

Prüfung und Bemessung von Kunststoff-Dränmatten

Werner Müller

Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM)

1 Einleitung

Eine Kunststoff-Dränmatte ist eine überwiegend aus Kunststoffen industriell vorgefertigte, in der Erde verlegte Matte zur Flächenentwässerung. Die Matte besteht aus einem Kunststoffgitter oder einem anderen tragfähigen, offenporigen Kunststoffgebilde (Sickerschicht oder Dränkörper) und einer auf der Oberseite des Dränkörpers aufgetragenen geotextilen Filterschicht. In der Regel wird auf der Unterseite ein Geotextil als Schutzschicht befestigt. Kunststoff-Dränmatten sind also recht komplizierte Gebilde. Sie bieten jedoch gegenüber den Kiesschichten (Kiesdrän und Kiesfilter), die herkömmlich als Flächenentwässerung in Deponieabdichtungen verwendet werden sollen, viele Vorteile. Wegen der geringen Dicke wird in erheblichem Umfang Raum eingespart. Der bauverfahrenstechnische und logistische Aufwand beim Einbau ist sehr gering. Kunststoff-Dränmatten sind daher kostengünstiger und in der Gesamtbilanz vermutlich auch umweltverträglicher. Diese Vorteile gelten jedoch nur, wenn die eingebauten Kunststoff-Dränmatten über sehr lange Zeit ein genügend großes Wasserleitvermögen behalten und vor allem dauerhaft standsicher sind. Der Gleichwertigkeitsnachweis für eine Kunststoff-Dränmatte erfordert daher aufwendige Prüfungen zum Langzeitverhalten (siehe Abschnitt 3) und eine sorgfältige Bemessung (siehe Abschnitt 4).

2 Vorschriften

Mit der Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen und über biologische Abfallbehandlungsanlagen, die am 01.03.2001 in Kraft trat, haben die Anforderungen in Nummer 10 und Nummer 11 der TA Siedlungsabfall Gesetzeskraft bekommen und damit unmittelbare Bindungswirkung für alle Beteiligten. Eine Entwässerungsschicht muss danach Bestandteil des Oberflächenabdichtungssystems sein (siehe Abschnitt 10.4.1.4, Buchstaben c), die die Anforderungen nach Abschnitt 10.4.1.3.2, Buchstaben b, Satz 1 und 2 erfüllt. Weiterhin wird im Abschnitt 10.4.1.1 auf den Anhang E der TA Abfall verwiesen, in dem detaillierte Anforderungen an das mineralische Material der Flächenentwässerung gestellt werden, um die langfristige Dränwirkung in einem standsicheren Dichtungsaufbau zu gewährleisten.

Mit der anstehenden Deponieverordnung wird ergänzend die Europäische Deponierichtlinie (Richtlinie 1999/31/EG des Rates vom 26. April 1999 über Abfalldeponien) in deutsches Recht umgesetzt. Die Verordnung soll noch in diesem Jahre 2002 verabschiedet werden. Im

bislang vorliegenden Entwurf wird eine alternative Flächenentwässerung nur dann als genehmigungsfähig bezeichnet, wenn eine gleichwertige hydraulische Wirksamkeit und die langfristige Standsicherheit der Rekultivierungsschicht und damit die Langzeit-Scherfestigkeit der alternativen Flächenentwässerung nachgewiesen wird.

PRÜFGRÖSSE	PRÜFVORSCHRIFT	BEMERKUNG
KUNSTSTOFF-DRÄNMATTE		
Wasserableitvermögen	DIN EN ISO 12958	Zugfestigkeit und Dehnung dienen als Kennwerte für die Qualitätssicherung. Mindestwerte können im Hinblick auf Einbaubeanspruchungen festgelegt werden.
Reibungsparameter	GDA E 3-8	
innere Kurzzeit-Scherfestigkeit	in Anlehnung an GDA E 3-8	
Zugfestigkeit	DIN EN ISO 10319	
Dehnung bei der Zugfestigkeit	DIN EN ISO 10319	
Schutzwirksamkeit	BAM-Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten	
Robustheit gegen Einbaubeanspruchungen	DIN V EN V ISO 10722-1	Überprüfung des Einbauverfahrens im Probefeld.
GEOTEXTIL (FILTERSCHICHT)		
Permittivität Ψ	E DIN 60500-4 oder DIN EN ISO 11058	Die Durchlässigkeit des Filters $k_v = \Psi \cdot d_F$ muss die Durchlässigkeit des Bodens der Rekultivierungsschicht um einen erheblichen Faktor übersteigen, siehe Nummer 2.2.2 in [2].
Charakteristische Öffnungsweite $O_{90,w}$	E DIN 60500-6 DIN EN ISO 12956	Anforderung richtet sich nach der Beschaffenheit des Rekultivierungsbodens, siehe Nummer 2.2.2 in [2].
Dicke d_F (bei $\sigma = 20$ kPa)	DIN EN 964-1	Tiefenfiltration, Anforderung an die Dicke, siehe Nummer 2.2.2 in [2].
flächenbezogene Masse m_A	DIN EN 965	Filterschicht und Schutzschicht sollen mindestens zur Geotextilrobustheitsklasse (GRK) 3 gehören. Für Vliese bedeutet das*:
Stempeldurchdrückkraft F_{St}	DIN EN ISO 12236	$\bar{F}_{St} - s \geq 1,5 \text{ kN}$ $\bar{m}_A - s \geq 150 \text{ g/m}^2$.
Zugfestigkeit	DIN EN ISO 10319	Kennwerte für QS-Maßnahmen; im Einbauzustand darf die Dränmatte nicht dauerhaft auf Zug beansprucht sein.
Dehnung bei der Zugfestigkeit	DIN EN ISO 10319	

*) Mittelwert minus Standardabweichung

Tabelle 1: Eigenschaften von Kunststoff-Dränmatten und deren Prüfung.

3 Prüfungen

3.1 Identifikation der Werkstoffe, Beschreibung des Herstellungsverfahrens

Langzeitprüfungen sind nur dann sinnvoll, wenn die bei einem Produkt verwendeten Werkstoffe eindeutig festgelegt sind und die Kunststoff-Dränmatte im Rahmen enger Schwankungsbreiten immer die gleichen reproduzierbaren Eigenschaften hat. Die Charakteristik

einer verwendeten Formmasse muss anhand von Spezifikationen für eine Auswahl von Prüfgrößen so festgelegt werden, dass eine Art „Fingerabdruck“ der Formmasse entsteht. Der Hersteller muss dann bei der Werkstoffeingangskontrolle nicht nur Prüfgrößen überprüfen, die Auskunft über die verarbeitungstechnisch relevanten Eigenschaften geben, sondern auch solche, die der Identifikation dienen. Auch das Herstellungsverfahren muss in den wesentlichen Verfahrensschritten festgelegt sein.

BESTÄNDIGKEIT	PRÜFNORM	BEMERKUNG
Oxidation	DIN V ENV 13483	Anforderungen werden in der Norm festgelegt.
Hydrolyse	DIN V ENV 12447	
Mikroorganismen	DIN EN 12225	
Spannungsrissbildung	ASTM D5397	siehe [3]
Witterung	DIN EN 12224	hohe Witterungsbeständigkeit, Expositionsdauer < 14 Tage [4]

Tabelle 2: Grundprüfungen zur Beständigkeit von Kunststoffkomponenten in Dränmatten.

3.2 Charakterisierung des Produktes, Prüfung der Eigenschaften

In Tabelle 1 werden die Prüfgrößen angegeben, mit denen die geotechnischen Eigenschaften einer Kunststoff-Dränmatte erfasst werden, sowie die dazugehörigen Prüfvorschriften. Bevor dieses umfangreiche Prüfprogramm durchgearbeitet wird und dann die eigentlichen Langzeitprüfungen folgen (Tabelle 3), kann die Eignung der verwendeten Werkstoffe in sogenannten Screening Tests oder Grundprüfungen untersucht werden (Tabelle 2).

Für Kunststoff-Dränmatten in der Geotechnik kommen von vornherein nur solche Kunststoff-Komponenten in Betracht, die mindestens diese Grundprüfungen bestehen. Mit dem Bestehen der Grundprüfungen ist zunächst jedoch nur eine bei Bauprodukten in reparierbaren Bauwerken üblicherweise geforderte Mindestfunktionsdauer von 25 Jahren gewährleistet. Der *Leitfaden zur Beständigkeit von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten* (DIN-Fachbericht 86, [1]) weist ausdrücklich darauf hin, dass die Grundprüfungen nicht dafür verwendet werden können, um längere Funktionsdauern zu extrapolieren.

3.3 Prüfungen zum Langzeitverhalten

Für die extrem lange Funktionsdauer im Deponiebereich (mindestens 100 Jahre) sind spezielle Langzeituntersuchungen erforderlich, wenn Kunststoff-Dränmatten mineralische Entwässerungsschichten ersetzen sollen (Tabelle 3). Zum einen müssen dabei die Abminderungsfaktoren, die die Rückwirkung des Kriechens auf das Wasserableitvermögen und die innere Scherfestigkeit beschreiben, produktbezogen ermittelt oder zumindest auf der sicheren Seite abgeschätzt werden. Zum anderen muss sichergestellt werden, dass die Alterungsvorgänge über diesen langen Zeitraum keine wesentlichen Rückwirkungen auf die

Festigkeit und das Kriechverhalten der Komponenten der Dränmatte und deren Verbindungsstellen haben. Diese Untersuchungen sind schwierig und langwierig, aber für die Anwendung im Deponiebau unverzichtbar.

LANGZEITVERHALTEN	PRÜFVERFAHREN	BEMERKUNG
Kriechen	Kriechversuch zur Ermittlung der Kriechkurve $d(\sigma, \tau, t)$, siehe [7], und der Zeitstandkurve für duktilen Versagen $\tau(\sigma_G, t)$, siehe [7]	Langzeit-Scherparameter >> Reibungsparameter
Alterung	Zeitstand-Scherversuche, siehe [7]	Beurteilung von Dränmatten mit polyolefinen Werkstoffen z.B. in Anlehnung an den Zeitstand-Rohrinnendruckversuch [4]

Tabelle 3. Prüfungen des Langzeitverhaltens von Kunststoff-Dränmatten.

3.4 Eigen- und Fremdüberwachung

Die Herstellung der Kunststoff-Dränmatte, die in einer Deponieoberflächenabdichtung eingesetzt werden soll, muss einer Eigenüberwachung unterliegen. Beim Hersteller muss daher ein Labor vorhanden sein, in dem die Prüfungen der Eingangskontrolle von Formmassen und Vorprodukten und der Fertigungskontrolle der Komponenten und der Dränmatte selbst durchgeführt werden können. Die Mitarbeiterinnen oder Mitarbeiter im Labor müssen fachkundig sein. Die Zuständigkeiten und Verantwortlichkeiten müssen klar geregelt werden. Organisation und Maßnahmen der Qualitätssicherung müssen in einem Qualitätssicherungshandbuch vollständig und nachvollziehbar beschrieben werden.

Halbjährlich muss eine Fremdüberwachung der Produktion in Anlehnung an DIN 18200 durch eine fachkundige, unabhängige Überwachungsstelle erfolgen. Die fremdüberwachende Stelle muss für die Prüfungen, die dabei durchgeführt werden, gemäß der Norm DIN EN ISO 17025 akkreditiert sein. Zu jeder Lieferung von Kunststoff-Dränmatten gehört eine Produktbeschreibung, die aus Datenblatt und Lieferschein, aus dem Werksprüfzeugnis der werkseigenen Produktionskontrolle in Anlehnung an DIN EN 10204 und dem Zeugnis der Fremdüberwachung besteht. Das Produkt muss gekennzeichnet und die Rollen entsprechend etikettiert sein. In der TL Geotex E-StB 95 [5] finden sich dazu genauere Angaben.

3.5 Hinweise zum Einbau

Auch die Installation der Dränmatten muss einer Qualitätssicherung unterliegen, die im Deponiebau grundsätzlich aus den Elementen Eigenprüfung des Verlegefachbetriebes, Fremdprüfung durch eine unabhängige Stelle und behördliche Überwachung besteht (Nummer 9.4.1.2, Anhang E der TA Abfall).

Der Hersteller muss eine konkret nachvollziehbare und dabei praktikable Anleitung zum Einbau seiner Kunststoff-Dränmatte vorlegen: angefangen mit Hinweisen zu Transport und Lagerung, zur Beschaffenheit von Auflager und Rekultivierungsboden, zum Verlegen, zur Gestaltung von Quer- und Längsstößen bis hin zu den Maßnahmen der Eigenprüfung. Die Bauarbeiter, die die Dränmatten installieren, müssen diese Anleitung kennen und verstanden haben.

Die Fremdprüfung muss durch eine fachkundige Stelle erfolgen. Es können hier die Anforderungen aus der Fremdprüferrichtlinie der BAM mit sinngemäßer Übertragung auf die bei Dränmatten erforderlichen Maßnahmen und Prüfungen zugrunde gelegt werden [6].

4 Bemessung

Bei der Bemessung in der Geotechnik werden den Einwirkungen S_d die Materialwiderstände R_d gegenübergestellt. Für die hydraulische Bemessung einer Dränmatte ist die Einwirkung der Sickerwasserabfluss und der Materialwiderstand das Wasserableitvermögen, für die statische Bemessung (Gleitsicherheit) stehen der Auflast und Hangabtriebskraft die innere Scherfestigkeit und die Reibungsparameter in den Grenzflächen gegenüber. Eine bestimmte Sicherheit in der Bemessung wird erreicht, indem der charakteristische Wert der Einwirkung S_m um einen Teilsicherheitsbeiwert γ_S erhöht, $S_d = \gamma_S \cdot S_m$, und der charakteristische Materialwiderstand R_m um einen Teilsicherheitsbeiwert γ_R abgemindert wird, $R_d = R_m / \gamma_R$. Das Bauwerk muss dann so bemessen werden, dass

$$(1) \quad \frac{R_m}{\gamma_R} = R_d \geq S_d = \gamma_S \cdot S_m.$$

Streng genommen sollen die Teilsicherheitsbeiwerte und die charakteristischen Werte nach Maßgabe der jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilungen für die Werte der Einwirkung und des Materialwiderstandes gerade so festgelegt werden, dass eine noch akzeptable Versagenswahrscheinlichkeit unterschritten wird. Dieses probabilistische Sicherheitskonzept lässt sich in der Regel nur mehr oder weniger unvollständig umsetzen, da die jeweiligen Verteilungen der Werte der physikalischen Größe, die Einwirkungen und Materialwiderstand beschreibt, oft nicht genau genug bekannt sind. Man greift daher zumeist auf althergebrachten Sicherheitsbeiwerte zurück, die ein erfahrungsgemäß sicheres Verhältnis von vorsichtig abgeschätzten charakteristischen Werten von Widerstand und Einwirkung angeben, behält aber die Aufteilung in Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Teilsicherheitsbeiwerte für Materialwiderstände bei, um ein einheitliches Sicherheitskonzept für die Bemessungen und einen systematischen Zugang zur Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten zu ge

währleisten. Man sagt dann, dass diese Teilsicherheitsbeiwerte an den bewährten globalen Sicherheiten „kalibriert“ werden.

Es ist wichtig sich klar zu machen, dass mit diesem Bemessungskonzept die Rückwirkungen von Alterung nicht berücksichtigt werden kann [7]. Alterung kann die Materialeigenschaften allmählich mit der Zeit verändern. Die Teilsicherheitsbeiwerte müssten dann Funktionen der vorgesehenen Funktionsdauer werden. Es kann jedoch auch sein, dass sich erst nach einer bestimmten Funktionsdauer die Materialwiderstände stark ändern. Das Bauwerk ist dann unabhängig von Abminderungsfaktoren nur für diese bestimmte Funktionsdauer funktionsfähig. Vor der Bemessung muss daher durch spezielle Alterungsuntersuchungen (Tabelle 3) das Langzeitverhalten von Bauprodukten abgeklärt werden.

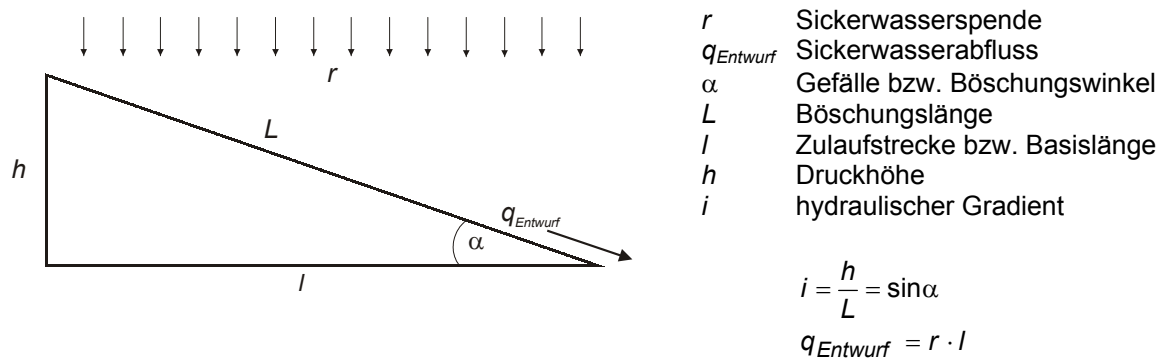


Bild 1: Definition der verwendeten Symbole und Größen.

Ein Bemessungskonzept in Anlehnung an diese Regeln ist bei Kunststoff-Dränmatten was die hydraulische Wirksamkeit anbelangt noch unbefriedigend und was die Standsicherheit anbelangt erst in Ansätzen ausgearbeitet. In Anlehnung an die einschlägigen Merkblätter und Empfehlungen [8], [9] soll nach dem gegenwärtigen Stand bei der hydraulischen Bemessung von Kunststoff-Dränmatten folgendermaßen vorgegangen werden:

1. Im ersten Schritt ermittelt der planende Bauingenieur für sein Bauvorhaben die sogenannte maximale Sickerwasserspende (oder Dränspende); das heißt, die maximale Wassermenge, die pro Quadratmeter Basisfläche der Böschung und Sekunde bei einem ungewöhnlich ergiebigen Niederschlag oberhalb der Dränmatte ankommen kann und in der Dränmatte abgeleitet werden muss. Die dabei pro Sekunde und Meter Breite der Flächenentwässerung anfallende Wassermenge, der sogenannte Sickerwasserabfluss q_{Entwurf} (oder Dränabfluss), wird daraus einfach errechnet, indem die Sickerwasserspende mit der Zulaufstrecke (Basislänge der Böschung, siehe Bild 1) multipliziert wird. Hinweise zu den Sickerwasserspenden werden in der GDA-Empfehlung E2-20 gegeben [8]: als Tagesspitzenwert unter kritischen Bedingungen werden 25 mm/d angenommen, 10 mm/d für den Wert, der an 99% aller Tage unterschritten wird, und im übrigen auf eine Berechnung mit

dem Simulationsmodell HELP verwiesen, das allerdings für die Berechnung dieser Größe nur bedingt geeignet ist [13].

Um die mangelnde Kenntnis über Schwankungsbreiten von Einwirkungen, die langfristig das Wasserableitvermögen beeinträchtigen, und die damit verbundene Unsicherheit in der Bemessung zu berücksichtigen, werden die Teilsicherheitsbeiwerte der Tabelle 4 verwendet. Mit diesen Teilsicherheitsbeiwerten wird dann der für die Produktauswahl relevante Sickerwasserabfluss oder die eigentliche Produkthanforderung $q_{Anforderung}$ berechnet:

$$(2) \quad q_{Anforderung} = (\gamma_{S,1} \cdot \gamma_{S,2} \cdot \gamma_{S,3} \cdot \gamma_{S,4} \cdot \gamma_{S,5}) \cdot q_{Entwurf}$$

Zur zahlenmäßigen Bestimmung dieser Beiwerte müssen die mit Kunststoff-Dränmatten in Bauwerken gemachten Erfahrungen berichtet, gesammelt und ausgewertet werden. Durch Ausgrabungen müssen Befunde und zugehörige Daten erhoben werden. Bislang gibt es jedoch keine veröffentlichte systematische und fundierte Auswertung von vorliegenden Erfahrungen und Ausgrabungsergebnissen für die Bestimmung von Teilsicherheitsbeiwerten.

TEILSICHERHEITSBEIWERTE, Wasserableitvermögen		
$\gamma_{S,1}$	Unsicherheiten in der Bestimmung des Sickerwasserabflusses	2 (?)
$\gamma_{S,2}$	Beeinträchtigung der Funktion durch Einbaubeschädigungen	1,0 – 1,5 [8]
$\gamma_{S,3}$	Verringerung des Abflussquerschnitts durch lokale Verformungen	1,0 – 1,2 [8]
$\gamma_{S,4}$	Verringerung des Abflussquerschnitts durch chemische und biologische Ausfällung sowie Kolmation	1,2 – 1,5 [8]
$\gamma_{S,5}$	Verringerung des Abflussquerschnitts durch Wurzeln	1,2 – 2 (?)

Tabelle 4: Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen. Die Wertebereiche aus [8] werden dort nur mit dem Hinweis auf die Quelle [10] begründet. Auch in [10] findet man jedoch keine nähere Erläuterung. Die Werte sind tatsächlich bestenfalls durch „gefühlsmäßige“ Analogiebetrachtungen zu anderen geotechnischen Anwendungen und dort verwendeten Sicherheiten motiviert. Die GDA-Empfehlung schlägt zusätzlich einen weiteren Teilsicherheitsbeiwert „Allgemeine Systemunsicherheit bei der Übertragung experimentell ermittelter Daten auf Feldbedingungen“ mit einem Wertebereich 1.0 – 2.0 vor. Es ist unklar, was damit gemeint ist. Vermutlich soll pauschal eine Abminderung für Materialwiderstände (siehe den folgenden Unterpunkt) ausgedrückt werden, da in der GDA-Empfehlung der Aspekt der Materialwiderstände gar nicht behandelt wird.

2. Im zweiten Schritt muss das Wasserableitvermögen der Kunststoff-Dränmatte, das unter den gegebenen Bedingungen und Eigenschaften des ganzen Abdichtungsbauwerkes langfristig angenommen werden darf, abgeschätzt werden. Dieses langfristig wirksame Wasserableitvermögen der Kunststoff-Dränmatte muss dazu mit Abminderungsfaktoren (Tabelle 5) aus dem Laborwert berechnet werden, der nach DIN EN ISO 12958 bei der

geplanten Auflast und einem hydraulischen Gradienten gemessen wird, der sich als Sinus des Gefällewinkels ergibt. Die Abminderungsfaktoren bzw. die Teilsicherheitsbeiwerte für Materialwiderstände sind sehr stark über die Produkteigenschaften vermittelt, die der planende Ingenieur nicht kennt. Sie müssen daher produktbezogen von den Herstellern bei unabhängigen und fachkundigen Prüfinstituten ermittelt werden. Aus dem experimentell bestimmten Wasserableitvermögen q_{exp} wird der für den planenden Ingenieur relevante Produktwert $q_{Produkt}$ ermittelt:

$$(3) \quad q_{Produkt} = \frac{q_{exp}}{\gamma_{R,1} \cdot \gamma_{R,2} \cdot \gamma_{R,3}}$$

Tabelle 5 zeigt die Abminderungsfaktoren und zugehörigen Wertebereiche für das Wasserableitvermögen, die aus einzelnen Laboruntersuchungen an Kunststoff-Dränmatten abgeleitet worden sind [11]. Der Abminderungsfaktor $\gamma_{R,3}$ bezieht sich dabei auf einwandfrei hergestellte Anschlüsse. Die Untersuchungen bestätigen, dass die Abminderungsfaktoren von Produkt zu Produkt sehr verschieden sein können. Es erhebt sich daher die Frage, ob nicht Höchstwerte für Abminderungsfaktoren festgelegt werden müssen, die grundsätzlich von den Produkten unterschritten werden müssen.

ABMINDERUNGSFAKTOREN, Wasserableitvermögen		
$\gamma_{R,1}$	Einfluss der Bettung auf das Prüfergebnis	1,0 – 1,6
$\gamma_{R,2}$	Kriechverformung des Dränkörpers unter Druck-Scherbeanspruchung	1,2 – 3,1
$\gamma_{R,3}$	Wasserableitvermögen in Anschlüssen (Stumpfstöße, Überlappungsstöße)	1,2 – 1,5

Tabelle 5: Abminderungsfaktoren für das Wasserableitvermögen aus [11].

3. Im dritten Schritt wird im einfachsten Bemessungsansatz der Sickerwasserabfluss aus Gl. (2), $q_{Anforderung}$, dem Wasserableitvermögen der Dränmatte aus Gl. (3), $q_{Produkt}$, gleichgesetzt. Fasst man daher die beiden Gleichungen (2) und (3) zusammen, so erhält man schließlich den Bemessungszusammenhang zwischen dem maximalen Sickerwasserabfluss und dem nach DIN EN ISO 12958 bestimmten Wasserableitvermögen:

$$(4) \quad \frac{q_{exp}}{\gamma_{R,1} \cdot \gamma_{R,2} \cdot \gamma_{R,3}} \geq (\gamma_{S,1} \cdot \gamma_{S,2} \cdot \gamma_{S,3} \cdot \gamma_{S,4} \cdot \gamma_{S,5}) \cdot q_{Entwurf}$$

Bei diesem Bemessungsansatz Gl. (4) wird angenommen, dass der Rekultivierungsboden und die Dränmatte wassergesättigt sind, so dass mit Beginn des Niederschlags sofort der

maximale Sickerwasserabfluss auftritt. Dies ist jedoch tatsächlich nie der Fall. Um den zeitlichen Aspekt des An- und Abswellens des Sickerwasserabflusses nach einem Niederschlagsereignis zu berücksichtigen, wurde von F. Saathoff folgender Bemessungsansatz vorgeschlagen [12]. Vor und nach einer Phase mit Sickerwasserabfluss ist der Wassergehalt einer Dränmatte gering. Übertrifft der Sickerwasserabfluss $q_{\text{Anforderung}}$ (siehe Gl. 2) bei einem Starkregenereignis das Wasserableitvermögen q_{Produkt} der Dränmatte (siehe Gl. 3), so läuft diese zunächst mit Wasser voll. Erst wenn deren Wasserspeichervermögen übertroffen wird, tritt ein kritischer Grenzzustand ein. Bezogen auf den Quadratmeter Fläche kann die dafür erforderliche Zeit einfach abgeschätzt werden:

$$(5) \quad \Delta t = \frac{d_{\text{Poren}}}{\frac{q_{\text{Anforderung}}}{L} - \frac{q_{\text{Produkt}}}{L}} .$$

d_{Poren} ist dabei das auf den Quadratmeter bezogene langfristig unter Auflast und Kriechen noch vorhandene Porenvolumen der Dränmatte, sozusagen die „Ersatzdicke“ des Porenraums. Ist diese Zeit nun größer als die vorsichtig abgeschätzte charakteristische Dauer einer das Wasserableitvermögen übertreffenden Sickerwasserabflussspitze nach einem Starkregenereignis, so wäre die Dränmatte immer noch ausreichend bemessen, obwohl Gl. (4) nicht erfüllt ist.

Dränageschicht und Rekultivierungsschicht bilden im Prinzip ein Kapillarsperresystem, in dem es nach Niederschlagsereignissen zu einem Durchbruch von Sickerwasser kommt. Das Verhalten solcher System kann mit den jetzt gängigen Wasserhaushaltsmodellen gar nicht simuliert werden [13]. Insbesondere bei aufwendig als sogenannte „Wasserhaushaltsschichten“ dimensionierten Rekultivierungsschichten wird mit dem Bemessungsansatz Gl. (4) stark überdimensioniert. Wie sind in diesen Fällen Dränschichten und Dränmatten optimal zu bemessen? Welche Rückwirkungen ergeben sich z.B. aus einer sehr großzügig bemessenen Kiesschicht auf den Wasserhaushalt in der mineralischer Dichtung (Austrocknung)? Unter welchen Bedingungen sollte eher Gl. (4), wann dagegen Gl. (5) oder ähnliche „realistischere“ Ansätze angewendet werden? Dies sind noch unbeantwortete Fragen.

Eine Kunststoff-Dränmatte kann in hydraulischer Hinsicht u.U. günstiger als eine Kiesdränage für den gesamten Wasserhaushalt sein. Günstiger ist sie jedoch sicherlich nicht was die langzeitige Standsicherheit des Aufbaus anbelangt. Eine zu Gl. (4) analoge Bemessungsgleichung muss daher auch für den Standsicherheitsnachweis aufgestellt werden. Dazu müssten die Teilsicherheitsbeiwerte für die mechanische Einwirkung und die eventuell erforderlichen Abminderungsfaktoren für die zugehörige innere Scherfestigkeit der Kunststoff-Dränmatten ermittelt werden. Einzelne Untersuchungen gibt es inzwischen zu dem Abminder-

rungsfaktor für die innere Scherfestigkeit, mit dem das duktile Versagen unter Druck-Scherbeanspruchung berücksichtigt wird; viel mehr jedoch nicht. Standsicherheitsnachweise für Kunststoff-Dränmatten berücksichtigen daher bislang nur die Reibung in den Grenzflächen zu benachbarten Schichten und die Kurzzeitscherfestigkeit aus dem Scherkastenversuch nicht jedoch die innere Langzeit-Scherfestigkeit. Es werden also noch keine vollständigen Standsicherheitsnachweise für die langfristige Gleitsicherheit des Gesamtaufbaus aus Drän- und Rekultivierungsschicht geführt.

Wie am Anfang dieses Abschnittes betont, ist die Klärung des Alterungsverhaltens jedoch Grundvoraussetzung, um dieses Bemessungskonzept überhaupt anwenden zu können. Untersuchungen zur Alterung unter den spezifischen mechanischen Beanspruchungen und deren Rückwirkung auf die Scherfestigkeit und damit auch auf das Wasserableitvermögen gibt es noch nicht. Mit den in Tabelle 3 angeführten Langzeit-Scherversuch kann diese Aufgabe angepackt werden.

5 Zusammenfassung

Trotz aller bestehenden Unsicherheit wird man vermuten dürfen, dass die Teilsicherheitsbeiwerte aus Tabelle 4 sich allenfalls in etwa zu einer Größenordnung aufmultiplizieren können. Dies gilt auch für die in Tabelle 5 genannten Abminderungsfaktoren. Das Langzeit-Wasserableitvermögen von Kunststoff-Dränmatten kann also den Ausgangswert der Produktspezifikation um bis zu zwei Größenordnungen unterschreiten. Es liegt damit aber bei den meisten Produkten immer noch im Bereich des Wasserableitvermögens, das formal aus den Anforderungswerten der TA Siedlungsabfall für die Kiesdränage errechnet werden kann. Kunststoff-Dränmatten besitzen also im Hinblick auf die hydraulische Wirksamkeit zweifellos das Potential herkömmliche Flächenentwässerungen aus Kies gleichwertig zu ersetzen. Es kommt dabei jedoch entscheidend darauf an, alterungsbeständige Produkte qualifiziert so auszuwählen, wie dies im dritten Abschnitt beschrieben wurde.

6 Literatur

1. *DIN* (Hrsg.): DIN-Fachbericht 86: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Leitfaden zur Beständigkeit. Berlin: Beuth Verlag 2000.
2. *Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK)* (Hrsg.): Anwendung von Geotextilien im Wasserbau, Merkblätter zur Wasserwirtschaft 221. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey 1992, 31 Seiten.
3. *Müller, W. W.* (Hrsg.): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien und Altlasten. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaften GmbH 1999.
4. *Müller, W. W.*: Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik. Basel: Birkhäuser Verlag 2001.
5. *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)* (Hrsg.): TL Geotex E-StB 95, Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und Geogitter für den Erdbau im Straßenbau. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen

- (FGSV) 1995.
6. *Müller, W. W.* (Hrsg.): Fremdprüfung beim Einbau von Kunststoffkomponenten und -bauteilen in Deponieabdichtungssystemen - Richtlinie der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) für die Anforderungen an die Qualifikation und die Aufgaben einer fremdprüfenden Stelle. Berlin: BAM, Labor IV.32, Deponietechnik 1998.
 7. *Müller, W. W.*: Wissenschaftlich-technische Fragen beim Einsatz von geotextilen Dränmatten in der Deponietechnik. In: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten 2001, Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis - Neuerungen durch die Ablagerungs- und Deponieverordnung. *Egloffstein, T., Burkhardt, G., Czurda, K.* (Hrsg.). Berlin: Erich Schmidt Verlag 2001, S. 117-150.
 8. *Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGt)* (Hrsg.): GDA-Empfehlungen. Berlin: Verlag Ernst & Sohn 1997, 716 Seiten.
 9. *Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)* (Hrsg.): Merkblatt für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV) 1994.
 10. *Koerner, R. M.*: Designing with Geosynthetics. Englewood Cliffs, USA: Prentice Hall 1990.
 11. *Gartung, E. und Zanzinger, H.*: Abminderungsfaktoren zum Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit von Geokunststoff-Dränelementen. In: Tagungsband der 15. Fachtagung "Die sichere Deponie, wirksamer Grundwasserschutz mit Kunststoffen". *Knipschild, F. W.* (Hrsg.). Würzburg: Süddeutsches Kunststoffzentrum (SKZ) 1999.
 12. *Saathoff, F.*: Dränsysteme aus Wirrgelege und Vliesstoff. In: Tagungsband der 15. Fachtagung "Die sichere Deponie, wirksamer Grundwasserschutz mit Kunststoffen". *Knipschild, F. W.* (Hrsg.). Würzburg: Süddeutsches Kunststoffzentrum (SKZ) 1999.
 13. *Dunger, V.*: Modellierung des Wasserhaushaltes von Systemen zur Oberflächensicherung von Deponien mit dem Deponie- und Haldenwasserhaushaltsmodell BO-WAHALD. In: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten 2001, Neue Erkenntnisse aus Wissenschaft und Praxis - Neuerungen durch die Ablagerungs- und Deponieverordnung. *Egloffstein, T., Burkhardt, G., Czurda, K.* (Hrsg.). Berlin: Erich Schmidt Verlag 2001, S. 117-150.