oberflächenabdichtung sollte sicherlich eine lange Funktionsdauer haben und die Dränelemente in endgültigen Oberflächenabdichtungen können gewiss nicht einfach repariert werden und der Ersatz würde zweifellos einen gewaltigen Aufwand erfordern. Im Rahmen bauaufsichtlicher Regelungen wäre daher zwingend eine Funktionsdauer von Kunststoff-Dränelementen von mindestens 100 Jahren erforderlich, wenn sie in endgültigen Deponieoberflächenabdichtungen, aufgefasst als Bauwerk, verwendet werden sollen.

Die Anforderungen der Norm DIN EN 13252, *Geotextilien und verwandte Produkte, geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Dränanlagen*, an die Beständigkeit gewährleisten jedoch ausdrücklich nur eine Funktionsdauer von mindestens 25 Jahren.

Ein Eignungsnachweis für Kunststoff-Dränelemente, die im Deponiebau oder bei der Altlastensicherung eingesetzt werden, muss daher – selbst nach nur bauaufsichtlichen Regeln – weit über die Prüfverfahren und Anforderungen der Norm hinausgehen⁴.

² GDA-Empfehlung, S. 688, Tabelle 5.4-3, Fußnote.

³ GDA-Empfehlung, S. 688, Tabelle 5.4-3, Fußnote.

⁴ In der Norm heißt es: „Besondere Anwendungen oder nationale Bestimmungen können Anforderungen hinsichtlich zusätzlicher Eigenschaften und – vorzugsweise genormte – Prüfverfahren enthalten, wenn diese technisch relevant sind und sie europäischen Normen nicht entgegenstehen.“

3 Allgemeine Bemerkungen zur Begutachtung von Kunststoff-Dränelementen

In der BAM-Prüfrichtlinie sind verschiedene Anforderung noch nicht konkretisiert, da dies nur produktbezogen möglich ist. Weiterhin sind bestimmte Probleme nur allgemein beschrieben und noch nicht genau in Prüfungen und Prüfanforderungen umgesetzt. Dies muss im Prozess der Begutachtung geschehen. In diesem Abschnitt werden die Problembereiche, die dabei bearbeitet werden müssen, übersichtsartig zusammengestellt. Etwas genauer wird auf einige Fragen in den folgenden Unterabschnitten eingegangen. Es soll damit hervorgehoben werden, dass das Abhaken von Prüfzeugnissen nach den Anforderungstabellen der Prüfrichtlinie allein noch keinen Eignungsnachweis begründet.

- Die am Markt angebotenen Kunststoff-Dränelemente werden im allgemeinen von den Herstellern nicht von vornherein auf die extrem lange Funktionsdauer einer endgültigen Deponieabdichtung ausgelegt. Die Werkstoffauswahl erfolgt vorrangig nach verarbeitungstechnischen und kaufmännischen Gesichtspunkten. Im Verlauf der Begutachtung können daher Produktmodifikationen erforderlich werden, wenn das Produkt bestimmte Anforderungen an die Beständigkeit nicht erfüllt. Für den Nachweis der Langzeitbeständigkeit hat sich dabei der Zeitstand-Scherversuch, wie schon bei der Untersuchung strukturierter Dichtungsbahnen und Bentonitmatten, besonders bewährt. Über diesen Versuch wurde auf der Tagung „Die sichere Deponie“ bereits ausführlich berichtet. Wenn allerdings im Verlauf des Zeitstand-Scherversuchs an Dränelementen mit Komponenten aus polyolefinen Werkstoffen eine rasche Abnahme der Oxidations-Induktionszeit von solchen Komponenten gemessen wird, sind ergänzende Warmlagerungsprüfungen erforderlich, um die Abhängigkeit des Alterungsverhaltens von den Oxidationsbedingungen zu klären.

Für eine solche Prüfung der Oxidationsbeständigkeit ist die Ofenalterung nach der DIN V ENV ISO 13438 über kurze Zeit bei sehr hohen Temperaturen aber nicht brauchbar. Bei Dränkernen liefert diese Prüfung vermutlich nicht einmal für den bescheidenen Anspruch, eine Mindest-Funktionsdauer von 25 Jahren abzusichern, hinreichend zuverlässige Ergebnisse, da die mechanischen Kennwerte, deren Veränderung gemessen wird, nicht empfindlich genug auf eine Oxidation zu reagieren scheinen. Dies gilt auch für den Bewitterungsversuch an Dränkernen. Die Untersuchung der Witterungsbeständigkeit des Dränkerns kann aber notwendig werden, wenn die UV-Strahlung nicht schon im Filtervliesstoff vollständig absorbiert wird.

- Generell werden in den europäischen Normen nur Indexprüfungen beschrieben. Die anwendungstechnische Relevanz der Prüfergebnisse muss daher für jedes Produkt geklärt werden.

- In der BAM-Prüfrichtlinie wurde noch kein einheitliches Verfahren für die Ermittlung des Langzeit-Wasserableitvermögens festgelegt (und auch nicht in anderen Richtlinien oder

Empfehlungen). Nur unter Druck gemessene Kriechkurven reichen dafür aber auf alle Fälle nicht aus. Es müssen vielmehr Daten für das Kriechverhalten unter einer Druck- und Scherbeanspruchung vorgelegt werden.

- Als Parameter für die Bemessung werden in zunehmendem Maße bestimmte statistische Größen verwendet. Gefordert wird die Angabe von 5%-Mindestquantilen und von 95%-Vertrauensintervallen. Es wird dabei jedoch oft übersehen, dass der Hersteller immer nur mehr oder weniger genaue Schätzwerte für diese Größen aus einer Stichprobe von zumeist sehr begrenztem Umfang angeben kann. Es muss daher geklärt werden, wie diese Schätzungen zustande gekommen und wie genau sie tatsächlich sind.

- Das Verhalten im Scherkastenversuch, mit dem die innere Scherfestigkeit und die Reibungsparameter bestimmt werden, kann bei solchen sandwichartig aufgebauten Geokunststoffen wie den Kunststoff-Dränelementen sehr kompliziert sein. So tritt unter Umständen weder ein genau definierter Bruchpunkt noch ein eindeutiger Übergang von der Haftreibung zur Gleitreibung auf. Maximalwerte werden dabei manchmal erst nach sehr langen Verschiebewegen erreicht. Der Zusammenhang zwischen Reibungs- bzw. Scherspannung und Normalspannung ist nicht notwendigerweise linear.

3.1 Zur quantitativen Bestimmung des Langzeit-Wasserableitvermögens

Zur Abschätzung des Langzeit-Wasserableitvermögens werden zunächst Kriechkurven unter mechanischen Beanspruchungen, wie sie typisch für Oberflächenabdichtungen sind, ermittelt. Dazu wird bei der vorgegebenen Druckspannung oder Druck-Scherspannung die Dicke des Kunststoff-Dränelements als Funktion der Zeit über einen Zeitraum von mindestens 10^4 Stunden aufgezeichnet. Diese Kurven werden dann extrapoliert, um die voraussichtlichen Enddicken nach 10^6 Stunden (= 114 Jahre) bei den verschiedenen Spannungen abzuschätzen (Bild 1, oben links). Im nächsten Schritt wird das Wasserableitvermögen q als Funktion der Dicke ermittelt. Unterschiedliche Dicken werden dabei durch unterschiedlich hohe Druckspannungen eingestellt. Man erhält also zugleich das Wasserableitvermögen als Funktion der Druckspannung. An Hand der Dickenabhängigkeit kann dann das Wasserableitvermögen, das bei einer abgeschätzten Enddicke noch vorhanden wäre, angegeben werden. Dieses Wasserableitvermögen wird hier als Langzeit-Wasserableitvermögen q_{LZ} bezeichnet. Die Beschaffenheit der Unterlage des Kunststoff-Dränelements sowie der Deckschicht darüber, also die Art der Bettung, kann einen erheblichen Einfluss auf sein Wasserableitvermögen haben. In der Prüfung im Labor werden daher drei ganz unterschiedliche Bettungen verwendet. Bei der Bettung hart/hart wird das Dränelement zwischen zwei starren Platten, z. B. Stahlplatten oder verstärkte Plexiglasplatten, eingespannt, bei der Bettung weich/weich werden stattdessen Schaumgummiplatten eingesetzt. Schließlich ist bei der Bettung hart/

weich eine Stahlplatte auf der einen und eine Schaumgummiplatte auf der anderen Seite angebracht. Auf die Frage, welche Laborbedingung am ehesten welcher Bettung im Feld entspricht, wird weiter unten kurz eingegangen.

Nun lässt sich eine wohldefinierte Dicke und damit eine Kriechkurve sowie die Dickenabhängigkeit des Wasserableitvermögens nur messen, wenn das Dränelement zwischen zwei harten, ebenen Platten eingespannt wird, deren Abstand die Dicke definiert. Das oben beschriebene Verfahren zur Bestimmung von q_{LZ} ist daher nur für die Bettung hart/hart anwendbar.

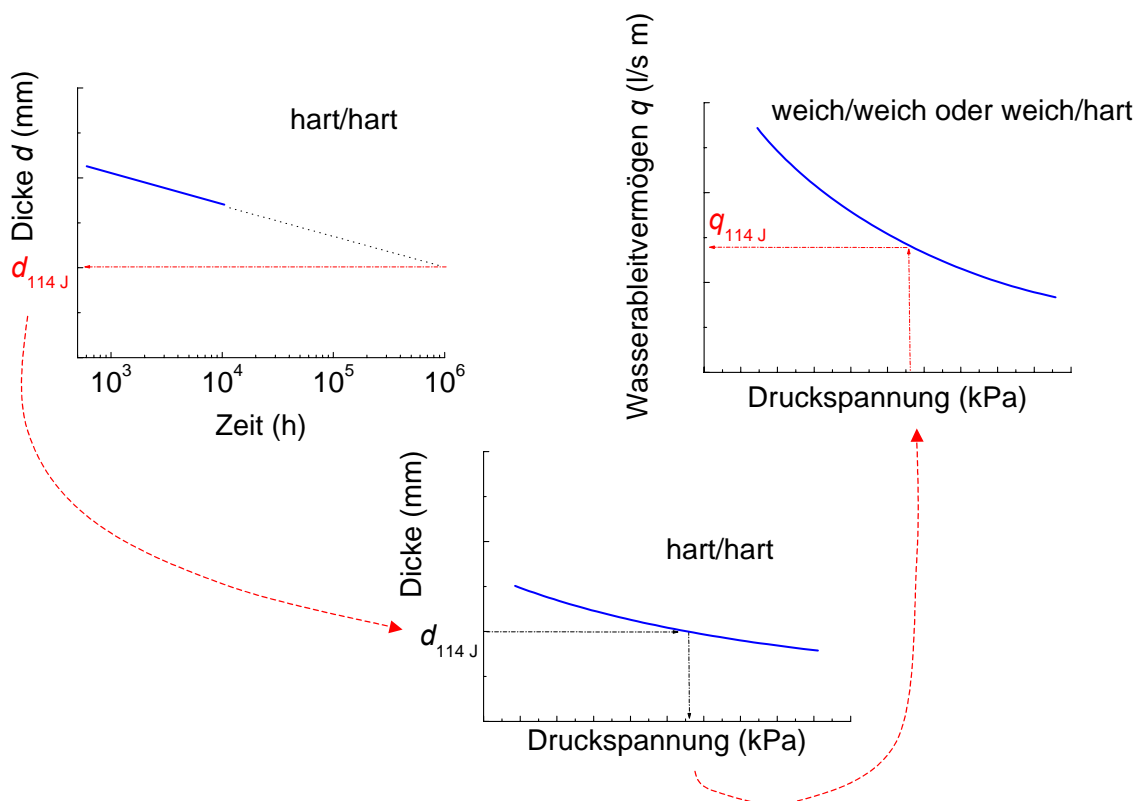


Bild 1: Schematische Darstellung des bei der Eignungsuntersuchung gewählten Verfahrens zur Bestimmung des Langzeit-Wasserableitvermögens bei unterschiedlichen Bettungsverhältnissen. Man beachte: Die Extrapolation der Kriechkurve ist nur dann zulässig, wenn gezeigt wurde, dass Alterung über den Zeitraum, über den extrapoliert wird, keine relevanten Materialveränderungen hervorrufen kann.

Es gibt mehrere Möglichkeiten, um dennoch das Langzeit-Wasserableitvermögen für die Bettungen hart/weich oder weich/weich abzuschätzen.

1. Beim einfachsten Ansatz wird für die Bettung hart/hart die prozentuale Verringerung von q_{LZ} gegenüber dem Kurzzeitwert q durch das Kriechen berechnet. Die Kurzzeit-

werte, die für die anderen Bettungen gemessen wurden, werden dann entsprechend abgemindert. Es wird also angenommen, dass der Einfluss der Bettung sich bereits vollständig in den unterschiedlichen Kurzzeitwerten ausdrückt.

2. Man kann jedoch auch die Abhängigkeit des Wasserableitvermögens von der Druckspannung verwenden. Dabei wird von jener Druckspannung ausgegangen, die erforderlich wäre, um die Enddicke bei der Bettung hart/hart zu erreichen (Bild 1 unten). Das Langzeit-Wasserableitvermögen bei den Bettungen hart/weich und weich/weich ist dann das bei dieser Druckspannung unter den entsprechenden Bettungsverhältnissen tatsächlich gemessene Wasserableitvermögen (Bild 1, oben rechts).

Diese Vorgehensweise scheint die physikalisch plausiblere zu sein: Man stelle sich einen Dränkern aus starren Säulen und weichem Material in den Zwischenräumen vor. Die mit einer Bettung hart/hart gemessene Kriechkurve würde dann nur die geringe Dickenänderung der Säulen zeigen und die Veränderungen im Wasserableitvermögen wäre gering. Bei einer weichen Bettung könnten dagegen die Zwischenräume im Laufe der Zeit immer stärker zusammengedrückt und das Wasserableitvermögen erheblich beeinträchtigt werden. Die prozentuale Verringerung des Wasserableitvermögens bei der Bettung hart/hart würde hier also die Veränderungen bei der weichen Bettung nur unzureichend widerspiegeln. Bei den starren Säulen erfordert dagegen auch eine geringe Dickenänderung eine große Druckspannung. Erst wenn man diese hohe Druckspannung im Versuch mit weicher Einbettung anwenden würde, fände man dann auch die dort mögliche große Veränderung im Wasserableitvermögen. Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, dass für alle Bettungen die Abhängigkeit des Wasserableitvermögens von der Druckspannung ermittelt werden muss. Eine ähnliche Diskussion zur Bestimmung des Langzeit-Wasserableitvermögens und Ansätze zur Überprüfung des Verfahrens findet man in [1].

3.2 Zur UV-Belastung des Dränkerns

Bild 2 zeigt das Ergebnis von Transmissionsmessungen im sichtbaren und UV-Bereich an einem Filtrervliesstoff, wie er typisch bei einem Dränelement als Filter verwendet wird. Die Transmission T wird dabei bestimmt als das Verhältnis $T = (I/I_0) \cdot 100$ zwischen der hinter der Probe gemessenen, austretenden Strahlung I und der in die Probe hineingehenden Strahlung I_0 .

Das in das Diagramm eingezeichnete Rechteck umschließt den Bereich vom kurzwelligen Beginn der auf die Erde auftreffenden Globalstrahlung der Sonne bei 290 nm bis zum langwelligen Ende bei 400 nm des UV-Bereichs. Daran schließt sich der sichtbare Bereich an.

Die beiden Proben, die offensichtlich eine etwas unterschiedliche Masse pro Flächeneinheit haben, zeigen übereinstimmend eine deutliche Transmission in dem zuvor beschriebenen

Bereich zwischen dem Beginn der Globalstrahlung und dem Ende des UV-Bereichs. Es treten hier Transmissionswerte zwischen 20 und 40 % auf, d.h. es werden zwar 60 – 80 % der auftreffenden potentiell schädigenden UV-Strahlung von dem zu schützenden darunter liegenden Dränkern ferngehalten, aber die verbliebene Strahlung ist nicht annähernd vernachlässigbar. Besonders der kurzwellige UV-Anteil der Strahlung kann auch in einem unzureichend geschützten Dränkern zu photo-oxidativen Schädigungen führen.

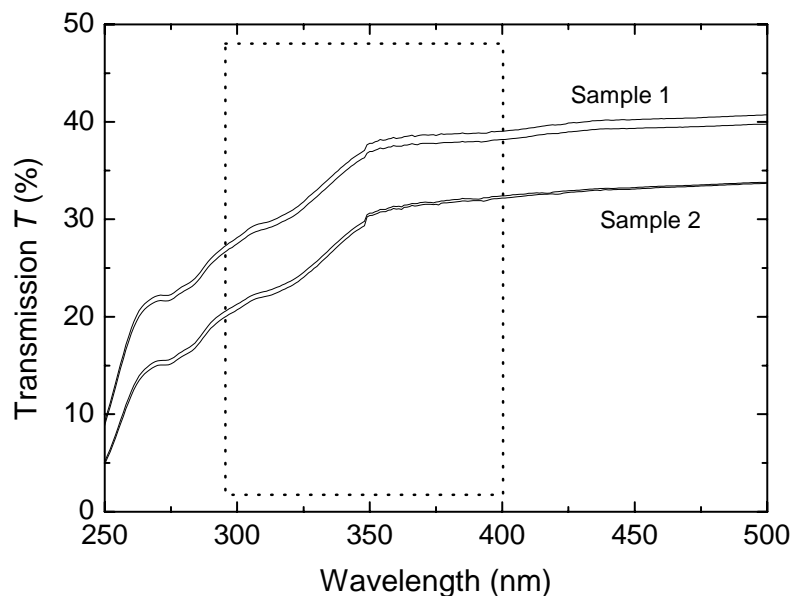


Bild 2: Transmission von Licht unterschiedlicher Wellenlänge durch einen Filtervliesstoff. Gemessen wurden an zwei Proben. Zu jeder Messung wurde eine Wiederholungsmessung durchgeführt. Eingegrenzt ist der UV-Bereich der Globalstrahlung.

3.3 Zur Oxidationsbeständigkeit von polyolefinen Komponenten in Dränelementen

Die Oxidationsbeständigkeit von Geokunststoffen wird oft an Hand der Veränderung von mechanischen Kennwerten bei einer Warmlagerung oder Immersion in sauerstoffhaltigen Medien charakterisiert. Bei einem Dränkern aus einem Wirrgelege werden dabei die Dickenänderung und die Veränderung des Widerstandes beim Zusammendrücken gemessen. Es ist jedoch zweifelhaft, ob diese mechanischen Kennwerte hinreichend empfindlich auf oxidative Veränderungen reagieren.

Bei einer unverstreckten polyolefinen Kunststoffkomponente ist die Oxidationsstabilität primär bedingt durch den wirksamen Gehalt an Antioxidantien. Die relative Änderung der Oxidations-Induktionszeit (OIT) eines Kunststoffs bei einer Warmlagerung oder Immersion spiegelt bei üblicherweise verwendeten Antioxidantien grob die Veränderung im Gehalt der noch

wirksamen Antioxidantien im Kunststoff wieder. In diesem Sinne können auch OIT-Werte zur Charakterisierung der Oxidationsbeständigkeit verwendet werden. Für die Veränderung im wirksamen Gehalt an Antioxidantien ist die Immersion die kritischere Prüfbedingung.

Bild 3 zeigt als Beispiel die Veränderung des OIT-Werts eines für die Anwendung in Deponeabdichtungen zusätzlich speziell stabilisierten Dränkerns bei einer Immersion in 90 °C heißem Wasser. Der Ausgangswert der Oxidations-Induktionszeit liegt auf hohem Niveau und die Zeiten verändern sich auch bei 90 °C nur sehr langsam. Zum Vergleich sind die Werte für einen aus dem Ausgangswerkstoff gefertigten Dränkern angegeben.

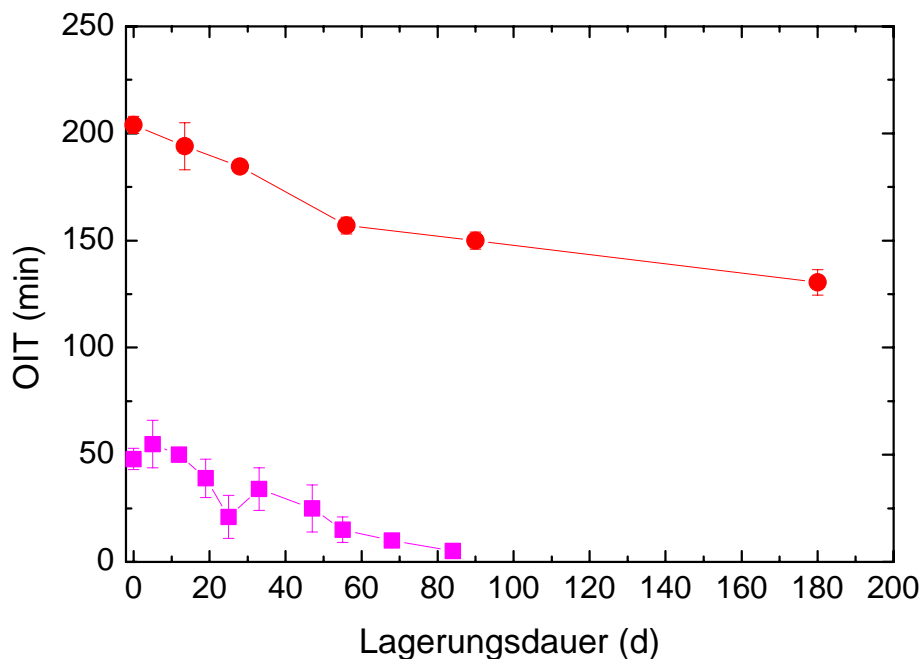


Bild 3: Der OIT-Wert (gemessen in Anlehnung an ASTM D 3895 bei $T_M = 180$ °C in Al-Tiegeln) des für die Anwendung stabilisierten Dränkerns als Funktion der Lagerungsdauer in 90 °C heißem entionisiertem Wasser (Kreise). Zum Vergleich sind die Werte des Ausgangsmaterials (gemessen bei $T_M = 175$ °C) angegeben (Rechtecke).

3.4 Diskussion der Ableitung der Kennwerte für die Bemessung von geotextilen Filtern

Nach den Regeln des DVWK-Merkblatts 221 wird das Bodentrückhaltevermögen (die sogenannte mechanische Filterfestigkeit) eines geotextilen Filters durch dessen wirksame Öffnungsweite $O_{90,w}$ beschrieben. Diese Kenngröße wird nach der Norm E DIN 60500 T6 aus den Körnungsbändern des Bodendurchgangs und des Bodentrückstandes ermittelt, die sich bei einer Nasssiegung eines Testbodens mit vorgegebenem Körnungsband durch das Geotextil ergeben. Die wirksame Öffnungsweite ist definiert als der Durchmesser jener Kornfrak-

tion, von der beim Sieben 10 Massenprozent durch das Geotextil gewandert sind und 90 Massenprozent zurückgehalten wurden.

Die sogenannte hydraulische Filterwirksamkeit wird charakterisiert durch den Wasserdurchlässigkeitsbeiwert k_V senkrecht zur Geotextilebene. Diese Größe wird nach E DIN 60 500 T4 bei unterschiedlichen Auflasten (2 kPa bis 200 kPa) und konstantem hydraulischen Gradienten ($i = 1$) bestimmt.

Inzwischen werden zur Prüfung der geotextilen Filter die neuen europäischen Normen herangezogen. Nach der DIN EN ISO 12956 wird die sogenannte charakteristische Öffnungsweite O_{90} in einer Nasssiebung ermittelt, die prinzipiell mit dem Verfahren der E DIN 60500 T6 übereinstimmt. Der verwendete Testboden und die Einzelheiten der Versuchsdurchführung sind jedoch verschieden. Die charakteristische Öffnungsweite ist hier definiert als der Korndurchmesser, der von 90 Massenprozent des Bodendurchgangs unterschritten wird. Statt des Durchlässigkeitsbeiwertes wird nach der DIN EN ISO 11058 der sogenannte Geschwindigkeitsindex VI_{H50} , nämlich die Durchflussgeschwindigkeit durch das Geotextil bei einem Druckhöhenunterschied von $H = 50$ mm, ohne Auflast bestimmt.

Nach dem Entwurf des neuen FGSV-Merkblatts wird bei der Bemessung des Filters „hilfsweise“ so verfahren, dass wirksame und charakteristische Öffnungsweite einander gleich gesetzt werden und aus VI_{H50} der Durchlässigkeitsbeiwert k_V gemäß

$$k_V \approx k_{V,VI_{H50}} = \frac{VI_{H50}}{\frac{50 \text{ mm}}{d}}$$

abgeschätzt wird. d ist dabei die Dicke des Vliesstoffs bei 2 kPa. Ob sich mit diesem Vorgehen auch bei kritischen Fällen eine in sich stimmige Bemessung des geotextilen Filters erreichen lässt, müsste eigentlich durch einen systematischen Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Prüfverfahren geklärt werden.

Für die Berechnung von k_V nach obiger Gleichung soll nach dem FGSV-Merkblatt (Entwurf) das 5 %-Quantil der kumulativen Verteilung der Werte der jeweiligen Prüfgröße VI_{H50} und d verwendet werden. Auch die CEN-Produktnorm DIN EN 13252 fordert die Angabe des 5 %-Quantils oder des 95 %-Vertrauensintervalls, z. B. für die charakteristische Öffnungsweite. Was darunter zu verstehen ist, wird aber weder im Merkblatt noch in der Norm hinreichend genau beschrieben. Insbesondere ist der Durchlässigkeitsbeiwert, den man so nach der Gleichung berechnet, kein 5%-Quantil der Häufigkeitsverteilung dieser abgeleiteten Größe.

Theoretisch ist das 5 %-Quantil definiert als jener Wert einer Prüfgröße, der bei einer extrem großen Anzahl von Einzelmessungen an einer Vielzahl von Rollen des Kunststoff-Dränlements von 95 % aller Messwerte überschritten wird, bzw. das 95 %-Vertrauensintervall als

jenes Intervall, in dem 95 % dieser Einzelmessungen liegen. Enthalten wären dabei in der „wahren“ Häufigkeitsverteilung - mit einem Mittelwert ξ , einer Standardabweichung σ und den Quantilen u_p - die Schwankungen innerhalb einzelner Rollen sowie von Rolle zu Rolle, aber auch die Unsicherheiten im Prüfverfahren. Tatsächlich verfügt ein Hersteller nur über den Mittelwert \bar{x} , die Standardabweichung s und Quantile x_p , die unter der Annahme berechnet werden, dass die Messwerte normal verteilt sind, aus einer gewissen, zumeist sehr begrenzten Anzahl von eigenen Kontrollmessungen. Die statistischen Größen (ξ , σ , u_p) können daher aus diesen Kontrollmessungen nur mit mehr oder weniger großen Ungenauigkeiten abgeschätzt werden. Es gibt jedoch keine Vereinbarungen, wie dies geschehen soll. (Der Hersteller greift aufgrund seiner Kontrollmessungen regulierend in den Produktionsablauf ein. Aufeinanderfolgende Messwerte sind daher nicht stochastisch unabhängig. Über einen langen Zeitraum wird sich dennoch eine bestimmte Häufigkeitsverteilung der Messwerte ergeben. Abschätzungen mit Messwerten, die an Stichproben aus einem kurzen Produktionszeitraum ermittelt wurden, können dann aber u. U. große systematische Fehler enthalten ([2]).

Dennoch werden von den Herstellern im CE-Begleitdokument ohne weitere Erläuterung Werte mit Toleranzen angegeben, die als 95 %-Vertrauensintervalle und 5 %-Quantil aufgefasst werden sollen. Es muss daher für das Produkt jedes Herstellers geklärt werden, wie die Werte ermittelt wurden, was sie statistisch tatsächlich bedeuten und inwieweit sie als Kennwerte für die Filterregeln dienen können.

3.5 Zum Reibungsverhalten

Zwischen Kunststoff-Dränelementen mit ihren Filtervliesen und den strukturierten PEHD-Dichtungsbahnen werden schon bei geringen Normalspannungen relativ große Reibungskräfte wirksam, die dann aber nicht mehr proportional mit der Normalspannung ansteigen. Auf dieses Verhalten wurde von Blümel und Heinemann auf der letzten SKZ-Tagung ausführlich eingegangen [3]. Es wird immer dann beobachtet, wenn eine gewisse Verzahnung oder Verhakung von Strukturelementen (z. B. zwischen Fasern und herausstehenden Noppen oder Schaumfetzen mit Hinterschneidungen usw.) der Reibungspartner auftritt. Eine lineare Interpolation der Daten ergibt in solchen Fällen einen nur relativ kleinen Reibungswinkel und eine große Adhäsionsspannung. Der kleine Winkel täuscht eine nur kleine zulässige Böschungsneigung vor, obwohl die tatsächlich wirksame Reibungskraft einen standsicheren Aufbau auf wesentlich steileren Böschungen erlauben würde. Die formale Parametrisierung solcher Daten mit dem Coulomb'schen Reibungsgesetzes ist daher nicht sinnvoll. Man sollte vielmehr für den Standsicherheitsnachweis die im relevanten Auflastbereich tatsächlich wirksame Reibungskraft abgemindert um entsprechende Teilsicherheitsbeiwerte

verwenden.

In [3] wird auch ein Reibungsspannung-Verschiebeweg-Diagramm für den Reibungsversuch zwischen dem Kunststoff-Dränelement und einer Bentonitmatte gezeigt. Hier reibt ein Vliesstoff auf einem Vliesstoff und man findet in der Tat eine näherungsweise lineare Abhängigkeit der Reibungskraft von der Normalspannung (Bild 4).

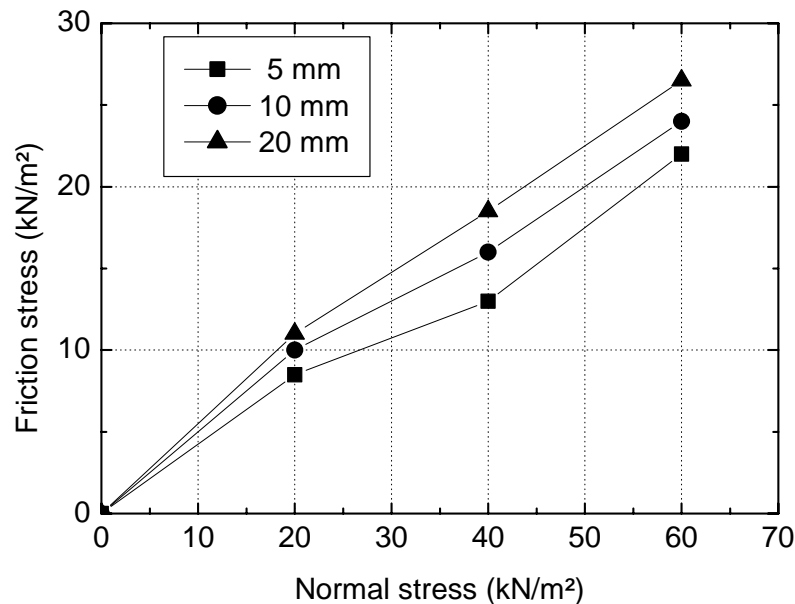


Bild 4: Aus Abb. 5 in [3] abgelesene Reibungsspannungen zwischen dem Kunststoff-Dränelement und einer Bentonitmatte bei verschiedenen Verschiebewegen.

An den Messdaten zu diesen Beispielen zeigt sich ein weiteres Problem. Oft wird kein scharfes Maximum der Reibungsspannung im Reibungsspannung-Verschiebeweg-Diagramm gefunden, wie man es für den Übergangsbereich von Haftreibung zur Gleitreibung erwartet. Vielmehr steigt die Reibungskraft im Bereich des Maximums allmählich mit dem Verschiebeweg an und fällt dann nur sehr langsam wieder ab. Allerdings wird günstigen Fällen schon nach wenigen Millimetern Verschiebung eine ausreichend große Reibungskraft wirksam.

Es stellt sich daher grundsätzlich die Frage, bei welchem Verschiebeweg die Reibungsspannung abgelesen werden soll: der Nachweis der Standsicherheit darf ja nicht einfach so geführt werden, dass immer die maximale Reibungsspannung gewählt wird. Man muss sich auch Gedanken darüber machen, ob die zugehörige Verformung nach bautechnischen Kriterien noch zulässig ist. In unklaren Fällen bleibt jedoch stets die Möglichkeit die Standsicherheit und das zugehörige Verformungsverhalten im standsicheren Aufbau in einem Feldver-

such zu klären. Zu diesem ganzen Problembereich sei auf den bereits zitierten Vortrag von Blümel und Heinemann auf der letzten Tagung „Die sichere Deponie“ verwiesen.

3.6 Zur Auswertung der Schutzwirksamkeitsprüfung

Das Kunststoff-Dränelement darf im Zusammenwirken mit Körnern aus dem Rekultivierungsboden unter dessen Gewicht keine unzulässig großen Dellen in der Kunststoffdichtungsbahn hervorrufen. Die Dellen sind zu groß, wenn in deren Konturverlauf Krümmungsradien auftreten, die zu Randfaserdehnungen führen, welche die zulässige Dehnungsgrenze für zugelassene PEHD-Dichtungsbahnen von 6 % überschreiten. Zur Überprüfung wird ein Lastplatten-Druckversuch in Anlehnung an die Prüfvorschrift in der BAM-Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten durchgeführt. Dabei werden die Dellen, die während des Versuchs in der Dichtungsbahn entstehen, in ein darunter liegendes Weichblech dauerhaft eingepreßt. Es hatte sich jedoch von Anfang an eingebürgert, nicht den Konturverlauf der Dellen im Weichblech und die im Konturverlauf auftretenden Krümmungsradien, sondern nur die mit der Delle verbundene gesamte Längung der Konturlinie zu ermitteln. Dazu wird die Delle durch eine Kugelkalotte angenähert und die Kreisbogenlänge mit dem Durchmesser der Basisfläche verglichen. Oder anders gesagt: es wird nur ein Maß für die Flächendehnung der eingedellten Dichtungsbahn, nicht jedoch für die mit der Biegung verbundene Randfaserdehnung angegeben. Bei solchen Dellen, deren Ausdehnung noch nicht sehr groß ist gegenüber der Dicke der Dichtungsbahn, gilt jedoch, dass die Flächendehnung nur sehr klein sein darf, wenn gleichzeitig die Biegung der Randfaser den Dehnungsgrenzwert von 6 % unterschreiten soll. Deshalb wird „hilfsweise“ die Längung des Kreisbogens mit dem kleinen Grenzwert von 0,25 % bewertet⁵. Obwohl die Zusammenhänge relativ einfach zu verstehen sind, herrscht immer noch große Konfusion darüber, was die Dehnungsgrenzwerte bei der Schutzwirksamkeitsprüfung bedeuten. Eine detaillierte Erläuterung findet man in [4].

⁵ Die Diskussion über die quantitative Auswertung von Schutzwirksamkeitsprüfung hat einen verrückten Verlauf genommen: Ganz am Anfang wurde übersehen, dass es sowohl eine Längung als auch eine Biegung der Dichtungsbahn gibt und nur die Längung betrachtet, obwohl eigentlich die Biegung der Größe nach die relevante Verformung darstellt. „Instinktiv“ wurde dieser Fehler aber kompensiert, indem für die Längung nicht, wie von manchen gefordert, der eigentlich zulässige Dehnungsgrenzwert von damals 3 % bei 40 °C Anwendungstemperatur (Basisabdichtung), sondern nur der kleine Wert von 0,25 % festgelegt wurde, mit der allerdings wieder falschen Begründung, man wolle praktisch gar keine Verformung. Eine völlige Vernebelung wird schließlich mit der DIN EN 13719 und der dort enthaltenen Definition der Schutzwirkung erreicht.

4 Zur Berechnung von Entwässerungslängen

Ein grundsätzlicher Eignungsnachweis ersetzt natürlich nicht die sorgfältige Bemessung in jedem Einzelfall durch einen erfahrenen Fachmann. Dabei muss der Nachweis geführt werden, dass für die Bedingungen des Einzelfalls ein ausreichendes Wasserableitvermögen, eine ausreichende Filterwirksamkeit und die Standsicherheit gewährleistet ist. Die Anwendung von Kunststoff-Dränelementen im Deponiebau wird in der „Empfehlung zur Anwendung geosynthetischer Dränmatten“ der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGt), (EAG-Drän), beschrieben. Dort wird, insbesondere für die Bemessung der Filter, auf das Merkblatt 221 des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK), „Anwendung von Geotextilien im Wasserbau“, (DVWK-Merkblatt), verwiesen. Hinweise zum Umgang mit den nach den neuen europäischen Normen ermittelten Prüfgrößen der Kunststoff-Dränelemente finden sich im Entwurf des neuen „Merkblatts für die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), (FGSV-Merkblatt).

Daneben ist für die Bemessung des Wasserableitvermögens auch die GDA-Empfehlung E2-20 der DGGt, (GDA-Empfehlung) im Gebrauch.

Die in diesen Papieren aufgestellten Bemessungsgleichungen sind jedoch sehr unterschiedlich. Durch eine geschickte Auswahl aus der Vielzahl vorgeschlagener Abminderungsfaktoren für Materialwiderstände und Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen kann im Prinzip jede beliebige Entwässerungslänge berechnet werden. Darüber hinaus ist nicht genau geregelt, wie aus Prüfergebnissen die Parameter für die Bemessung des Filters abzuleiten sind (siehe Abschnitt 3.4). Diese Probleme sind jedoch überwiegend formaler Natur. Sie betreffen nicht die prinzipielle Eignung von Kunststoff-Dränelementen.

Die Bemessung einer Flächenentwässerung aus Kunststoff-Dränelementen wird in [5] diskutiert. Die allgemeine Bemessungsgleichung für das Wasserableitvermögen lautet:

$$\frac{q_{LZ}}{\gamma_{R,1} \cdot \gamma_{R,2} \cdot \gamma_{R,3} \dots} \geq (\gamma_{S,1} \cdot \gamma_{S,2} \cdot \gamma_{S,3} \dots) \cdot q_{Entwurf}$$

q_{LZ} ist dabei das Langzeit-Wasserableitvermögen, siehe Abschnitt 3.1, $q_{Entwurf}$ der zu erwartende Sickerwasserzufluss. Wie in [5] erläutert wird, sollte man zwischen Abminderungsfaktoren für die Produkteigenschaften $\gamma_{R,i}$ (Teilsicherheitsbeiwerte für den Materialwiderstand), deren Klärung Aufgabe der Hersteller und Materialprüfstellen ist, und den Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen $\gamma_{S,i}$, die von den Baustellenbedingungen abhängen und vor allem durch Felduntersuchungen geklärt werden müssen, unterscheiden.

Zwischen allen Papieren (EAG-Drän, DVWK-Merkblatt, FGSV-Merkblatt (Entwurf), GDA-Empfehlung) bestehen Unterschiede in den Abminderungsfaktoren, Teilsicherheitsbeiwerten

oder allgemeinen Sicherheitsfaktoren und es werden unterschiedliche Werte oder Wertebereiche angegeben. Dies hängt damit zusammen, dass nicht genau definiert wird, was der jeweilige Faktor oder Beiwert tatsächlich beschreiben soll, und die Zuordnung von Werten oder Wertebereichen nur in seltenen Fällen auch begründet wird. Die Tabelle 1 vermittelt einen Eindruck von der Beliebigkeit so berechneter Entwässerungslängen.

Um diese Beliebigkeit zu vermeiden, sollte man folgendes beachten:

Die Rückwirkung des Kriechens und der (Labor-)Bettung auf das Wasserableitvermögen darf nicht mehr durch Abminderungsfaktoren ausgedrückt, sondern muss durch Messungen untersucht und darauf aufbauende Extrapolationen explizit berechnet werden, so wie dies hier im Abschnitt 3.1 beschrieben wurde. Das so ermittelte Langzeit-Wasserableitvermögen q_{LZ} bildet den Ausgangspunkt für die Berechnung der Entwässerungslängen L .

Es bleiben auf der Materialseite dann nur noch Abminderungsfaktoren, die die Unsicherheit in diesen Berechnungen und die Auswirkung von Stößen, Überlappungen und Anschlüssen ausdrücken, die man ebenfalls messen kann.

Alterungseffekte können grundsätzlich nicht durch Abminderungsfaktoren berücksichtigt werden. Es muss daher durch angemessene werkstoffkundliche Untersuchungen gezeigt werden, dass das Produkt, dessen hydraulische Leistungsfähigkeit bewertet wird, für die erforderliche Funktionsdauer ausreichend beständig ist.

Der Sickerwasserzufluss, der dann noch mit Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen zu multiplizieren ist, berechnet sich - in einem stark vereinfachten Ansatz - als Produkt von Dränspende q_s und Entwässerungslänge L . Für die Dränspenden werden oft die Vorgaben der GDA E2-20 verwendet. Es gibt jedoch Hinweise, dass diese Richtwerte im Einzelfall viel zu gering sein können [6].

Von allen Einwirkungen kann die aus dem Baubetrieb die größten Schäden verursachen, die aber zumeist noch rechtzeitig zu erkennen sind. Im Extremfall können lokale Zerstörungen des Dränkerns, Beschädigungen des Filters, Aufschieben des Dränelements zu Wellen eine beträchtliche Verringerung des Wasserableitvermögens hervorrufen. Das Qualitätsmanagement auf der Baustelle soll solche groben Schäden verhindern. Eine Beeinträchtigung der Produkteigenschaften wird in gewissem Umfang jedoch kaum zu vermeiden sein. In der EAD-Drän wird hier ein Teilsicherheitsfaktor von 1,2 empfohlen.

Zu anderen Einwirkungen lässt sich nur wenig Zuverlässiges sagen. Dies gilt für die Einwirkung chemischer und biologischer Ausfällungen sowie für Kolmation und auch für Durchwurzelung. Einerseits zeigen Aufgrabungen nach einigen Jahren, dass die bis dahin aufgetretenen Effekte in der Regel sehr gering sind. Andererseits sind diese Einwirkungen extrem lange wirksam. Hier sollte man eigentlich durch konstruktive Maßnahmen vorbeugen, z. B. durch eine entsprechende Auswahl der Erdstoffe und den Aufbau der Rekultivierungsschicht, so wie das auch bei Kiesfiltern erforderlich ist. Wo die Gefahr dieser Einwirkungen tatsäch-

lich besteht, erscheint das formale Hantieren mit kleinen Sicherheitsbeiwerten eher Augenschere zu sein.

Einigermaßen unklar ist auch die Antwort auf die Frage, wie genau die künstlichen Bettungen des Dränelements im Laborversuch, die tatsächlichen Bettungsverhältnisse im Feld widerspiegeln. Für eine Beantwortung bräuchte man Datenmaterial, das aber offenbar noch nicht im erforderlichen Umfang zur Verfügung steht. Die Laborbettung hart/weich wird vermutlich gut der Bettung des Dränelements zwischen Kunststoffdichtungsbahn und Rekultivierungsschicht entsprechen. Schwierig wird es bei der Einbettung zwischen Böden (Bettung weich/weich). Größte Vorsicht ist hier geboten, da sich ganz erhebliche Verringerungen des Wasserleitvermögens ergeben können.

Tabelle 1: Beispiel für die Spannweite von Teilsicherheitsbeiwerten und Abminderungen bei der Bemessung von Kunststoff-Dränelementen, siehe dazu [5].

<i>E 2-20 Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungen</i>		
Bemessungsgleichung: $q_{entw} = q_{exp} \cdot \left(\frac{1}{FS_{IN} \cdot FS_{CR} \cdot FS_{CC} \cdot FS_{BC}} \right) \cdot \frac{1}{FS_{SY}}$		
q_{exp} : im Kurzzeitversuch zwischen starren Platten ermitteltes Wasserableitvermögen q_{entw} : Entwurfsabflussmenge		
FS_{IN}	1,0 - 1,5	lokale Verformungen
FS_{CR}	1,2 - 1,4	Kriechverformungen des Kunststoffs
FS_{CC}	1,0 - 1,2	Verringerung des Abflussquerschnitts durch chemische Ausfällung
FS_{BC}	1,2 - 1,5	Verringerung des Durchflussquerschnitts durch biologische Einwirkung
FS_{SY}^*	1,0 oder 2,0	Allgemeine Systemuntersicherheit bei der Übertragung experimenteller Daten auf Feldbedingungen
<i>Merkblatt für die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus (Entwurf)</i>		
Bemessungsgleichung: $q_E \leq \frac{q_k}{D \cdot S}$		
q_k : charakteristischer Wert der (unter Berücksichtigung des Kriechens) langfristig ansetzbaren Abflussleistung q_E : Eintrittswassermenge (pro Zeiteinheit und Einheit der Breite der Dränmatte)		
D	2	Übertragung der Versuchsbedingungen auf die Einbaubedingungen, Einbaubeanspruchung der Dränmatte, Querschnittsveränderung der Dränmatte z. B. im Bereich von Überlappungen oder Anschlüssen, Bodeneinträge
S	1,1	Unsicherheiten bei der Ermittlung der Wassermengen
<i>Empfehlung zur Anwendung geosynthetischer Dränmatten (Entwurf)</i>		
Bemessungsgleichung: $q_{p,erf} \cdot S \leq \frac{q_{p,vorh}}{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}$		
$q_{p,vorh}$: vorhandenes Wasserableitvermögen (?) [§] $q_{p,erf}$: erforderliches Wasserableitvermögen (Sickerwasserspende mal Entwässerungslänge)		
D_1	2,0	Übertragung der Versuchsbedingungen auf die Einbaubedingungen (Bodenbettung, Kriechen) etc.
D_2	1,2	Einbaubeanspruchungen
D_3	1,2	Querschnittsveränderung der Dränmatte, z.B. im Bereich von Überlappungen und bei Bauteilanschlüssen
D_4	2,0	Durchwurzelung, Ausfällungen oder Bodeneinträge
S	1,1	Unsicherheit auf der Seite der Lastannahmen

*) 1,0 für die maximale rechnerische Dränspende, 2,0 für den hohen Wert der Dränspende, der an 99% aller Tage unterschritten wird.

§) Ist damit das Langzeit-Wasserableitvermögen gemeint? Im Text heißt es. „Das Wasserableitvermögen ist als Funktion der Dicke der Dränmatte in Abhängigkeit von der Auflast und dem hydraulischen Gradienten sowie der Bettung zu ermitteln.“

Literatur

1. *Jarousseau, C. und Gallo, R.*: Drainage geocomposites: relation between water flow capacity and thickness in the long term. In: Geotechnical Engineering with Geosynthetics, Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference. *Floss, R., et al.* (Hrsg.). München: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGt) und Technische Universität München, Zentrum für Geotechnik (TUM-ZG) 2004, S. 349-354.
2. *Hald, A.*: Statistical Theory with Engineering Applications. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1952.
3. *Blümel, W. und Heinemann, M.*: Zur Berücksichtigung von Adhäsion in Standsicherheitsnachweisen für geneigte Oberflächenabdichtungen mit Geokunststoffen. In: Tagungsband der 20. Fachtagung "Die sichere Deponie, Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen. *Knipschild, F. W.* (Hrsg.). Würzburg: SKZ-ConSem GmbH 2004, S. H1-H16.
4. *Seeger, S. und Müller, W. W.*: Theoretical approach to designing protection: selecting a geomembrane strain criterion. In: Geosynthetics: Protecting the Environment. *Dixon, N., et al.* (Hrsg.). London: Thomas Telford 2003, S. 137-152.
5. *Müller, W. W.*: Kunststoff-Dränmatten im Deponiebau Teil 2: Zur Bemessung (Geocomposite drains in landfill lining, part 2: design). Bautechnik, 79(2002), H. 4, S. 232-242.
6. *Markwardt, N., Brücklmeier, W. und Raabe, S.*: Versickerungsmessung des Niederschlags aus Rekultivierungsschichten. In: Tagungsband der 20. Fachtagung "Die sichere Deponie, Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen. *Knipschild, F. W.* (Hrsg.). Würzburg: SKZ-ConSem GmbH 2004, S. M1-M20.

