

L Langzeit-Scherfestigkeit von Geokunststoffen aus mehreren Komponenten

Dr. Werner Müller, Berlin

Langzeit-Scherfestigkeit von Geokunststoffen aus mehreren Komponenten

Dr. Werner Müller, Stefan Seeger, Martina Thies, Berlin

1. Einleitung

Geokunststoffe sind oft aus mehreren Komponenten schichtartig aufgebaut. Man denke etwa an Kunststoffdichtungsbahnen, bei denen nachträglich eine Oberflächenstruktur aufgebracht wird [1], Bentonitmatten, bei denen Bentonitpulver zwischen zwei Geotextilien eingepackt wird [2], oder an Kunststoff-Dränmatten, die in der Regel aus einer Filterschicht, einem Dränkern und einer Schutzschicht bestehen [3]. Werden solche Produkte in großflächigen Abdichtungen auf mehr oder weniger steil geneigten und langen Böschungen eingebaut, so hängt die Standsicherheit des ganzen Abdichtungsbauwerks nicht nur von den Reibungskräften zwischen dem Geokunststoff und den benachbarten Komponenten der Abdichtung ab, sondern vor allem auch von der inneren Scherfestigkeit des Geokunststoffs. In welchem Ausmaß Scherkräfte mobilisiert werden, wird durch den Einbauzustand bestimmt. In seltenen Fällen mag der Geokunststoff zwischen einem groben Auflager und einer darüber liegenden Erdstoffschicht so eingezwängt sein, dass ein „formschlüssiges“ Profil entsteht und Scher- und Reibungskräfte nur eine geringe Rolle spielen. In der Regel sind jedoch, gerade bei Dichtungsaufbauten aus mehreren Geokunststoffen, sauber definierte Gleitflächen vorhanden und die Hangabtriebskräfte müssen in vollem Umfang durch innere Scherkräfte in den Abdichtungskomponenten und Reibungskräfte in den Grenzflächen zwischen den Komponenten ausgeglichen werden.

Die innere Scherfestigkeit von Geokunststoffen wird üblicherweise in einem Scherversuch mit einem Kastenschergerät ermittelt [4]. Dazu wird bei sandwich-artigen Produkten deren Ober- und Unterseite auf dem jeweiligen Kasten fixiert und die Kästen mit konstanter Geschwindigkeit gegeneinander geschert. Bei einer vorgegebenen Auflast wird die maximale Scherspannung aus der dabei aufgezeichneten Scherspannung-Verschiebeweg-Kurve ermittelt. Daneben kann auch der sogenannte Schälwiderstand als Kennwert für die Scherfestigkeit gemessen werden [5].

Gerade in der Geotechnik werden bei der Dimensionierung von Bauwerken gerne solche einfach zu messenden Kurzzeitwerte verwendet, die gegebenenfalls mit sogenannten Sicherheitsbeiwerten abgemindert werden. Für alle Baustoffe gilt jedoch, dass die langfristig

tatsächlich erreichbaren Festigkeiten sich wesentlich von den Kurzzeitwerten unterscheiden können, die bei hohen Verformungsgeschwindigkeiten ermittelt werden. Dies gilt natürlich insbesondere bei Baustoffen mit ausgeprägt visko-elastischen Eigenschaften, wie den Kunststoffen [6]. Bei allen Baustoffen werden jedoch über lange Zeiträume auch Alterungsvorgänge (Korrosion, Spannungsrisskorrosion oder -bildung, morphologische Veränderung, Oxidation usw.) zu inneren Veränderungen des Werkstoffes führen, die dann auch Auswirkungen auf die Festigkeit haben. Solche Veränderungen lassen sich in der Regel nicht durch Sicherheitsbeiwerte erfassen. Neben dem „Pfund am Bau“ ist daher die mangelnde Unterscheidung zwischen den Kurz- und Langzeiteigenschaften von Baustoffen, die wesentliche Ursache für Schadensfälle im Bauwesen mit manchmal dramatischen Auswirkungen.

Im folgenden soll gezeigt werden, wie man die Langzeit-Scherfestigkeit von Bentonitmatten und Kunststoff-Dränmatten, aber auch z.B. von nachträglich strukturierten Kunststoffdichtungsbahnen prüfen kann und welche Ergebnisse dabei für strukturierte Kunststoffdichtungsbahnen und Bentonitmatten bisher erzielt wurden. Die Untersuchung von Kunststoff-Dränmatten hat gerade erst begonnen, so dass hier noch keine Ergebnisse vorgelegt werden können.

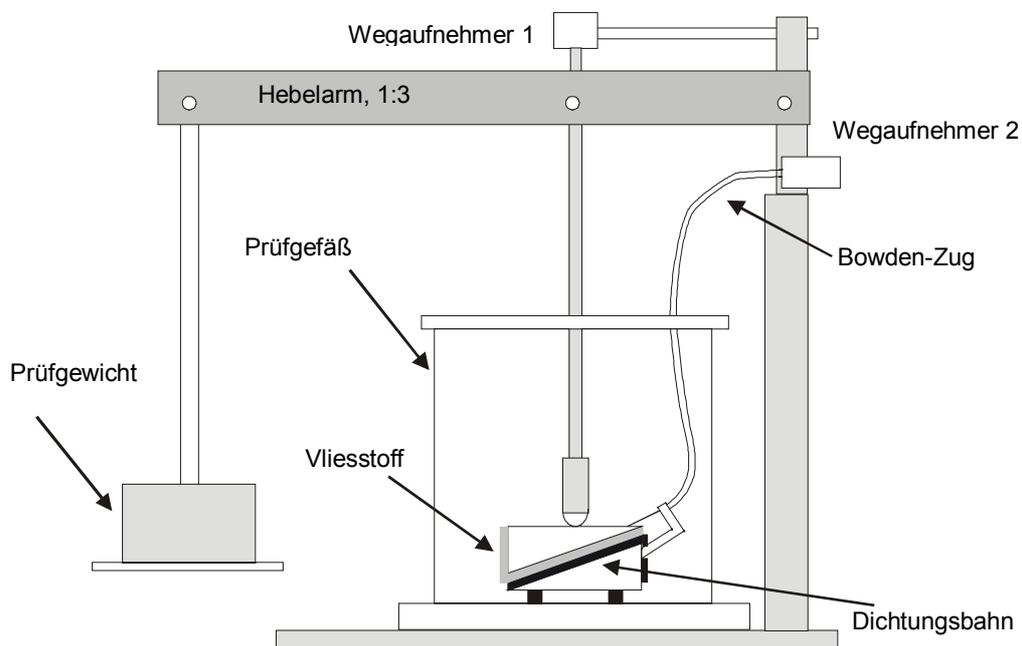


Bild 1: Schema eines Scherzeitstandes zur Ermittlung der Langzeit-Scherfestigkeit.

2. Prüfverfahren

Die Festigkeit von Kunststoffbauteilen wird in sogenannten Zeitstandversuchen geprüft, bei denen das Bauteil der mechanischen Beanspruchung unter erhöhter Temperatur und unter dem Einfluss von flüssigen oder gasförmigen Prüfmedien ausgesetzt wird. In Abhängigkeit von den Prüfbedingungen wird dann die Zeit bis zum Versagen, die Standzeit, ermittelt. Durch Variation der Prüfbedingungen erhält man einen funktionalen Zusammenhang zwischen Standzeiten und diesen Bedingungen, der dann zur Extrapolation der Funktionsdauer unter Anwendungsbedingungen verwendet werden kann. Die Ermittlung des langfristig zulässigen Rohrinnendrucks bei Kunststoffrohren in Zeitstand-Rohrinnendruckversuchen ist das vielleicht technisch ausgereifteste Beispiel für die Anwendung von Zeitstandversuchen im Kunststoffbereich. In Anlehnung an solche Zeitstandversuche haben wir Prüfstände konzipiert, mit denen das Langzeitverhalten von Geokunststoffen unter Scherbeanspruchung untersucht werden kann (Bild 1).



Bild 2: Probenhalter mit Kunststoffdichtungsbahn und Vliesstoff (links) und Gesamtansicht der Prüfeinrichtung (rechts).

Ein Ausschnitt aus dem zu untersuchenden Produkt (ca. $12 \times 13 \text{ cm}^2$) wird zwischen zwei Stahlkeile (Steigungswinkel der Stahlkeile in der Regel $21,8^\circ$; entsprechend einer Böschungeneigung von 1:2,5) montiert, siehe Bild 2. Über einen Hebelmechanismus wird eine für Oberflächenabdichtungen repräsentative Auflast auf den oberen Keil ausgeübt. Der hangparallele Anteil der Auflast wird als Scherspannung zwischen Ober- und Unterlage in den geotextilen

Verbund eingetragen. Der Aufbau befindet sich in einem heizbaren Wasserbad ($T_{max} \sim 80^\circ$). Durch erhöhte Temperatur wird, analog zu den Rohrrinnendruck-Zeitständen, das Kriechen, die Spannungsrisssbildung und der oxidative Abbau beschleunigt ablaufen. Versuchsparameter sind Auflast (bzw. Auflast/Scherkraft-Verhältnis) und Temperatur. Es kann jedoch nicht nur Wasser, sondern auch ein anderes flüssiges Prüfmedium verwendet werden. Über zwei Wegaufnehmer kann die vertikale Verschiebung des oberen Keiles und die Verschiebung in der Scherebene über lange Zeit mit hoher Präzision ($\Delta s \leq 1/10$ mm) automatisch erfasst werden. Daraus können die Kompression und Scherverformung des Geokunststoffes in der Hangebene ermittelt werden. Ein Versagen des Probekörpers, d. h. zum Beispiel Abgleiten der Geotextillagen nach Bruch der Verbindungsfasern, kann hierdurch dokumentiert werden, unabhängig davon, ob sich dieser Prozess eher schlagartig oder sehr langsam vollzieht.



Bild 3: Auf den Keilen fest montierte Reibungspartner mit denen Bentonitmatten oder Kunststoff-Dränmatten in den Probehälter verbunden sind.

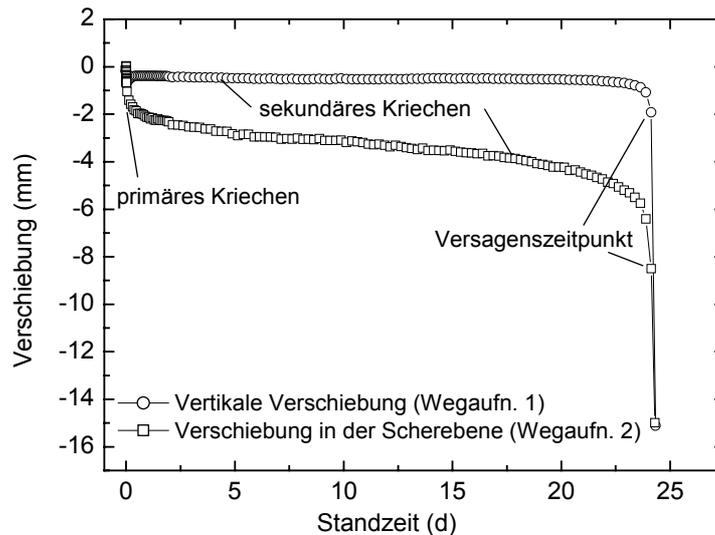


Bild 4: Beispiele von Verschiebungsweg-Standzeit-Kurven, wie sie mit den Wegaufnehmern gemessen werden.

Bei der Untersuchung der strukturierten Kunststoffdichtungsbahnen wurden diese mit Schrauben auf dem unteren Keil und ebenso ein dicker Vliesstoff auf dem oberen Keil montiert. Die Keile wurden daher durch die Reibung zwischen Strukturpartikeln und Vliesstoff zusammengehalten. Bei den Bentonitmatten oder Kunststoff-Dränmatten wurden der Zusammenhalt im Probehälter durch flächiges Verhaken mit einem auf dem oberen und unteren Keil fest montierten Reibungspartner hergestellt. Als Reibungspartner wurden dabei strukturierte Kunststoffdichtungsbahnen, Reibbleche oder Nagelplatten verwendet (Bild 3).

Bild 4 zeigt den typischen zeitlichen Verlauf der mit den Wegaufnehmern gemessenen Verschiebungen: Nach einer anfänglichen raschen Verformung durch die Auflast (primäres Kriechen) tritt eine stabile Phase mit einer nur allmählichen, stetigen Verformung (sekundäres Kriechen) ein. Erst kurz vor dem Versagen erhöht sich die Verformungsgeschwindigkeit sehr stark (tertiäres Kriechen) und es kommt schließlich zum Bruch der Probe.

Aus den in Zeitstandversuchen ermittelten Standzeiten können auch Funktionsdauern abgeschätzt werden. Dazu verwendet man die starke Temperaturabhängigkeit der Standzeiten, die im folgenden kurz diskutiert wird. Alterungserscheinungen können einen allmählichen und stetigen zeitlichen Verlauf zeigen. Sie können jedoch auch sehr abrupt auftreten. Im ersten Fall wirken sich die hinter den Alterungserscheinungen stehenden chemischen und physikalischen Vorgänge unmittelbar auf die betrachtete Funktion des Werkstoffs aus. Im zweiten Fall laufen

sie zunächst versteckt ab und schlagen erst nach einer gewissen Schadensakkumulation auf die Funktion durch. Man denke z.B. an den allmählichen Verlust von Antioxidantien die polyolefine Werkstoffe vor der Oxidation schützen. Eine mit den Vorgängen verbundene Eigenschaftsveränderung P zeigt dabei oft einen exponentiellen zeitlichen Verlauf:

$$(1) \quad P(t) = P_0 e^{-kt}.$$

Wird ein bestimmter Schwellenwert P_S unterschritten, so kommt es zum Versagen unter der Einwirkung der Beanspruchungen. Die Standzeit t_S ist also gegeben durch:

$$(2) \quad t_S = \frac{1}{k} \ln \frac{P_0}{P_S}.$$

Sofern sich die Eigenart des Vorgangs über das betrachtete Temperaturintervall nicht ändert, wird die Temperaturabhängigkeit der Standzeit durch die der Geschwindigkeit k bestimmt. Diese Abhängigkeit hat in den meisten Fällen eine einfache Form (ARRHENIUS-Gleichung):

$$(3) \quad k = k_0 e^{-E/RT}.$$

Solche einfachen Zusammenhänge können die makroskopischen Eigenschaftsveränderungen auch dann beschreiben, wenn die auf mikroskopischer Ebene zugrunde liegenden molekularen Vorgänge im Einzelnen äußerst kompliziert sind und keineswegs einer einfachen Kinetik gehorchen. Durch einen einfachen Gedankengang soll dies (mehr illustriert als) erklärt werden.

Man stelle sich vor, dass der Vorgang, der hinter einer Alterungserscheinung steht, sich aus vielen in immer noch makroskopischen Teilsystemen ablaufenden Abbauvorgängen zusammensetzt. Diese bestehen im Prinzip darin, dass ein metastabiler geordneter Nichtgleichgewichtszustand des jeweiligen Teilsystems mit einer bestimmten Abbaurrate r in einen stabilen Gleichgewichtszustand übergeht. Der Einzelvorgang wird dabei im zugehörigen Teilsystem im wesentlichen nur dann in Gang gesetzt, wenn dieses Teilsystem eine bestimmte innere Energie E hat, eine „scheinbare“ Aktivierungsenergie. Es sei $N(E)$ die Anzahl der in diesem Sinne aktivierten Teilsysteme. Dann werden im Zeitintervall Δt sich ΔN Teilsysteme verändert haben:

$$(4) \quad \Delta N = r \cdot N(E) \cdot \Delta t.$$

Im thermischen Gleichgewicht des Teilsystems mit seiner Umgebung bei der Temperatur T ist die Wahrscheinlichkeit w , dass es die innere Energie E hat, gegeben durch:

$$(5) \quad w = \frac{e^{-E/RT}}{Z(T)}.$$

R ist die allgemeine Gaskonstante (8,314 J/(mol K) und $Z(T)$ ein (von der Temperatur abhängiger) Normierungsfaktor. Dies ist eine universell gültige thermostatische Beziehung. $N(E)$ ist dann gegeben durch:

$$(6) \quad N(E) = \frac{e^{-E/RT}}{Z(T)} N,$$

wobei N die Gesamtzahl der sich im Ausgangszustand befindlichen Teilsysteme ist. Setzt man Gl. (6) in Gl. (4) ein, so erhält man für die zeitliche Änderung von N :

$$(7) \quad \frac{dN}{dt} = \frac{r \cdot e^{-E/RT}}{Z(T)} N.$$

P ist proportional zu N . Aus Gl. (7) ergibt sich daher der in Gl. (1) angegebene exponentielle zeitliche Verlauf von P mit der in Gl. (3) angegebenen Temperaturabhängigkeit der Geschwindigkeit k . Für die Temperaturabhängigkeit der Standzeit erhält man aus Gl. (2) mit der ARRHENIUS-Gleichung (3):

$$(8) \quad t_s(T) = \left(\frac{1}{k_0} \ln \frac{P_0}{P_s} \right) e^{E/RT}.$$

Trägt man daher den Logarithmus der bei unterschiedlichen Temperaturen gemessenen Standzeiten über der reziproken (absoluten) Temperatur auf (ARRHENIUS-Diagramm), so ergibt sich nach Gl.(8) eine Gerade, die man auf Anwendungstemperaturen extrapolieren kann¹.

¹ Nach Gl. (7) sollte in Gl. (3) auch k_0 noch von der Temperatur abhängen. Für $RT < E$, was in der Regel immer der Fall ist, ist diese Temperaturabhängigkeit aber nur sehr schwach und kann gegenüber dem Faktor $\exp(-E/RT)$ zumeist vernachlässigt werden. Bei geringen Abweichungen von der ARRHENIUS-Geraden kann jedoch eine bessere Anpassung an die Daten mit dem Ansatz $k \sim T^n \exp(-E/RT)$ erreicht werden, wobei n eine kleine positive oder negative Zahl ist.

Die Voraussetzung, dass im betrachteten Temperaturbereich, die Eigenart der Vorgänge sich nicht verändern darf, ist dabei sehr wesentlich. Bei vielen Kunststoffen ist dies oberhalb von 100 °C nicht mehr der Fall. Bei Polyethylen nimmt z.B. der Kristallinitätsgrad, der viele Vorgänge wesentlich beeinflusst, oberhalb von 100 °C stark ab; Bei manchen Polypropylen-Formmassen kann sich bei etwa 100 °C die Wirksamkeit der Stabilisatoren stark ändern, usw. Eine ARRHENIUS-Extrapolation allein aufgrund von Daten, die bei Prüftemperaturen über 100 °C gemessen wurden, auf Anwendungstemperaturen ist daher in der Regel nicht zuverlässig möglich. Man muss daher auch bei tieferen Temperaturen messen, was aber zu erheblichen Prüfzeiten führt.

Die scheinbare Aktivierungsenergie vieler chemischer und physikalischer Vorgänge liegt im Bereich von etwa 50 kJ/mol (bzw. 6000 K). Bei Temperaturen im Bereich der Anwendungstemperaturen ergibt sich dann aus Gl. (8) die schon Ende des vorletzten Jahrhunderts von VAN'T HOFF für chemische Reaktionen aufgestellte Regel, dass eine Erhöhung der Temperatur um 10 °C die Reaktionsgeschwindigkeit um den Faktor 2 bis 3 vervielfacht. Diese Regel gilt erstaunlich gut für viele hinter Alterungserscheinungen bei Kunststoffen stehende Prozesse. Empirisch liegt der Faktor eher bei 2,5 als bei 2. Dies bedeutet, dass für den Nachweis von Funktionsdauern von mindestens 100 Jahren bei typischen Anwendungstemperaturen im Erdbau von 15-20 °C im Zeitstandversuch bei 80 °C mindestens Standzeiten von einem Jahr erreicht werden müssen.

3. Ergebnisse und Diskussion

Die bisher erzielten Untersuchungsergebnisse wurden in [7], [8] und [2] veröffentlicht. Im folgenden sollen daher nicht die detaillierten Ergebnisse der Versuche an den unterschiedlichen Proben vorgestellt, sondern einige wesentliche zusammenfassende Schlussfolgerungen aus den bisherigen Untersuchungen gezogen und illustriert werden.

In unseren Untersuchungen wurde zunächst deutlich, dass sich ganz erhebliche Unterschiede im Zeitstandverhalten ergeben können, je nachdem welche Werkstoffe verwendet und in welcher Weise ein Produkt gestaltet wurde. Es wurden z.B. strukturierte Dichtungsbahnen untersucht, bei denen für die Struktur zwei unterschiedliche Formmassen A und B verwendet wurden. Die Formmassen wurden nach dem gleichen Verfahren auf die gleichen glatten Dichtungsbahnen aufgebracht. Bild 6 zeigt die Summenhäufigkeit der bei 80 °C gemessenen Standzeiten der Dichtungsbahn, die mit der Formmasse A strukturiert wurde. Die Auflast betrug 50 kN/m², als Reibungspartner wurde ein PP-Vliesstoff verwendet. Die Standzeiten

sind logarithmisch normalverteilt, wie man das für Zeitstandversuche erwartet. Der Mittelwert der Standzeit liegt jedoch nur bei 2 Tagen.

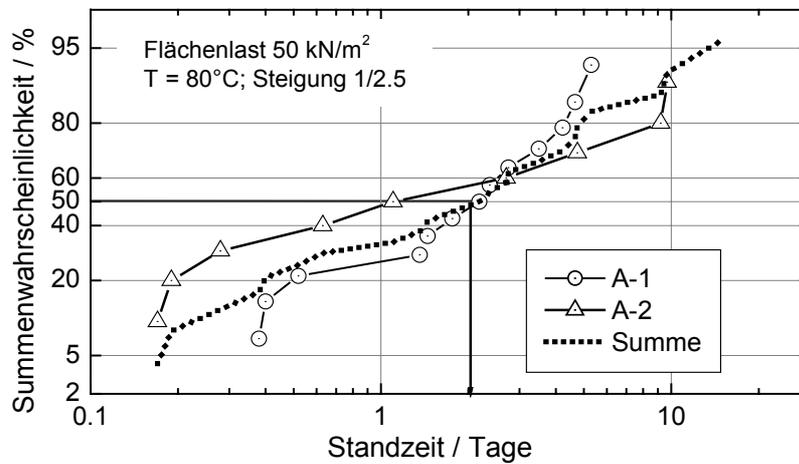


Bild 6: Kumulative Verteilung sämtlicher gemessener Standzeiten der Dichtungsbahn A.

Probe	B-3	B-4	B-259*
Standzeit (d)	> 395	> 698	> 396
	> 395	> 620	> 524
	399 [§]	350 [§]	> 524
	404 [§]		

§) Vliesstoff aus der Verankerung gerissen

*) Nach 1500 Stunden künstlicher Bewitterung gemäß DIN EN 12224

Tabelle 1: Standzeiten der Proben aus der Dichtungsbahn B.

Tabelle 1 zeigt dagegen die Standzeiten der mit der Formmasse B strukturierten Dichtungsbahnen. Unter den gleichen Versuchsbedingungen zeigt dieses Produkt ein völlig anderes Verhalten. Die meisten Versuche wurden hier nach über 1,5 Jahren ergebnislos abgebrochen. Wenn es überhaupt nach sehr langer Zeit zum Abrutschen kam, so lag dies an der Versprödung des Vliesstoffes, der dadurch aus seiner Halterung am Keil gerissen wurde, und nicht an der Struktur der Dichtungsbahn. Selbst eine vorausgehende künstliche Bewitte-

rung von 1500 Stunden, was in etwa einer Freibewitterung von 2 Jahren entspricht, ergab keine messbare Reduzierung der Standzeit im anschließenden Zeitstand-Scherversuch.

Unsere Untersuchungen haben weiterhin belegt, dass, wie erwartet, drastische Unterschiede zwischen der Kurzzeit-Scherfestigkeit und der Langzeit-Scherfestigkeit bestehen. So konnte der allein durch die Wahl der Werkstoffkombination bewirkte Unterschied zwischen Dichtungsbahn A und B in Kurzzeit-Reibungsversuchen nicht festgestellt werden. Auch bei Bentonitmatten zeigt sich dieser Unterschied zwischen Kurzzeit- und Langzeitverhalten. Die Kurzzeit-Scherfestigkeit bei Bentonitmatten wird durch die maximale Scherkraft (Scherfestigkeit) oder die maximaler Schälkraft (Schälwiderstand) ausgedrückt, die im Kurzzeit-Scher- oder Schälversuch ermittelt wird. Die Langzeit-Scherfestigkeit kann charakterisiert werden durch die Scherspannung, die bei einer vorgegebenen Standzeit und Temperatur von 95 % der Proben erreicht wird. Man kann sie jedoch auch charakterisieren durch das geometrische Mittel der Standzeiten, die bei vorgegebener Scherspannung und Temperatur im Zeitstandscherversuch erreicht werden. In Tabelle 2 sind für unterschiedlich hergestellte Bentonitmatten, die mittleren relativen Schälwiderstände den mittleren relativen Standzeiten gegenübergestellt. Als Bezugsgröße wurde der kleinste Schälwiderstand bzw. die kleinste Standzeit willkürlich gleich Eins gesetzt.

Produkt	rel. Schälwiderstand	rel. Standzeit
C	3,6	1
D	3,3	4,4
E	2	24
F	1	>270

Tabelle 2: Vergleich der Schälwiderstände im Kurzzeitversuch mit den Standzeiten im Langzeitversuch. Der jeweils kleinste Wert wurde als Bezugsgröße Eins gesetzt.

Offensichtlich kann aus einer hohen Kurzzeitfestigkeit nicht auf eine bei einer vorgegebenen Beanspruchung erreichbare hohe Standzeit geschlossen werden. Langzeit-Scherversuche sind daher ein unverzichtbares Element der Beurteilung der Eigenschaften von Geokunststoffen aus mehreren strukturellen oder werkstofflichen Komponenten.

Das Verhalten von Geokunststoffen in Langzeitversuchen lässt sich, dies eine dritte allgemeine Schlussfolgerung aus den Beobachtungen, nicht leicht vorhersagen. So können die Prüfbedin-

gungen großen Einfluss auf die Prüfergebnisse haben. Bei Bentonitmatten wurde z.B. beobachtet, dass entionisiertes Wasser oder Leitungswasser als Prüfmedium zu jeweils ganz unterschiedlichen Standzeiten führt. Über den Ionenaustausch beeinflusst das Prüfmedium den Bentonit, dessen Eigenschaften offenbar erhebliche Rückwirkungen auf das Scherverhalten haben. Bei der Übertragung von Laborergebnissen auf die Anwendung muss in diesem Zusammenhang bedacht werden, dass die „klinischen“ Bedingungen der Zeitstandscherversuche bei hoher Temperatur im Wasserbad maximale Anforderungen an die Produkte stellen. Daher sind in bezug auf die Anwendung in der Regel erhebliche Sicherheitsreserven vorhanden.

Das wichtigste Ergebnis unserer Untersuchungen ist jedoch sicherlich, dass ausgewählte Geokunststoffprodukte, die aus hochwertigen Materialien gefertigt und optimal gestaltet worden sind, auch unter kritischsten Prüfbedingungen extrem lange Standzeiten erreichen können. Das Beispiel der nachträglich strukturierten Dichtungsbahn B wurde oben schon diskutiert. Bild 7 zeigt ein weiteres Beispiel aus der Prüfung der Bentonitmatten. Auch nach fast einem Jahr zeigen die Probekörper aus dem Produkt F ein stabiles stationäres Kriechen. Es sind keinerlei Anhaltspunkte für ein baldiges Versagen vorhanden.

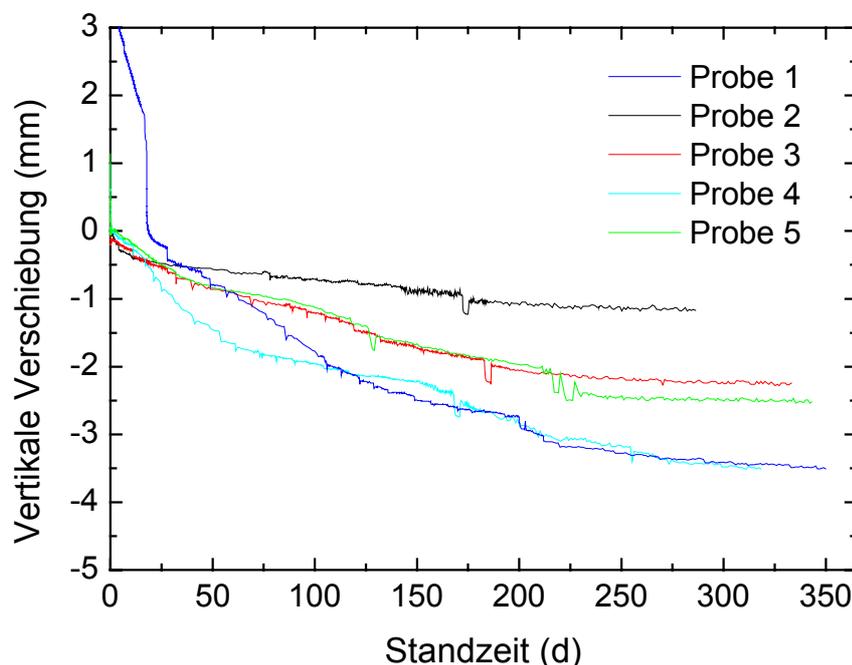


Bild 7: Bisheriger Verlauf (vertikale Verschiebung des oberen Keiles) der Zeitstandscherversuche an Probekörpern aus einer Bentonitmatte F. Probe 1 wurde nach einigen Tagen aus- und wieder eingebaut: daher die starke Verschiebung am Anfang der Kurve.

4. Zusammenfassung

Oberflächenabdichtungen von Deponien und zur Sicherung von Altlasten sind Bauwerke die sehr lange Funktionsdauern haben müssen und die in der Regel nicht kontrolliert und repariert werden können. Geokunststoffe sollten daher nur eingesetzt werden, wenn deren Eignung vor allem im Hinblick auf das Langzeitverhalten nachgewiesen worden ist. Dies ergibt sich auch aus den gesetzlichen Vorschriften (TA Siedlungsabfall in Verbindung mit der Ablagerungsverordnung) die für Abdichtungen einen Gleichwertigkeitsnachweis zur Regelabdichtung fordern. Mit der Deponieverordnung wird die Möglichkeit eröffnet, Kunststoff-Dränmatten in Oberflächenabdichtungssystemen von Deponien einzusetzen. Im Anhang 1, Fußnote 4 zu den dortigen Tabellen über die Abdichtungssysteme wird jedoch auch gefordert: „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 ist.“

Kunststoffdichtungsbahnen müssen von der BAM zugelassen werden. Die Eignung von Bentonitmatten kann bei Anpassung an den Stand der Technik in Anlehnung an die ehemaligen Zulassungsanforderungen des DIBt geführt werden. Wobei die Bentonitmatten seinerzeit nur unter der Voraussetzung zugelassen wurden, dass ergänzend ein Nachweis der Langzeit-Scherfestigkeit geführt wird. Dies ist mit dem hier vorgestellten Prüfverfahren möglich. Dem Eignungsnachweis bei Kunststoff-Dränmatten kann zunächst die Norm DIN EN 13252:2001-04, *Geotextilien und verwandte Produkte, geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Dränanlagen*, zugrunde gelegt werden. Die in der Norm aufgeführten Anforderungen an die Beständigkeit gewährleisten jedoch ausdrücklich nur eine Funktionsdauer von 25 Jahren. Zugleich fehlt in der Norm ganz die Prüfung des Langzeitverhaltens unter Druck-Scherbeanspruchung und deren Rückwirkung auf das Wasserableitvermögen. Nach dieser Norm gekennzeichnete Produkte sind daher ohne weiteres nur für einfache geotechnische Anwendungen geeignet, bei denen die Kunststoff-Dränmatten mit vertretbarem Aufwand repariert oder ersetzt werden können. Für Kunststoff-Dränmatten, die im Deponiebau oder der Altlastensicherung eingesetzt werden, müssen als zusätzliche wesentliche Eigenschaften die Langzeit-Scherfestigkeit und das Langzeit-Wasserableitvermögen unter Berücksichtigung der Alterungsvorgänge der verwendeten Werkstoffe untersucht und beurteilt werden. Auch dies ist mit den Scherzeitständen möglich.

Für die von der BAM zugelassenen Kunststoffdichtungsbahnen aus speziellen PEHD-Formmassen ist der Nachweis erbracht, das bei einwandfreiem Einbau die Funktionsdauer nach Jahrhunderten zählt [9]. Für einzelne Bentonitmatten-Produkte liegen erste Ergebnisse zum

Nachweis der Langzeit-Scherfestigkeit vor. Bei Kunststoff-Dränmatten haben Untersuchungen begonnen. Wir hoffen, dass sich viele Geokunststoffhersteller in Zukunft aktiv an diesen Untersuchungen beteiligen. Nur so kann ein vollständiger Überblick über die Leistungsfähigkeit von Geokunststoff auch bei extremen Funktionsdauern erarbeitet werden.

Danksagung

Die hier gezeigten Ergebnisse stammen aus abgeschlossenen und laufenden Forschungsvorhaben der BAM, die finanziell und fachlich von den Firmen GSE Lining Technology GmbH und Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG unterstützt wurden.

Literatur

1. *Müller, W. W.*: Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik. Basel: Birkhäuser Verlag 2001.
2. *Thies, M., Gerloff, C., Seeger, S. und Müller, W. W.*: Long-term shear testing of geosynthetic clay liners. In: Clay Geosynthetic Barriers. *Zanzinger, H., Koerner, R. M., und Gartung, E.* (Hrsg.). Lisse, The Netherlands: A.A. Balkema Publishers 2002, S. 97-104.
3. *Müller, W. W.*: Kunststoff-Dränmatten im Deponiebau Teil 1: Eigenschaften und Beurteilung. Bautechnik, 79(2002), H. 3, S. 178-192.
4. *Blümel, W. und Brummermann, K.*: Reibung zwischen Geokunststoffen und Erdstoffen in Deponiedichtungen. Müll und Abfall, 26(1994), H. 5, S. 242-259.
5. *von Maubeuge, K. P. und Luca, S. N.*: Peel and shear test comparison and geosynthetic clay liner shear strength correlation. In: Clay Geosynthetic Barriers. *Zanzinger, H., Koerner, R. M., und Gartung, E.* (Hrsg.). Lisse, Netherlands: A.A. Balkema Publishers 2002.
6. *Müller, W. W.*: Kunststoff-Dränmatten im Deponiebau Teil 2: Zur Bemessung. Bautechnik, 79(2002), H. 4, S. 232-242.
7. *Seeger, S., Böhm, H., Söhring, G. und Müller, W.*: Long term testing of geomembranes and geotextiles under shear stress. In: Proceedings of the Second European Geosynthetics Conference. *Cancelli, A., Cazzuffi, D., und Soccodato, C.* (Hrsg.). Bologna: Pàtron Editore 2000, S. 607-610.
8. *Seeger, S. und Müller, W. W.*: Langzeitbeständigkeit strukturierter Dichtungsbahnen, BAM-Forschungsbericht 256. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH 2001.
9. *Müller, W. W. und Jakob, I.*: Oxidative resistance of high-density polyethylene geomembranes. Polymer Degradation and Stability, 79(2003), H. 1, S. 161-171.