

**BAM****Bundesanstalt für
Materialforschung
und -prüfung**D-12200 Berlin
Telefon: 0 30/81 04-0
Telefax: 0 30/8 11 20 29Dieses Dokument darf nur in
vollem Wortlaut und ohne
Zusätze veröffentlicht werden.
Für die veränderte Wiedergabe
und Auszüge ist vorher die
widerrufliche schriftliche
Einwilligung der BAM
einzuholen.

Die Eignung des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z für die endgültige Oberflächenabdichtung von Deponien

Aktenzeichen	IV.32/1317/04
Datum	2004-09-01
Ausfertigung	2 von 4
Antragsteller/ Auftraggeber	Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG, Gewerbestraße 2, 32339 Espelkamp-Fiestel
Antrag/Auftrag vom	2004-01-09
Eingegangen am	2004-01-11
Gegenstand des Gutachtens	Die Beurteilung der Eignung des Kunststoff-Dränelements Se- cudrän® R201Z WD601Z R201Z für die endgültige Oberflä- chenabdichtung von Deponien
Gliederung	Zusammenfassung 1. Veranlassung 2. Das Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z 3. Das Langzeit-Wasserableitvermögen 4. Die Langzeit-Scherfestigkeit 5. Eigenschaften des geotextilen Filters 6. Reibung und Schutzwirksamkeit 7. Qualitätssicherung 8. Hinweise zum Einbau 9. Erläuterungen Anlagen: A1. Verzeichnis der vom Hersteller eingereichten Unterlagen A2. Literatur A3. Bemessungsdiagramme des Herstellers

GUTACHTEN

Dieses Gutachten besteht aus Seite 1 bis 44

☒ Sicherheit und Zuverlässigkeit in Chemie- und Materialtechnik

Zusammenfassung

Eine Flächenentwässerung muss Bestandteil der endgültigen Oberflächenabdichtung einer Deponie sein. Das Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG ist für die Herstellung einer solchen Flächenentwässerung geeignet, wenn die bautechnischen Besonderheiten im Umgang mit solchen Dränelementen beachtet werden.

Insbesondere kann damit die Anforderung aus dem Anhang 1, Tabelle 2 der Deponieverordnung erfüllt werden, wonach „ die zuständige Behörde ... auf Antrag des Betreibers Abweichungen von Schichtstärke und Durchlässigkeitsbeiwert der Entwässerungsschicht zulassen (kann), wenn nachgewiesen wird, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit der Entwässerungsschicht und die Standsicherheit der Rekultivierungsschicht langfristig gewährleistet ist.“

Ausgangspunkt für den Eignungsnachweis waren die Anforderungen aus der entsprechenden Richtlinie der BAM [1], die jedoch weiter konkretisiert werden mussten, und die Ausführungen zur Langzeitbeständigkeit in den sogenannten DIBt-Grundsätzen [2]. Die Prüfung der Langzeit-Scherfestigkeit erfolgte in Anlehnung an die Anforderung an strukturierte Kunststoffdichtungsbahnen aus der Zulassungsrichtlinie der BAM [3].

Die Parameter für die Bemessung des Wasserableitvermögens sind in der Tabelle 3.3 zusammengestellt, diejenigen für die Bemessung des Flächenfilters in der Tabelle 5.1. Auf die Einschränkungen, die sich bei der Einbettung zwischen Böden (Bettung weich/weich), bei hohen Auflasten und steilen Böschungen ergeben können, wird in den Abschnitten 3 und 4 eingegangen. Das Reibungsverhalten lässt sich nicht bei allen Reibungspartnern durch den einfachen Ansatz eines linearen Zusammenhangs zwischen Auflast und Reibungskraft und eines daraus abgeleiteten Reibungswinkels beschreiben. Wie beim Standsicherheitsnachweis vorgegangen werden kann, wird in [4] diskutiert. Filter- und Schutzvliesstoff gehören zur GRK 3. Dies ist jedoch keine hinreichende Bedingung, dass das Dränelement insgesamt allen Einbaubeanspruchungen standhält. Die noch zulässigen Beanspruchungen müssen aus der Auswertung bisheriger Einbauerfahrungen abgeleitet werden. In Zweifelsfällen müssen Feldversuche durchgeführt werden. Die Beständigkeit und die Langzeit-Scherfestigkeit werden im Abschnitt 4 diskutiert. Letztere hängt ab von der innigen Verbindung der Komponenten des Dränelements in den Schweißpunkten. Die Beschaffenheit der Schweißpunkte wird durch Zugscherversuche an regelmäßig entnommenen Proben bei der Herstellung überwacht. Die Schweißpunkte müssen auch auf der Baustelle stichprobenartig kontrolliert werden. Weitere Hinweise zum Qualitätsmanagement finden sich im Abschnitt 7 und zum Einbau in den Verweisen im Abschnitt 8. Trotz der hohen Witterungsbeständigkeit des Filtervliesstoffs sollte das Dränelement innerhalb weniger Tage nach dem Einbau abgedeckt werden.

Die grundsätzliche Feststellung der Eignung 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 EAG-Drän beschrieben. Dort wird, insbesondere für die Bemessung der Filter, auf das DVWK-Merkblatt 221 verwiesen. Hinweise zum Umgang mit den nach den neuen europäischen Normen ermittelten Prüfgrößen der Kunststoff-Dränelemente finden sich im Entwurf des neuen FGSV-Merkblatts. Daneben ist für die Bemessung des Wasserableitvermögens auch die GDA-Empfehlung E2-20 im Gebrauch. Die Bemessungsgleichungen unterscheiden sich jedoch von Papier zu Papier. Darüber hinaus ist nicht genau geregelt, wie aus Prüfergebnissen die Parameter für die Bemessung abzuleiten sind. Diese Probleme sind jedoch überwiegend formaler Natur. Sie betreffen nicht die prinzipielle Eignung von Kunststoff-Dränelementen. In diesem Gutachten wird versucht, auch dazu Hinweise zu geben.

Das Gutachten bezieht sich ausschließlich auf das spezielle, mit Secudrän® R201Z WD601Z R201Z bezeichnete Kunststoff-Dränelement, das dabei in allen seinen Eigenschaften mit den Prüfmustern übereinstimmen muss, die an der BAM und bei den Prüfstellen untersucht wurden. Für das Gutachten wurden in starkem Maße die Ergebnisse aus Prüfberichten anerkannter und erfahrener Prüfstellen verwendet. Für deren Richtigkeit kann jedoch keine Gewähr übernommen werden.

1. Veranlassung

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 Gesetzgeber wollte damit die Möglichkeit eröffnen, auch Kunststoff-Dränelemente in endgültigen Oberflächenabdichtungen von Deponien einsetzen zu können. Für das Kunststoff-Dränelement muss dann aber offenbar ein Eignungsnachweis geführt werden, der die außerordentlich lange Funktionsdauer von Deponieabdichtungen berücksichtigt. Das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBT) hatte im Rahmen seiner auf dem Baurecht basierenden Zulassungstätigkeit für Dichtungselemente in Deponieabdichtungen Grundsätze für deren Eignungsnachweis erstellt³. Danach ist eine Funktionsdauer von weit mehr als hundert Jahren notwendig⁴.

Inzwischen existiert eine europäische Norm für Kunststoff-Dränelemente. Diese Norm DIN EN 13252, *Geotextilien und verwandte Produkte, geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Dränanlagen*, benennt eine Liste von relevanten Eigenschaften der Dränelemente und zugehörige genormte Prüfverfahren, mit denen Werte für diese Eigenschaften ermittelt werden können. Zusätzlich wird ein Verfahren der Feststellung der Eigenschaften der Produkte (Konformitätsbewertung) und ein System der werkseigenen Produktionskontrolle beschrieben. Hersteller von Kunststoff-Dränelementen, die diese Anforderungen erfüllen und die Eigenschaften normgerecht ermittelt haben, dürfen ihre Produkte mit einem CE-Zeichen kennzeichnen. Damit soll dem Anwender die Möglichkeit gegeben werden, die Produkte auf einheitlicher Grundlage vergleichen und bewerten zu können.

Die Anforderungen der Norm an die Beständigkeit gewährleisten jedoch ausdrücklich nur eine Funktionsdauer von mindestens 25 Jahren. Zum Nachweis längerer Funktionsdauern sind weitergehende Untersuchungen erforderlich. In der Norm fehlt, vielleicht deshalb, auch ganz die Prüfung des Langzeitverhaltens unter einer dauerhaften Druck-Scherbeanspruchung und deren Rückwirkung auf das Wasserableitvermögen, einer Beanspruchung, die typisch für die langen und steilen Böschungen von Deponie-Oberflächenabdichtungen ist. Nach dieser Norm gekennzeichnete Produkte sind daher zunächst nur für eine geotechnische Anwendung geeignet, deren Funktionsdauer begrenzt ist oder bei der das Kunststoff-Dränelement kontrolliert und mit vertretbarem Aufwand repariert oder ersetzt werden kann.

Bei endgültigen Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten ist dies in der Regel jedoch nicht der Fall. Ein Eignungsnachweis für Kunststoff-Dränelemente, die im Deponiebau oder bei der Altlastensicherung eingesetzt werden, muss daher über die Anforderungen der Norm hinausgehen⁵. Vor allem die Langzeit-Scherfestigkeit und das Langzeit-Wasserableitvermögen, die beiden eigentlich wesentlichen Eigenschaften, müssen unter Berücksichtigung von

³ 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.

⁴ GDA-Empfehlung, S. 688, Tabelle 5.4-3, Fußnote.

⁵ 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.“

Alterungsvorgängen, die bei den verwendeten Werkstoffe auftreten können, beurteilt werden. Mit dem Zeitstand-Scherversuch steht ein inzwischen an anderen Geokunststoffen erfolgreich erprobtes Prüfverfahren zur Verfügung, mit dem das Langzeitverhalten untersucht werden kann⁶. Die BAM hat vor diesem Hintergrund versucht, zusammen mit einem Kreis von Experten, eine Prüfrichtlinie für den Eignungsnachweis nach dem Stand der Technik zu erstellen⁷. Wie schon vermutet [5], zeigte sich im Verlauf der Untersuchungen von Kunststoff-Dränelementen, dass Anforderungen dieser Prüfrichtlinie teilweise noch nicht ausreichen oder genauer beschrieben werden müssen (siehe Abschnitt 9.1). Die Prüfrichtlinie kann daher nur als Ausgangspunkt für einen Eignungsnachweis dienen, der verschiedene Probleme produktbezogen behandeln muss, die in der Prüfrichtlinie nur ganz allgemein angesprochen werden. Diesem Gutachten, in dem die Eignung des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG für den Einsatz in endgültigen Deponie-Oberflächenabdichtungen beurteilt wird, ist daher ein ausführlicher Erläuterungsteil beigelegt, in dem auf die Lösung der verschiedenen Probleme eingegangen wird. Die Anlage A1 enthält das Verzeichnis der Unterlagen und Prüfzeugnisse, die nach den Anforderungstabellen der BAM-Prüfrichtlinie erforderlich sind und vom Hersteller eingereicht wurden. Für die Beurteilung werden weiterhin Untersuchungsergebnisse aus einem mehrjährigen Forschungsprojekt an der BAM zur Langzeit-Scherfestigkeit von Bentonitmatten und Kunststoff-Dränelementen herangezogen, das von der Firma Naue Fasertechnik & Co. KG finanziell unterstützt wurde.

Dieser grundsätzliche 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 abzuleiten sind. Diese Probleme sind jedoch überwiegend formaler Natur. Sie

⁶ Müller, W. W., Seeger, S., Thies, M., Gerloff, C.: Long-term shear strength of multilayer geosynthetics. In: Floss, R., Bräu, G., Nußbaumer, M. and Laackmann, K. (Hrsg.), Geotechnical Engineering with Geosynthetics, Proceedings of the Third European Geosynthetics Conference. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGt) und Technische Universität München, Zentrum für Geotechnik (TUM-ZG), München, 2004, S. 429-434.

Seeger, S. und Müller, W. W.: Langzeitbeständigkeit strukturierter Dichtungsbahnen, BAM-Forschungsbericht 256. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH 2001.

⁷ Auf der Internet-Seite www.bam.de/deponietechnik.htm als pdf-Datei abrufbar.

betreffen nicht die prinzipielle Eignung von Kunststoff-Dränelementen. In diesem Gutachten wird versucht, auch dazu Hinweise zu geben.

2. Das Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z

Dieses Kunststoff-Dränelement, das ca. 2 m breit und ausgerollt in der Regel 35 m lang ist, besteht aus folgenden Komponenten (Abb. 2.1):



Abb. 2.1: Ausschnitt aus dem Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z.

2.1 Filterschicht

Als Filterschicht wird ein vernadelter, ca. 200 g/m² schwerer Vliesstoff R201Z aus weißen PP-Stapelfasern verwendet. Die Fasern mit der Feinheit von ca. 6,7 dtex werden aus den PP-Formmassen Sabic PP 520 P der Firma Firma Sabic EuroPetrochemicals B. V., P.O. Box 5151, 6130 PD Sittard, The Netherlands oder Resin 101-AX12 der Firma BP Chemicals, Amocolaan, 2440 Geel, Belgien, extrudiert. Bei der Herstellung der Fasern durch die Firma Heinrich Reinhold GmbH & Co. KG, Hofer Straße 23, D-95152 Selbitz werden weitere Additive über einen Batch zugegeben. Die Angaben zu den Eigenschaften der Formmassen (Molekülmassenverteilung, Spezifikation von Schmelzindex und Dichte, Additive) sowie die Rezeptur des Batches sind bei der BAM vertraulich hinterlegt.

Die Fasern werden auch für die Herstellung des Vliesstoffs Secutex RZ1331 verwendet, der als geotextile Komponente von Schutzschichten für Kunststoffdichtungsbahnen unter der Nummer 08/BAM 8.3/10/94 von der BAM zugelassen wurde.

2.2 Dränkern

Der Dränkern besteht aus einem welligen, ca. 600 g/m² schweren Wirrgelege aus PP-Strängen WD601Z (Abb. 2.1 und Abb. 2.2). Zur Herstellung des Wirrgeleges werden flüssige PP-Stränge aus einem Spinnbalken extrudiert und auf einer Walze mit wellenförmiger Oberfläche abgelegt, die sich im Wasserbad dreht.

Das Wirrgelege wird aus der PP-Formmasse Sabic PP PHC31 der Firma Sabic EuroPetrochemicals B. V., P.O. Box 5151, 6130 PD Sittard, The Netherlands hergestellt (Anlage A1-2). Dabei werden die Stränge über einen Rußbatch eingefärbt und mit einem Antioxidantienbatch stabilisiert. Die Angaben zu den Eigenschaften der Formmassen (Molekülmassenverteilung, Spezifikation von Schmelzindex und Dichte, Additive) sowie die Rezepturen der Batches sind bei der BAM vertraulich hinterlegt.

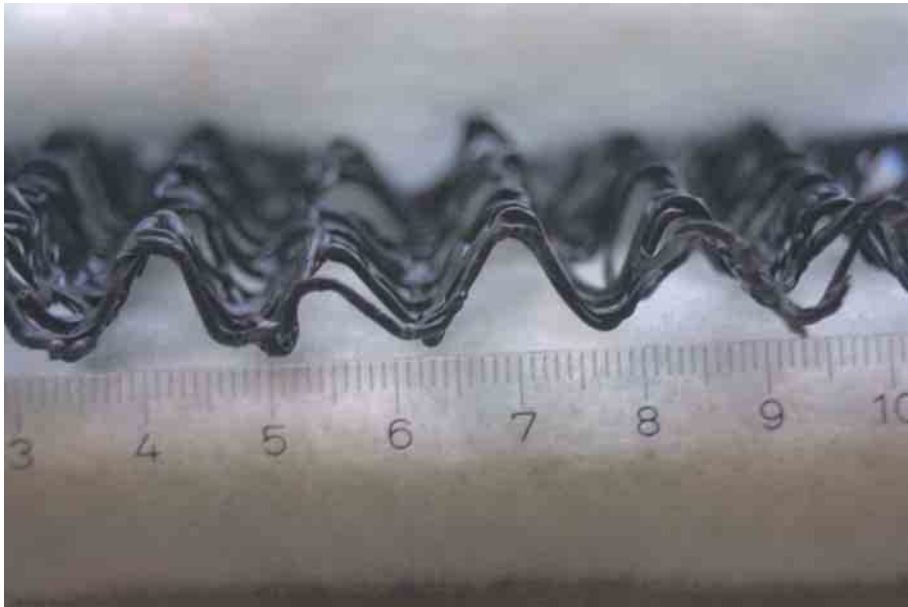


Abb. 2.2: Der Dränkern besteht aus einem wellenförmigen Wirrgelege.

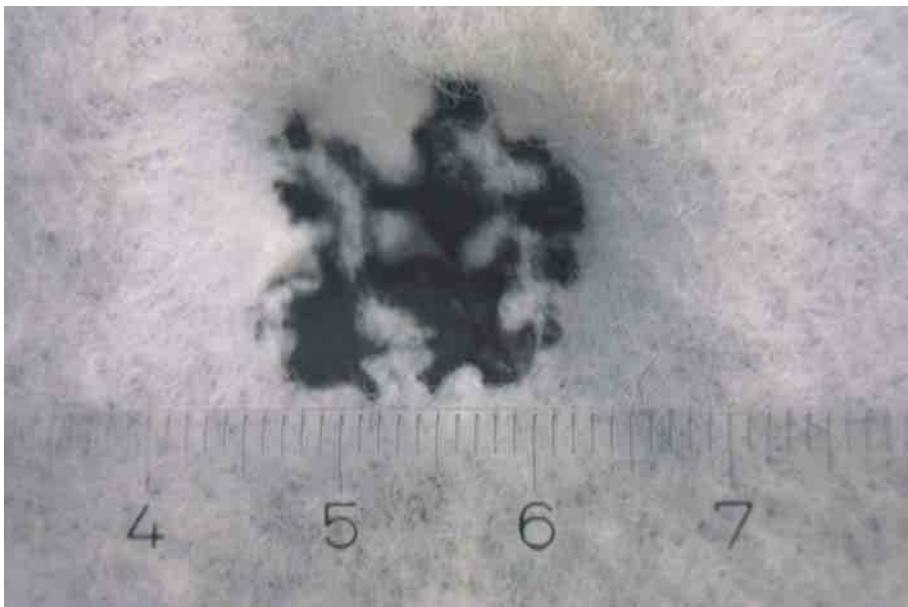


Abb. 2.3: Filter- und Schutzvliesstoff sind untereinander und mit dem Dränkern in einem rechteckigen Raster von Schweißpunkten verschmolzen.

2.3 Schutzschicht

Als Schutzschicht wird ebenfalls der oben beschriebene Vliesstoff verwendet.

2.4 Verbindung der Komponenten

Die Verbindung der Komponenten wird durch das punktförmige Verschweißen der beiden Vliesstoffe mit dem Dränkern mit einem Ultrahochfrequenz-Schweißverfahren hergestellt. Die Schweißpunkte haben einen Durchmesser von ca. 1,6 – 1,8 cm (Abb. 2.3) und bilden ein rechteckiges Gitter. Auf dem Schweißbalken sind 28 Schweißelemente in unterschiedlichem Abstand von 3 – 8 cm montiert. Entsprechend angeordnet sind die Schweißpunkte in einer quer über das Dränelement verlaufenden Reihe. Der Abstand der Reihen beträgt fertigungsbedingt 20 – 30 cm. Die größte, einem Schweißpunkt zugeordnete Fläche beträgt daher 240 cm², die mittlere Fläche 138 cm².

Sowohl das fertige Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z wie auch die oben beschriebenen Komponenten werden im Werk 08626 Adorf, Markneukirchner Straße 2-4 der Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG produziert (Anlage A1-3). Die Rollen sind verpackt und mit einem Etikett gekennzeichnet.

In der Anlage A1-1 befindet sich das Datenblatt der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG und die zugehörige Konformitätserklärung, in der Anlage A1-9 das CE-Begleitdokument.

Bei der Herstellung einer vollflächigen Dränschicht auf der Deponiebaustelle werden die Dränelemente in Längsrichtung auf Stoß (Abb. 2.5) und in Querrichtung überlappend verlegt. Dabei dürfen keine Kreuzstöße auftreten. Die genauen konstruktiven und bautechnischen Angaben zur Herstellung von Stößen und Überlappungen finden sich in der Verlegeanleitung des Herstellers (Anlage A1-8).

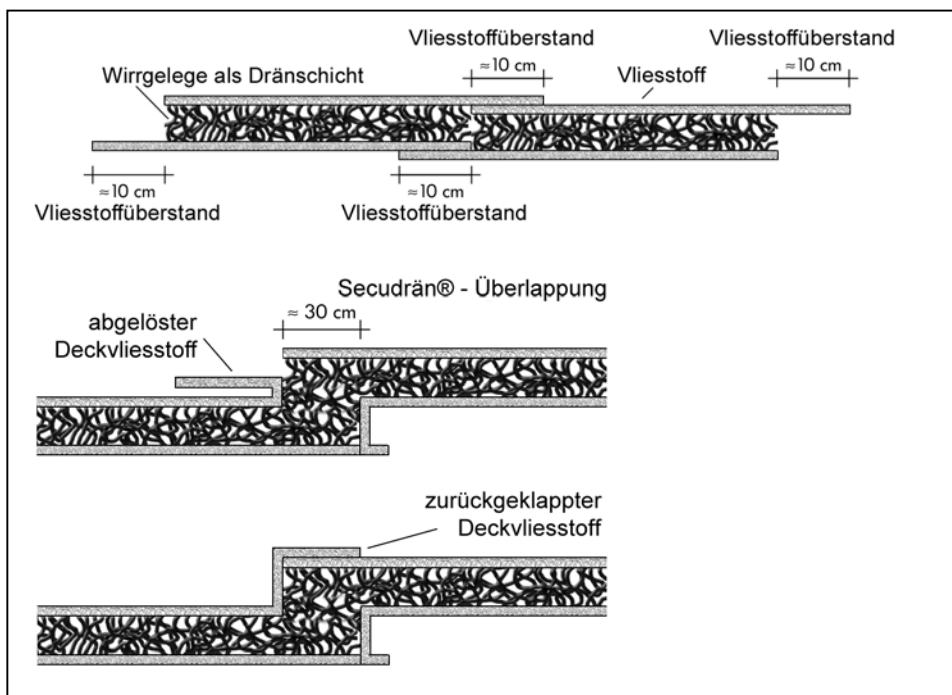


Abb. 2.5: Schematische Darstellung (aus der Verlegeanleitung) der Längsstöße (oben) und Querstöße (unten).

3. Das Langzeit-Wasserableitvermögen

3.1 Allgemeines

Dränkörper aus Kunststoff zeigen ein mehr oder weniger deutlich ausgeprägtes visko-elastisches Verformungsverhalten: Unter einer dauerhaft wirksamen Druckbeanspruchung verringert sich die Dicke des Dränelements. Eine zusätzliche Scherkraft kann diesen Vorgang erheblich beschleunigen. Mit der Dickenverringerung ist im allgemeinen eine Reduzierung des Wasserableitvermögens verbunden. Um das nach langer Zeit noch vorhandene Wasserableitvermögen q_{LZ} zu bestimmen, muss daher diese Kriechverformung ermittelt und ihre Auswirkung quantitativ abgeschätzt werden.

Das sogenannte Kriechen ist eine natürliche Eigenschaft des intakten polymeren Werkstoffs. Über lange Zeiträume können jedoch Alterungsvorgänge den Werkstoff selbst und dessen Kriechverhalten dramatisch verändern. Die im folgenden angestellten Überlegungen sind daher nur zulässig, wenn zusätzlich gezeigt wird, dass Alterungsvorgänge über den Extrapolationszeitraum (10^6 Stunden oder 114 Jahre) keine Rolle spielen. Die Beständigkeit und die Langzeit-Scherfestigkeit des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z werden deshalb im nächsten Abschnitt diskutiert.

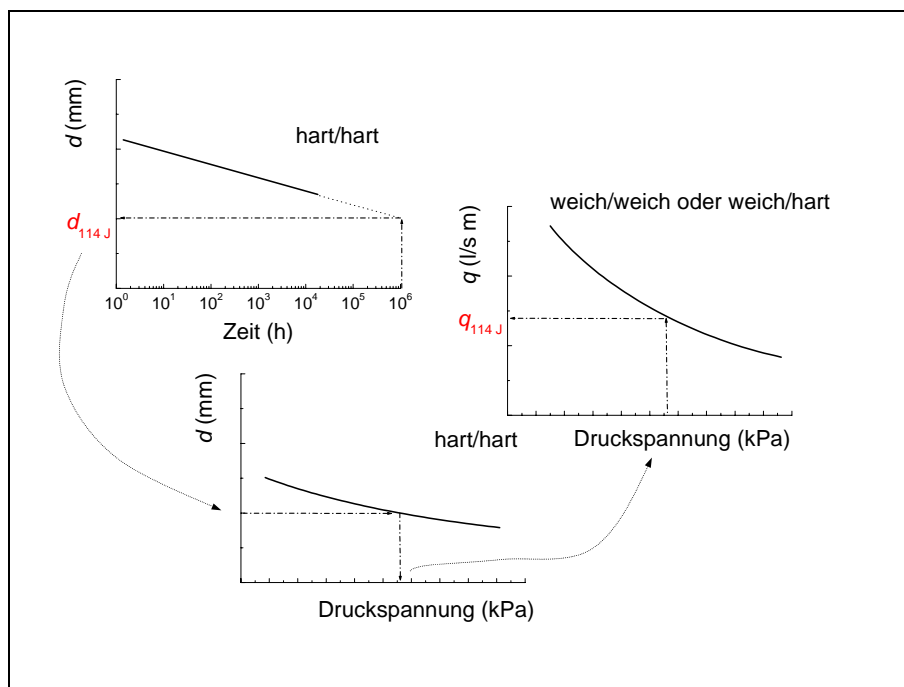


Abb. 3.1: Schematische Darstellung des hier gewählten Verfahrens zur Bestimmung des Langzeit-Wasserableitvermögens bei unterschiedlichen Bettungsverhältnissen (siehe Abschnitt 9.2). Man beachte: Die Extrapolation der Kriechkurve ist nur dann zulässig, wenn gezeigt wurde, dass Alterung über den Zeitraum, über den extrapoliert wird, keine relevanten Materialveränderungen hervorrufen kann.

3.2 Das Langzeit-Wasserableitvermögen des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z

Die folgende Tabelle 3.1 zeigt das Wasserableitvermögen, das in Anlehnung an DIN EN ISO 12958 in Abhängigkeit von der Druckspannung, der Bettung und den hydraulischen Gradienten

gemessen wurde (Prüfberichte Nr. 1.1/22030/87-2002, 1.1/22030/87.1-2002 und 1.1/22030/33-2004 der tBU GmbH).

Diese Werte gilt es nach dem Verfahren, das in Abb. 3.1 illustriert und im Abschnitt 9.2 näher erläutert wird, zu korrigieren, um das zugehörige Langzeit-Wasserleitvermögen zu ermitteln.

Tabelle 3.2: Wasserableitvermögen in Anlehnung an DIN EN ISO 12958

Wasserableitvermögen ($\text{m}^2/\text{s} = 10^3 \text{ l}/(\text{m} \cdot \text{s})$)				
	$i = 0,05$	$i = 0,1$	$i = 0,3$	$i = 1,0$
hart/hart				
20 kPa	$4,3 \cdot 10^{-4}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$13 \cdot 10^{-4}$	$27 \cdot 10^{-4}$
50 kPa	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-4}$	$8,9 \cdot 10^{-4}$	$19 \cdot 10^{-4}$
weich/hart				
20 kPa	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$4,6 \cdot 10^{-4}$	$9,0 \cdot 10^{-4}$	$19 \cdot 10^{-4}$
50 kPa	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$5,7 \cdot 10^{-4}$	$12 \cdot 10^{-4}$
weich/weich				
20 kPa	$0,59 \cdot 10^{-4}$	$0,87 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$
50 kPa	$0,27 \cdot 10^{-4}$	$0,41 \cdot 10^{-4}$	$0,86 \cdot 10^{-4}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$

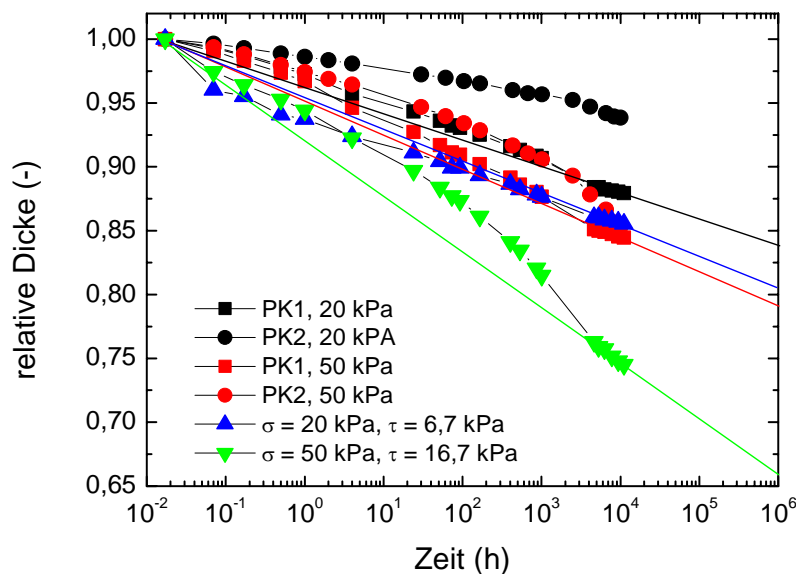


Abb. 3.2: Änderung der relativen Dicke, d.h. der gemessenen Dicke bezogen auf die Dicke nach einer Minute, als Funktion der Zeit bei verschiedenen mechanischen Beanspruchungen und der Bettung hart/hart. Bei der Druckbeanspruchung wurden die Kriechkurven von zwei Probekörpern (PK1 und PK2) bestimmt. Man beachte, dass die Ordinate bei einer relativen Dicke von 0,65 beginnt.

Abb. 3.2 zeigt die Kriechkurven bei einer reinen Druckspannung von 20 kPa bzw. 50 kPa sowie bei einer Druck-Scherbeanspruchung aus 20 kPa Druckspannung und 6,7 kPa Scherspannung bzw. 50 kPa Druckspannung und 16,7 kPa Scherspannung. Dies entspricht der Belastung in einer Böschung mit einer Neigung von 1:3 bzw. 18° bei einer Auflast von etwa 2 t bzw. 5 t pro Quadratmeter Böschungsfäche. Aufgetragen wurde die relative Dicke mit der Ausgangsdicke

nach 0,017 h (= 1 min) als Bezugsgröße. Die Daten wurden den Prüfberichten Nr. 1.1/22030/499-2002 und Nr. 1.1/22030/191.1-2002 der tBU GmbH entnommen.

Bislang wurden noch keine einheitlichen Regeln zur Extrapolation solcher Daten aufgestellt. Die Datenbasis, über welche die Hersteller verfügen, ist bislang zumeist recht schmal. Auch bei der Auftragung der relativen Dicken mit einem gemeinsamen Bezugspunkt, streuen die hier zu analysierenden Daten noch relativ stark. Erst im Zeitbereich ab 10^3 h ergibt sich näherungsweise ein exponentieller Verlauf. Die in die Abbildung eingezeichneten Geraden geben daher den „nach Augenmaß“ vorsichtig abgeschätzten weiteren Kurvenverlauf an.

Danach würde man nach 10^6 Stunden (= 114 Jahre) für eine reine Druckspannung von 20 kPa bei mindestens etwa 83 % eines repräsentativen Ausgangswertes der Dicke und für 50 kPa bei etwa 79 % landen. Für eine Druck-Scherspannung mit 20 kPa Druckkomponente und 6,7 kPa Scherkomponente sind es 80 % und mit 50 kPa Druckkomponente und 16,7 kPa Scherkomponente sind es noch 66 %. In den Versuchen wurden folgende Dicken nach 0,017 h (= 1 min) bei 20 kPa und 50 kPa festgestellt: 10,96 mm, 11,81 mm, 11,54 mm, Mittelwert: 11,4 mm, Standardabweichung 0,4 mm, bzw: 10,61 mm, 10,59 mm 10,94 mm, Mittelwert: 10,7 mm, Standardabweichung 0,2 mm. Dies stimmt mit den Dickenmessungen in Anlehnung an die Norm DIN EN 964 T 1 überein ($11,7 \pm 0,1$ mm und $10,2 \pm 0,3$ mm), siehe Prüfbericht Nr. 1.1/22030/87-2002 der tBU GmbH. Mit den Mittelwerten minus Standardabweichung als repräsentative Ausgangswerte wären also die Enddicken nach 114 Jahren mit 9,1 mm, 8,3 mm, 8,8 mm und 6,9 mm bei den unterschiedlichen Belastungen abzuschätzen (Tabelle 3.2). Die Spannungen, die erforderlich sind, um diese Enddicken einzustellen, liest man aus Abb. 3.3 ab: 73 kPa, 91 kPa, 80 kPa, 129 kPa (Tabelle 3.2).

Aus der Messung des Wasserableitvermögens als Funktion der Dicke erhält man durch lineare Interpolation unmittelbar das Langzeit-Wasserableitvermögen für die Bettung hart/hart, siehe Tabelle 3.2..

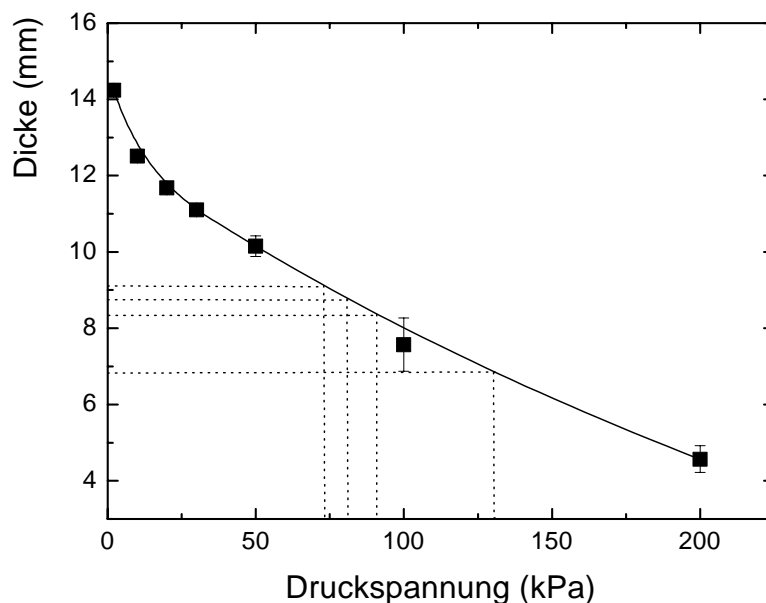


Abb. 3.3: Die Dicke des Kunststoff-Dränelements als Funktion der Druckspannung bei der Bettung hart/hart, gemessen in Anlehnung an DIN EN 964 T 1 (Prüfbericht Nr. 1.1/22030/87-2002 der tBU GmbH).

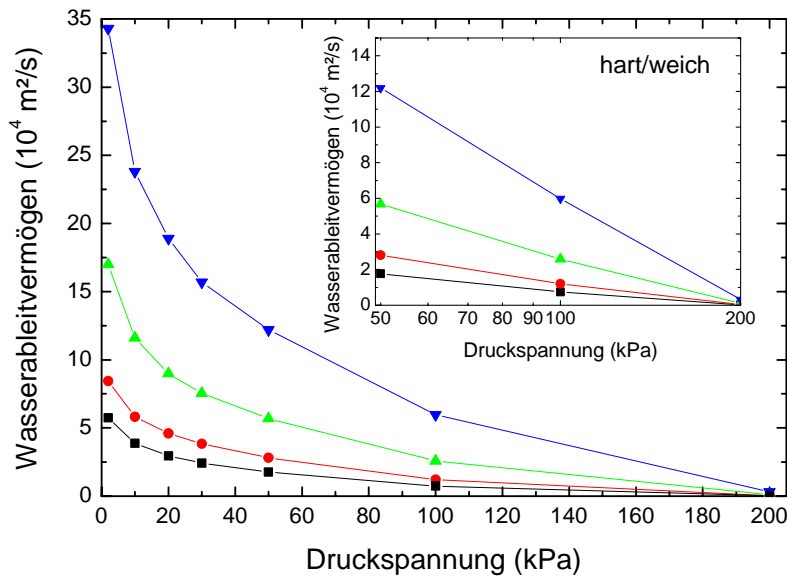


Abb. 3.4: Wasserableitvermögen des Kunststoff-Dränelements als Funktion der Druckspannung bei verschiedenen hydraulischen Gradienten (0,05, 0,1, 0,3 und 1). Geprüft wurde in Anlehnung an DIN EN ISO 12958 (Prüfbericht Nr. 1.1/22030/87.1-2002 der tBU GmbH) mit der Bettung hart/weich. Das eingesetzte Diagramm zeigt einen vergrößerten Ausschnitt mit einer logarithmischen Druckspannungsskala.

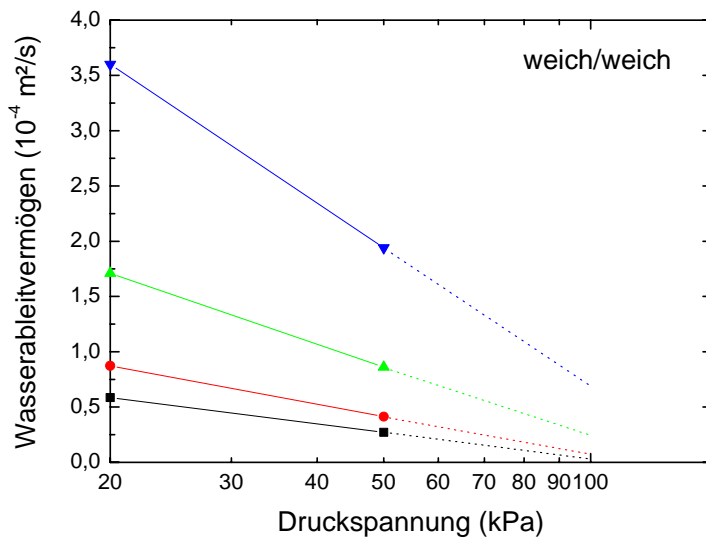


Abb. 3.5: Das Wasserableitvermögen des Kunststoff-Dränelements als Funktion des Logarithmus der Druckspannung. Geprüft wurde in Anlehnung an DIN EN ISO 12958 mit der Bettung weich/weich (Prüfbericht Nr. 1.1/22030/33-2004 der tBU GmbH).

Tabelle 3.2: Durch allmähliches Kriechen bedingte Dickenänderungen und zugehörige Druckspannungen, mit denen diese Dickenänderung im Kurzzeitversuch erreicht wird.

Beanspruchung	20 kPa	50 kPa	20 kPa, 1:3	50 kPa, 1:3
Enddicke (114 Jahre)	9,1 mm	8,3 mm	8,8 mm	6,9 mm
Bezogen auf Ausgangsdicke	83 %	79 %	80 %	66 %
Zugehörige Druckspannung	73 kPa	91 kPa	80 kPa	129 kPa

Tabelle 3.3: Abgeschätztes Langzeit-Wasserleitvermögen q_{LZ} . (Kursiv gesetzte Werte sind für die Anwendung nicht relevant.)

Wasserleitvermögen ($m^2/s = 10^3 l/(m \cdot s)$)				
	$i = 0,05$	$i = 0,1$	$i = 0,3$	$i = 1,0$
hart/hart				
20 kPa	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$6,0 \cdot 10^{-4}$	$12,8 \cdot 10^{-4}$
50 kPa	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$
20 kPa, 6,7 kPa	$1,6 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$5,1 \cdot 10^{-4}$	$11,2 \cdot 10^{-4}$
50 kPa, 16,7 kPa	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,8 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$
weich/hart				
20 kPa	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-4}$
50 kPa	$0,9 \cdot 10^{-4}$	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$6,8 \cdot 10^{-4}$
20 kPa, 6,7 kPa	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$
50 kPa, 16,7 kPa	$0,5 \cdot 10^{-4}$	$0,75 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
weich/weich				
20 kPa	$0,14 \cdot 10^{-4}$	$0,22 \cdot 10^{-4}$	$0,52 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-4}$
50 kPa	$0,06 \cdot 10^{-4}$	$0,12 \cdot 10^{-4}$	$0,32 \cdot 10^{-4}$	$0,9 \cdot 10^{-4}$
20 kPa, 6,7 kPa	$0,11 \cdot 10^{-4}$	$0,17 \cdot 10^{-4}$	$0,44 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
50 kPa, 16,7 kPa	-	-	-	-

Abb. 3.4 zeigt die Abhängigkeit des Wasserleitvermögens von der Spannung für die Bettung hart/weich und Abb. 3.5 für die Bettung weich/weich. Durch eine lineare Interpolation über den logarithmisch aufgetragenen Spannungswerten kann man an Hand dieser Abbildungen den Spannungswerten in Tabelle 3.2 Werte für das Wasserleitvermögen zuordnen. Diese Werte für q_{LZ} bei den Bettungen hart/weich und weich/weich sind in Tabelle 3.3 aufgelistet. Die Werte der Tabelle 3.3 sind in der Abb. 3.6 grafisch dargestellt.

Aus der Tabelle 3.3 oder der Abb. 3.6 lässt sich ablesen, dass bei reiner Druckbeanspruchung das extrapolierte Langzeit-Wasserleitvermögen nur etwa halb so groß ist, wie das im Kurzzeitversuch bestimmte Wasserleitvermögen. Eine zusätzliche Scherspannungskomponente, wie sie bei einer Böschungsneigung von 1:3 entsteht, verringert das Wasserleitvermögen wiederum etwa um die Hälfte. Die Unterschiede des Wasserleitvermögens bei einer Bettung hart/hart zu einer Bettung hart/weich sind relativ gering. Die Werte bei der Bettung hart/weich sind ungefähr um einen Faktor 0,75 kleiner. Eine drastische Reduzierung des Wasserleitvermögens um etwa den Faktor 0,1 ergibt sich aber bei der Bettung weich/weich. Bei 50 kPa Druckspannung und 16,7 kPa Scherspannung käme man bei der Extrapolation hier sogar in einen Bereich, wo nur ein sehr kleines Wasserleitvermögen vorhanden wäre.

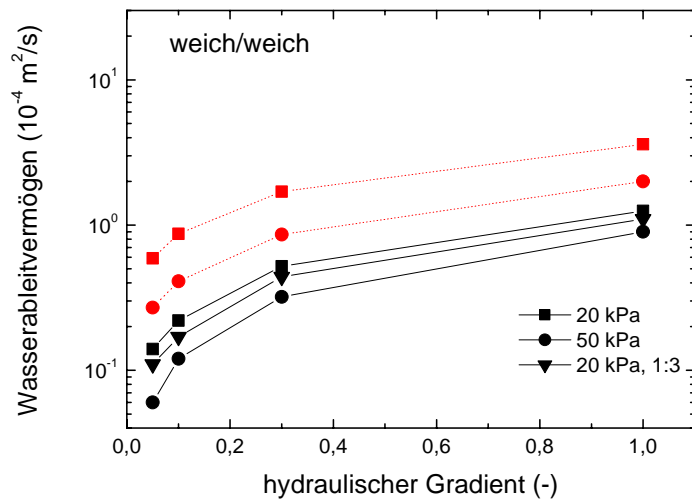
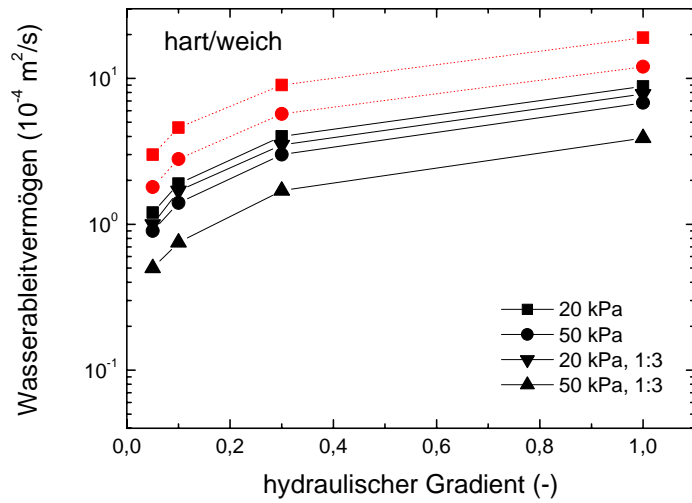
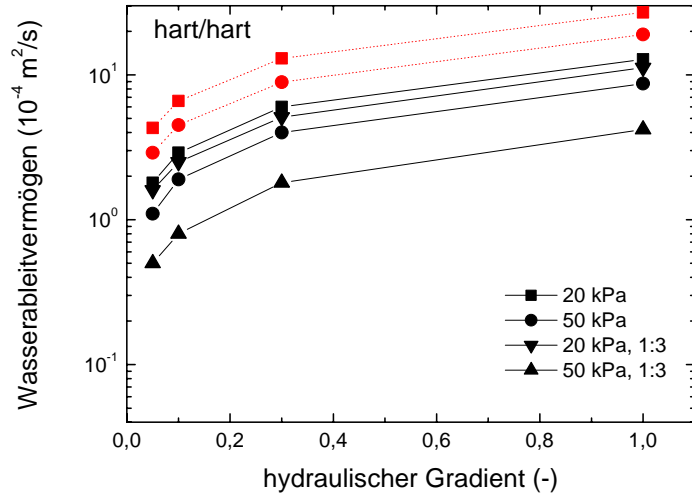


Abb. 3.6: Graphische Darstellung der in Tabelle 3.3 angegebenen Werte für das Langzeit-Wasserleitvermögen (schwarz, durchgezogen) bei verschiedenen mechanischen Beanspruchungen, hydraulischen Gradienten und Bettungen im Vergleich zu den Kurzzeitwerten (rot, gestrichelt).

3.3 Entwässerungslängen

Ob die hydraulische Leistungsfähigkeit eines Kunststoff-Dränelements für den Deponiebau ausreicht, lässt sich an Hand der noch zulässigen Entwässerungslängen unter deponietypischen Einwirkungen beurteilen. Für die Bemessung wird dabei der vereinfachte Ansatz gemacht, dass das um gewisse Faktoren abgeminderte Langzeit-Wasserableitvermögen q_{LZ} bei einem hydraulischen Gradienten, der gerade der Böschungsneigung entspricht, mindestens so groß sein muss, wie der gesamte Sickerwasserzufluss, also wie das Produkt aus Sickerwasserspende q_S und Böschungslänge L . Dabei wird q_{LZ} mit Abminderungsfaktoren für die Produkteigenschaften (Teilsicherheitsbeiwerte für den Materialwiderstand) und q_S mit Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen unter Baustellenbedingungen modifiziert. Dieses Bemessungskonzept wird im Abschnitt 9.3 diskutiert.

Bei der Ermittlung des Langzeit-Wasserableitvermögens wurde die Streuung in den Messwerten und der Fehler in der Extrapolation nicht berücksichtigt, da die dafür erforderlichen Datenmengen nicht vorhanden sind. Die Streuung in der Messung des Wasserableitvermögens ist erfahrungsgemäß klein. Da der Effekt des Kriechens ebenfalls relative gering ist, wird auch der Fehler im Abschätzen dieses Effekts nicht sonderlich ins Gewicht fallen. Man kann diesen Fehler pauschal berücksichtigen, in dem man einen Abminderungsfaktor 1,2 einführt. Im Bereich von Überlappungen, Stößen und Anschlüssen kann sich eine zusätzlich lokale Verringerung des Wasserableitvermögens ergeben, die sich jedoch insgesamt auf die hydraulische Leistungsfähigkeit auswirken kann [6]. Bei einwandfrei eingebauten Kunststoff-Dränelementen sollte dieser Effekt allerdings gering sein. In der EAD-Drän wird eine pauschale Abminderung des Langzeit-Wasserableitvermögens um den Faktor 1,2 empfohlen. Mit diesen beiden Abminderungsfaktoren für den Materialwiderstand erhält man den folgenden Ansatz für die Berechnung noch zulässiger Entwässerungslängen:

$$(3.1) \quad L = \frac{q_{LZ}}{(1,2 \cdot 1,2)} / q_S$$

Tabelle 3.4: Noch zulässige Entwässerungslängen (ohne Berücksichtigung von Sammlern)

Bettung	Plateau, $i = 0,05$, Normalspannung		Böschung, $i = 0,3$, Normalspannung	
	20 kPa	50 kPa	20 kPa	50 kPa
	10 mm/d			
hart/weich	720 m	540 m	2100 m	1020 m
weich/weich	84 m	36 m	264 m	-
	25 mm/d			
hart/weich	288 m	216 m	840 m	408 m
weich/weich	34 m	14 m	106 m	-

In Tabelle 3.4 sind Entwässerungslängen, die nach Gl. 3.1 mit Secudrän® R201Z WD601Z R201Z erreicht werden können, für den Fall einer Dränspende von 10 mm/d (gilt nach der GDA-Empfehlung als typischer Wert, der an 99 % aller Tage unterschritten wird) und 25 mm/d (gilt als Tagesspitzenwert) mit den Werten des Langzeit-Wasserableitvermögens aus Tabelle 3.3 berechnet. Auf die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen, die beim Ansatz einer Dränspende noch zu berücksichtigen wären, wird im Abschnitt 9.3 eingegangen. Die Längen

der Tabelle 3.4 müssten durch diese Beiwerte noch dividiert werden.

Man sieht dennoch, dass das Langzeit-Wasserableitvermögen des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z für übliche Verhältnisse bei Oberflächenabdichtungen ausreicht. Nach den vorliegenden Daten muss man beim gewählten Extrapolationsverfahren (Abb. 3.1) aber schlussfolgern, dass für den sehr speziellen Fall, wo der Abfluss von Sickerwasser auf einer Böschungen mit sehr hoher Auflast (50 kPa) bei weicher Unterlage und weicher Deckschicht gewährleistet werden muss, dieses Dränelement nicht ohne zusätzliche genauere Untersuchungen verwendet werden sollte.

3.4 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich also sagen: die Entscheidung, welche Bettungsverhältnisse vorhanden sind, und die Auswahl der Abminderungsfaktoren für den Materialwiderstand und der Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen, hat einen wesentlich größeren Einfluss auf die Ermittlung des Langzeit-Wasserableitvermögens, als die Kriecheffekte, selbst bei einer Kombination aus Druck- und Scherbeanspruchung. Aber auch wenn man die Unsicherheiten in der Entscheidung über Bettungsverhältnisse und Auswahl von Faktoren berücksichtigt, sollte das Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z in all den Fällen geeignet sein, wo offensichtlich eine Bettung hart/hart oder hart/weich vorhanden ist. In allen anderen Fällen sind genauere Untersuchungen unter Berücksichtigung der Bedingungen des einzelnen Bauwerks erforderlich.

Die Datenbasis, auf deren Grundlage die Abschätzung des Kriechens auf das Wasserableitvermögen erfolgt, ist ziemlich schmal. Der Hersteller sollte hier noch weitere Daten messen. Da der Effekt des Kriechens jedoch relative gering ist, wird der Fehler im Abschätzen dieses Effekts nicht sonderlich ins Gewicht fallen. Oben wurde dafür ein Abminderungsfaktor von 1,2 angesetzt, auf den bei einer verbesserten Datenbasis verzichtet werden kann.

Aus der sehr großen Auswirkung, die die Bettungsverhältnisse auf das Wasserableitvermögen haben, folgt aber auch, dass zu große mechanische Beanspruchungen beim Einbau der Rekultivierungsschicht die Funktionstüchtigkeit des Kunststoff-Dränelements bereits stark beeinträchtigen können. Der Hersteller Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG verfügt über Daten aus Feldversuchen und über Ausgrabungsergebnisse, die zeigen, dass das Kunststoff-Dränelement einwandfrei eingebaut werden kann. Aus diesen Erfahrungen sollten Anforderungen an den Einbau abgeleitet werden [7-9]. Dort, wo Unsicherheit in der Beurteilung der Auswirkungen der Einbaubeanspruchungen bestehen, müssen Feldversuche durchgeführt werden.

4. Die Langzeit-Scherfestigkeit

In der Tabelle 3 der BAM-Prüfrichtlinie werden Prüfungen zur Beständigkeit der einzelnen Komponenten der Kunststoff-Dränelemente aus der Norm DIN EN 13252 zusammengestellt. Ergänzt werden diese Prüfungen durch eine Index-Prüfung zur Spannungsrissbeständigkeit (prEN 14576), die bei speziellen Dränkörpern notwendig sein kann. All diese Prüfungen können jedoch nur eine Mindest-Funktionsdauer von 25 Jahren absichern. Für die Begutachtung sind daher weitergehende Untersuchungen erforderlich, die mit Hilfe der Scherzeitstände durchgeführt werden. Bei Kunststoff-Dränelementen aus polyolefinen Werkstoffen werden diese Langzeitprüfungen von Messungen der Oxidations-Induktionszeit begleitet. Bei einem raschen Abfall der OIT-Werte muss der Einfluss der Oxidationsbedingungen durch Warmlagerungen in

Luft geklärt werden. Die anderen in der Tabelle genannten Prozesse (mikrobieller Abbau oder Hydrolyse) sind hier nicht relevant.

4.1 Beständigkeit der einzelnen Komponenten, insbesondere Witterungsbeständigkeit

Das Prüfzeugnis für die Oxidationsbeständigkeit des Vliesstoffs nach DIN V ENV 13438 findet sich in der Anlage A1-15. Dieser beim Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z sowohl als Filter wie auch als Schutzschicht verwendete Vliesstoff wird auch als Schutzschicht für Kunststoffdichtungsbahnen und als Deckgeotextil von Bentonitmatten eingesetzt. In diesem Zusammenhang wurde die oxidative Beständigkeit sowohl bei der Zulassung als Schutzvliesstoff (siehe BAM-Zulassung 08/BAM 8.3/10/94) wie auch bei der Begutachtung der Langzeit-Scherfestigkeit der Bentonitmatte Bentofix® B 4000 (siehe BAM-Gutachten, Aktenzeichen IV.32/1312/03) sehr intensiv untersucht. Hier sei insbesondere auf dieses Bentonitmatten-Gutachten verwiesen. Der Vliesstoff zeigte bei diesen Untersuchungen eine sehr hohe Oxidationsbeständigkeit, die extrem lange Funktionsdauern erwarten lässt [10].

Der UV-Anteil aus der Strahlung der Sonne führt immer zu einer schwerwiegenden Beanspruchung der Geokunststoffe, da - neben anderen Effekten - UV-Strahlung mit hoher Effizienz oxidative Reaktionen in Gang setzen kann (Photo-Oxidation). Die Witterungsbeständigkeit des dem Wetter ausgesetzten Filtervliesstoffs wurde sowohl an der BAM wie auch an anderer Stelle nach der Norm DIN EN 12224 geprüft (siehe Anlage A1-16). Die Witterungsbeständigkeit des Vliesstoffs kann danach als „hoch“ klassifiziert werden. Unter den in der Norm vorgeschriebenen künstlichen Bewitterungsbedingungen zeigten sich jedoch schon Hinweise auf eine nach der Norm zwar zulässige, aber dennoch merkliche Festigkeitsabnahme. Man kann daher nicht ausschließen, dass in gewissem Umfang schon Oxidationsvorgänge in Gang gekommen waren. Wird das Stabilisatorsystem durch die Einwirkung der UV-Strahlung beeinträchtigt oder haben sich dabei bereits reaktive Oxidationsprodukte gebildet, dann bleiben auch nach Ausschalten der UV-Strahlung Nachwirkungen, die erheblichen Einfluss auf die Funktionsdauer haben. Um diese Nachwirkungen zu quantifizieren, wären allerdings spezielle Untersuchungen erforderlich. Daraus folgt, dass das Kunststoff-Dränelement möglichst verlegtäglich oder jedenfalls nach einigen Tagen abgedeckt werden sollte, wenn die mögliche, extrem lange Funktionsdauer auch tatsächlich erreicht werden soll. Keinesfalls darf es einen Monat lang frei der Bewitterung ausgesetzt auf der Abdichtungsfläche liegen, wie dies nach den europäischen Normen bei einer hohen Witterungsbeständigkeit zulässig wäre. Es gibt keine Untersuchung, die belegt, dass bei einer solchen Bewitterungsdauer Rückwirkungen auf die oxidativen Alterungsprozesse in den Geotextilien noch vernachlässigbar sind.

Eine Untersuchung der Transmission von Licht durch den Filtervliesstoff (siehe Abschnitt 9.4) zeigt, dass auch der Dränkern noch in gewissem Umfang durch UV-Strahlung belastet wird. Der Dränkern ist durch die Beimischung von Ruß, einem sehr wirksamen Stabilisator, gegen UV-Licht geschützt. Eine vergleichbare Überprüfung der Witterungsbeständigkeit von Vliesstoff und Dränkern-Wirrgelege ist jedoch nach dem üblichen Verfahren kaum möglich, da mechanische Kennwerte, von denen bekannt ist, dass sie empfindlich auf photo-oxidative Veränderungen reagieren (z. B. Festigkeit und Dehnung bei der Höchstzugkraft), an einem solchen Dränkern nicht gemessen werden können. Schon aus diesem Grund empfiehlt es sich, vorbeugend das verlegte Dränelement möglichst rasch abzudecken.

Das Prüfzeugnis über die Oxidationsbeständigkeit nach DIN V ENV ISO 13438 eines aus dem Ausgangswerkstoff gefertigten Dränkerns befindet sich in der Anlage A1-15. Gemessen wurde

dabei die Dickenänderung und der „verbleibende Widerstand gegen das Zusammendrücken“ nach einer Warmlagerung im Umluftofen bei 110 °C über 28 Tage. Die Messung der Oxidations-Induktionszeit bei der Warmlagerung in Wasser und in Luft, wie auch der Zeitstand-Scherversuch, zeigen jedoch, dass das Bestehen der Prüfung DIN V ENV ISO 13438 in der Tat noch nicht hinreichend ist, um eine für die Anwendung in Deponieabdichtungen erforderliche Beständigkeit zu gewährleisten. Der Dränern wurde daher speziell stabilisiert, siehe dazu den Abschnitt 9.5, und erreicht mit dieser Stabilisierung die erforderliche sehr hohe Oxidationsbeständigkeit.

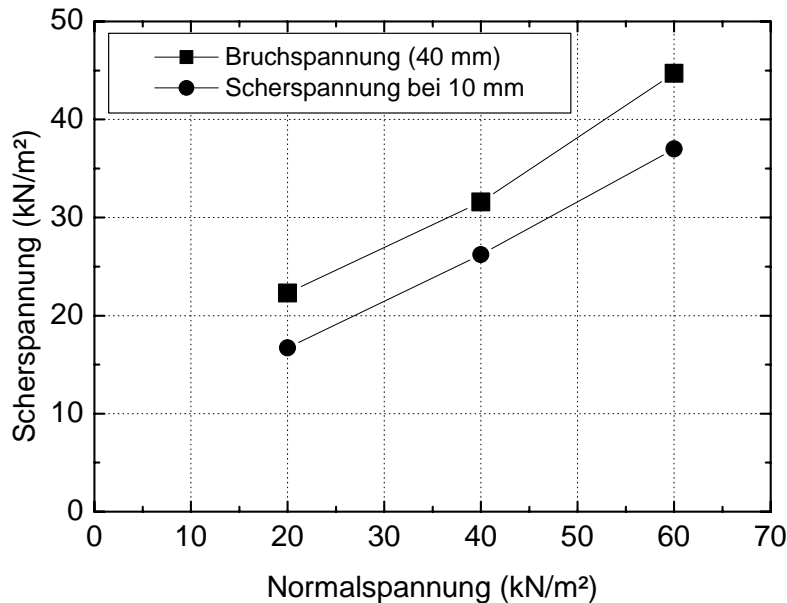


Abb. 4.1: Scherspannung bei 10 mm und 40 mm Verschiebeweg als Funktion der Normalspannung in einem Scherkastenversuch am Kunststoff-Dränelement. Bei 40 mm Verschiebeweg wird das Maximum der Scherspannung erreicht.

4.2 Scherfestigkeit im Scherkastenversuch und im Zeitstand-Scherversuch.

Die innere Scherfestigkeit des Kunststoff-Dränelements bei einer hohen Verformungsgeschwindigkeit wurde in einem Scherkastenversuch nach DIN EN 12957-1 bestimmt (Prüfbericht der tBU GmbH Nr. 1.7/22030/188-2002 vom 14.06.2002.) Dabei wurde ein Probekörper mit der Fläche 30 cm · 30 cm und vier quer zur Verschieberichtung angeordneten Schweißpunkten verwendet. Der Filtervliesstoff und der Schutzvliesstoff wurden auf den jeweiligen Scherkästen fixiert und diese mit einer Geschwindigkeit von 20 mm/h gegeneinander geschert. Die Scherspannung-Verschiebeweg-Kurven zeigen einen ähnlichen Verlauf wie bei den Reibungsversuchen an diesem Kunststoff-Dränelement: Sie steigen innerhalb der ersten 10 mm zunächst steil an, streben allmählich einem Maximalwert bei etwa 40 mm zu und fallen ebenso langsam wieder ab. Der Maximalwert wird im Prüfbericht als Bruchspannung bezeichnet. Abb. 4.1 zeigt die bei den verschiedenen Normalspannungen erreichbaren Bruchspannungen.

Der Scherkastenversuch läuft bei diesem Produkt jedoch auf eine Art „Ausziehversuch“ an den Vliesstoffen hinaus: Die Scherspannung wird bestimmt von der Gleitreibung zwischen Vliesstoffen und Dränkörpern (sowie Reibungspartnern beim Reibungsversuch) und der Zugfestigkeit der in den Schweißpunkten fixierten Vliesstoffe. Diese Verstrecken dabei allmählich im

Bereich der Schweißpunkte. Es gibt also keinen eigentlichen Bruch. Es ist daher naheliegend, für die Beurteilung der Scherfestigkeit die Scherspannung bei einem Verschiebeweg von 10 mm heranziehen, also im Übergangsbereich zum Verstrecken der Vliesstoffe. Die zugehörigen Scherspannungen sind ebenfalls in der Abb. 4.1 dargestellt.

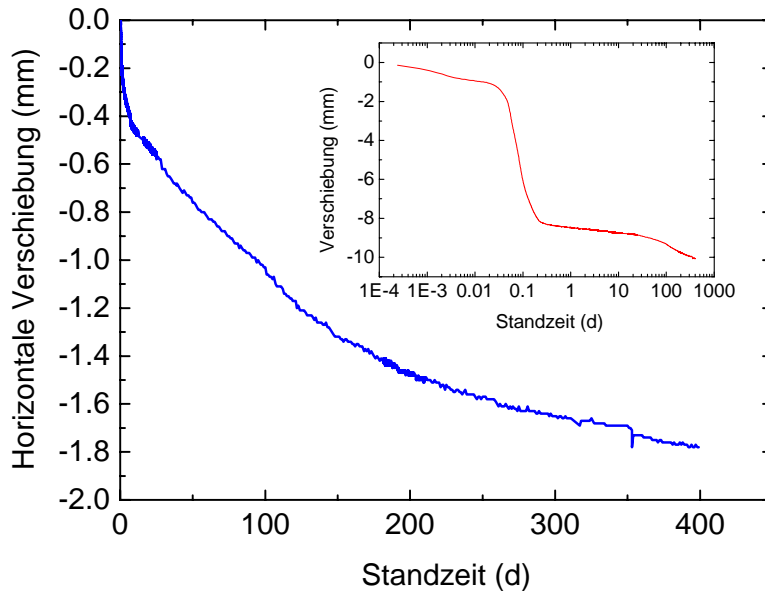


Abb. 4.2: Verlauf der horizontalen Verschiebung des oberen Keiles (siehe Abb. 9.5) beim Zeitstand-Scherversuch. Der Wert nach 8 h - einem Zeitpunkt, zu dem alle Konsolidierungs- und Aufwärmprozesse abgeschlossen sind - wurde dabei auf Null gesetzt. Die eingesetzte Abbildung gibt den unverschobenen Verlauf über der logarithmischen Zeitskala.

Die wirksame Scherspannung bei einer Böschungsneigung von 1:3 und einer Normalspannung von 20 kPa und 50 kPa liegt bei etwa 40 % und 53 % dieser inneren Scherspannung bei 10 mm Verformungsweg und bei etwa 30 % und 44 % des Maximalwertes. Die Kriechkurven unter einer Druck-Scherbeanspruchung (Prüfbericht Nr. 1.1/22030/191.1-2002 der tBU GmbH) zeigen, dass die extrapolierten Verschiebungen bei einer Böschungsneigung von 1:3 und Normalspannungen von 20 kPa und 50 kPa auch nach 100 Jahren einen Wert von 10 mm noch deutlich unterschreiten. Die innere Scherfestigkeit des ungealterten Produkts ist daher ausreichend für Böschungsneigungen im Bereich von 1:3. Für die Beurteilung des Verhaltens auf deutlich steileren Böschungen bräuchte man weiteres Datenmaterial. Beachtet werden muss aber, dass zusätzliche hohe statische und dynamische Scherbeanspruchungen beim Einbau zu Schäden führen können. Um zu klären, ob Alterungsvorgänge diese innere Scherfestigkeit beeinträchtigen, ob also diese in Kurzzeitversuchen (bei Raumtemperatur ist auch ein Versuch mit einer Prüfdauer von einem Jahr immer noch ein ausgesprochener Kurzzeitversuch) gewonnenen Ergebnisse tatsächlich anwendbar sind, wurden Zeitstand-Scherversuche durchgeführt, die im Abschnitt 9.6 genau beschrieben werden.

Es wurden insgesamt 4 Einzelversuche angesetzt. Abb. 4.2 zeigt den typischen Verlauf der horizontalen Verschiebung des oberen Keiles (siehe Abb. 9.5) bei diesen Zeitstand-Scherversuchen. Zunächst finden große Verschiebungen durch Konsolidierungsvorgänge statt, die auch mit dem Aufheizen der Probe auf 80 °C zusammenhängen. Der Verlauf über einer logarithmischen Zeitskala zeigt, dass diese Vorgänge nach ca. 8 h abgeklungen sind. Es setzt dann eine exponentielle

mit der Zeit zunehmende Kriechverformung ein, deren Zeitkonstante sich nach etwa 30 Tagen deutlich erhöht. Extrapoliert man diesen Kurvenast bis zum Zeitpunkt 100 Jahre, so erhält man insgesamt eine horizontale Verschiebung von ca. 4 mm. Daraus errechnet sich eine maximale Verschiebung in der Scherebene von etwa 12 mm. Dies entspricht der Größenordnung nach dem Wert, den man, unter Berücksichtigung der hohen Temperatur, aus den bei Zimmertemperatur gemessenen Kriechkurven abschätzen würde.

Die Versuche wurden nach 400 Tagen beendet und die Proben ausgebaut. Dabei wurde an dem nur vorstabilisierten Dränern zwar eine oxidative Schädigung gefunden, siehe oben Abschnitt 4.1. Die innige Verbindung der Komponenten im Schweißpunkt, aus der die Scherfestigkeit resultiert, war jedoch völlig intakt.

5. Eigenschaften des geotextilen Filters

5.1 Eigenschaften des Vliesstoffs

Der Filter des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z besteht aus einem vernadelten Vliesstoff R201Z. Auf den Werkstoff und das Fasermaterial wird im Abschnitt 2.1 und auf die Beständigkeit des Vliesstoffs im Abschnitt 4.1 eingegangen. In der Tabelle 5.1, Zeile 1-5 sind die vom Hersteller nach den Angaben im Datenblatt und CE-Begleitdokument (siehe Anlage A1-1 und A1-9) garantierten Kennwerte zusammengestellt. Der Durchlässigkeitsbeiwert normal zur Fläche in der letzten Zeile wurde daraus berechnet, siehe Abschnitt 9.7. Die Bedeutung der Kennwerte wird in der letzten Spalte erläutert.

Die Regeln für die Bemessung geotextiler Filter werden ausführlich im DVWK-Merkblatt 221 beschrieben. Im neuen FGSV-Merkblatt (Entwurf) soll definiert werden, wie die Kennwerte eines Produkts aus den nach den neuen europäischen Normen ermittelten Prüfgrößen abgeleitet werden. Um die im Deponiebau erforderliche sehr lange Funktionsdauer zu erreichen, sollte in jedem Einzelfall eine Bemessung auch des Filters durch einen erfahrenen Fachmann erfolgen. Es muss dabei überprüft werden, ob die Kennwerte des Filtervliesstoffs die Anforderungen erfüllen, die für die Bodenart und die Strömungsverhältnisse aus der Bemessung des Flächenfilters abgeleitet wurden. In gewissem Umfang können die flächenbezogene Masse und die Vernadelungsdichte des Vliesstoffs verändert und so die Filtereigenschaften an die Anforderungen angepasst werden.

Umgekehrt muss bei der Auswahl des Schüttmaterials und der Einbauverfahren auf die Erfordernisse der Verwendung eines Geokunststoffs Rücksicht genommen werden, wie dies auch in den Hinweisen zum Einbau in der BAM-Richtlinie erläutert wird. Im FGSV-Merkblatt wird in einer Matrix bestimmten Eigenschaften des Schüttmaterials und bestimmten Beanspruchungen im Baubetrieb eine bestimmte Geotextilrobustheitsklasse (GRK) zugeordnet. Die Anwendung dieser Matrix auf die Bedingungen bei der Herstellung von Deponien-Oberflächenabdichtungen wird im allgemeinen dazu führen, mindestens eine GRK 3 zu fordern. Die Einordnung des Vliesstoffs in die Geotextilrobustheitsklasse richtet sich nach dessen flächenbezogener Masse und nach der Stempeldurchdrückkraft. Der Vliesstoff R201Z im Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z gehört nach den Angaben in der Tabelle 5.1 in die GRK 3. Diese Klassifizierung der Filterkomponente stellt allerdings noch keine hinreichende Voraussetzung dafür da, dass auch das Dränelement insgesamt ausreichend robust gegenüber den Einbaubeanspruchungen ist. Es kann folglich Fälle geben, wo, trotz der Zuordnung der GRK 3 zum Anwendungs- und Beanspruchungsfall, ein Feldversuch durchgeführt werden muss, um sicherzustellen, dass

das Dränelement durch den Einbau nicht beschädigt wird. Dort, wo aufgrund von Unklarheiten in der Einordnung des Schüttmaterials und der Beanspruchungen durch den Baubetrieb die Zuordnung einer erforderlichen Geotextilrobustheitsklasse nicht eindeutig nach den im Merkblatt beschriebenen Kriterien möglich ist, ist ohnehin ein Feldversuch erforderlich.

Tabelle 5.1: Eigenschaften des Filtervliesstoffs

Prüfgröße	Prüfverfahren	Kennwert	Bemerkung
Dicke bei 2 kPa	DIN EN 964-1	$\geq 2,2$ mm	Spezifikation für den Mittelwert von 10 Einzelproben aus einem Streifen quer zur Bahn
flächenbezogene Masse	DIN EN 965	≥ 180 g/m ²	Spezifikation für den Mittelwert von 10 Einzelproben aus einem Streifen quer zur Bahn
Stempeldurchdrückkraft	DIN EN ISO 12236	1,5 kN	Spezifikation für den Mittelwert minus Standardabweichung von 5 Einzelproben aus einem Streifen quer zur Bahn
Charakteristische Öffnungsweite	DIN EN ISO 12956	$(0,120 \pm 0,036)$ mm	Vorläufige Spezifikation des Herstellers. In diesem Intervall liegt der Mittelwert eines Prüflosses mit 95 % Wahrscheinlichkeit, siehe Abschnitt 9.7
Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene, V_{H50}	DIN EN ISO 11058	$(0,10 - 0,03)$ m/s	Dieser Wert kann aufgefasst werden als 5%-Quantil der Verteilung von Einzelmessungen, siehe Abschnitt 9.7
Durchlässigkeitsbeiwert (senkrecht zur Geotextilebene)	Rechengröße nach Gl. 9.2	$3 \cdot 10^{-3}$ m/s	siehe Abschnitt 9.7

5.2 Langzeitige Filterwirksamkeit

Bei einem sorgfältigen Nachweis der mechanischen und hydraulischen Filterwirksamkeit kann, auch über einen sehr langen Zeitraum, von einer ausreichenden Filterstabilität ausgegangen werden. D. h. feine Bodenpartikeln werden den Filter nicht verstopfen oder gar den Dränkern verschlemmen. Die Filterregeln berücksichtigen jedoch nicht, dass chemische und biologische Prozesse ähnliche Auswirkungen haben können. So wurde z. B. berichtet, dass in einzelnen Fällen an ausgegrabenen Kiesfiltern und Kiesdränagen Eisenoxidablagerungen gefunden wurden, die aus der Oxidation von aus der Rekultivierungsschicht ausgeschwemmtem Pyrit herrühren [11]. Obwohl derartige Ablagerung auch in Geotextilien denkbar sind, wurde, trotz einer Vielzahl von Ausgrabungen, darüber noch nicht berichtet. Neben solchen chemischen Vorgängen kann das Eindringen von Wurzeln und die Ablagerung von abgestorbenem Wurzelmaterial die hydraulische Filterwirksamkeit beeinträchtigen. Hier zeigen Ausgrabungen, die bis zu ca. 10 Jahren nach dem Einbau in Deponieabdichtungen durchgeführt wurden, dass die Auswirkungen von Wurzeln immer noch geringfügig waren [8, 12]. Natürlich hängt das Ausmaß solcher Pro-

zesse stark von der Umgebung des geotextilen Filters ab. Die Einwirkungen chemischer und biologischer Prozesse können daher nur konstruktiv, nämlich durch die Auswahl des Bodenmaterials und die Gestaltung der Rekultivierungsschicht, vermieden werden. Die dabei auftretenden Schwierigkeiten und Unklarheiten gelten jedoch in ähnlicher Weise für feinkörnige Kiesfilter wie für geotextile Filter. Sie stellen daher keine Einschränkung der Eignung von geotextilen Filtern im Vergleich zu Kiesfiltern dar.

6. Reibung und Schutzwirksamkeit

Für den Nachweis der Standsicherheit der Dichtung braucht man die Parameter der Reibung zwischen dem Kunststoff-Dränelement und den benachbarten Komponenten im Dichtungsaufbau. Die Reibungsparameter werden für jedes Bauvorhaben in Scherkastenversuchen nach der GDA-Empfehlung E3-8 ermittelt. Auf die Bedingungen im Feld übertragbare Reibungsparameter an einem dicken Geokunststoff aus mehreren Komponenten zuverlässig zu bestimmen, ist versuchstechnisch schwierig, manchmal sogar unmöglich. Die Versuche müssen daher von fachkundigen und erfahrenen Prüfstellen durchgeführt werden. Die GDA-Empfehlung empfiehlt sogar die Einschaltung von zwei voneinander unabhängigen Prüfstellen, wobei dabei auch das Prüflabor des Herstellers tätig werden kann.

Bei industriell hergestellten Reibungspartnern, also Kunststoffdichtungsbahnen und Bentonitmatten, ist es jedoch nicht erforderlich immer wieder neu die Reibungsparameter zu bestimmen, wenn nachgewiesen wird, z. B. durch eine Zulassung, dass das als Reibungspartner vorgesehene Produkt gleichbleibende Eigenschaften hat. In solchen Fällen können bereits vorliegende Prüfzeugnisse verwendet werden.

W. Blümel, unter dessen Federführung die GDA-Empfehlung E3-8 erarbeitet wurde, und M. Heinemann berichten über Untersuchungen der Reibung zwischen dem Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201 WD601 R201 und strukturierten PEHD-Dichtungsbahnen [4]. Dabei wurde eine Dichtungsbahn mit aufgebracht Struktur (KDB A) und zwei Dichtungsbahnen mit eingepprägter Struktur (KDB B und C) verwendet. Abb. 6.1, die aus dem Tagungsbeitrag entnommen wurde, zeigt den Zusammenhang zwischen Normal- und Reibungsspannung. Aus der Steigung der Geraden kann man den zugehörigen Gesamtreibungswinkel ablesen, der einen Eindruck vermittelt, welche Böschungsneigung in bezug auf die Kontaktfläche zwischen dem Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z und strukturierten Dichtungsbahnen möglich ist (Tabelle 6.1).

Das Reibungsverhalten in diesen Beispielen zeigt Besonderheiten, die bei der Ermittlung und Anwendung der Reibungsparameter im Standsicherheitsnachweis beachtet werden müssen. Wie dabei vorgegangen werden kann, wird ausführlich in [4] diskutiert, siehe auch den Abschnitt 9.8. Für Bentonitmatten als Reibungspartner sollte ähnliches Datenmaterial erarbeitet werden. Die hier erreichbaren Böschungsneigungen sind deutlich geringer, siehe Abschnitt 9.8. Wünschenswert wäre auch eine Übersicht über Ergebnisse von Reibungsversuchen mit Rekultivierungsböden, auch wenn dies im allgemeinen den projektbezogenen Reibungsversuch mit dem jeweils vorgesehenen Boden nicht ersetzen kann.

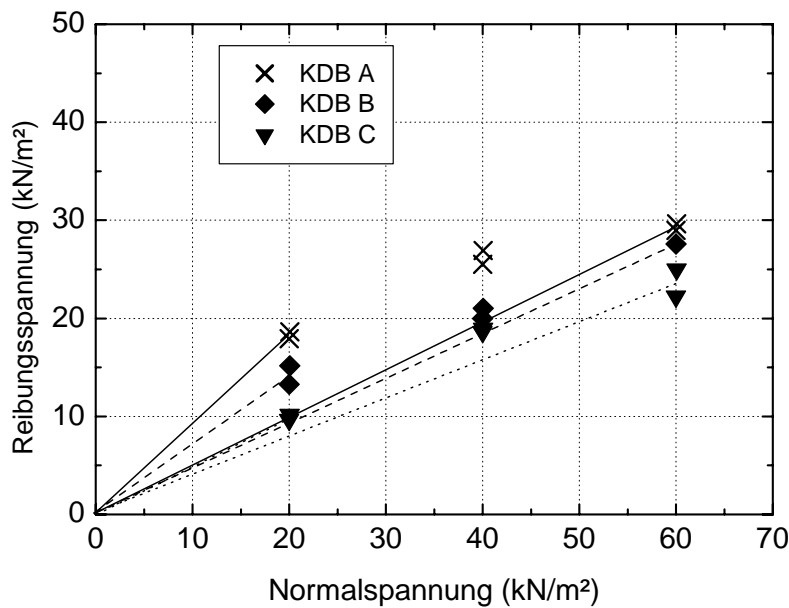


Abb. 6.1: Reibungsspannung zwischen unterschiedlich strukturierten PEHD-Dichtungsbahnen und dem Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201 WD601 R201 bei verschiedenen Normalspannungen. Die Steigung der eingezeichneten Geraden ergibt den Gesamtreibungswinkel bei den verschiedenen Auflasten, siehe Tabelle 6.1. Die Daten wurden aus der Abb. 11 in [4] entnommen.

Tabelle 6.1: Gesamtreibungswinkel zwischen dem Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201 WD601 R201 und unterschiedlich strukturierten PEHD-Dichtungsbahnen bei verschiedenen Normalspannungen, siehe [4].

Normalspannung (kN/m²)	20	40	60
Reibungspartner	Gesamtreibungswinkel (°)		
KDB A	42	33	25
KDB B	35	27	24
KDB C	25	24	21

Im Prüflabor der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co wurden Lastplattendruckversuch in Anlehnung an die BAM-Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten durchgeführt [13], siehe dazu den Prüfbericht in der Anlage A1-13. Dabei wurde eine Auflast von 18 kN/m², was einer etwa 2 m dicken Rekultivierungsschicht entspricht, angenommen und daraus die Prüflast mit einem kräftigen Erhöhungsfaktor von (1,5-1,5) für Temperatur und Zeitraffung ermittelt. Als Testboden wurde ein grober Sand verwendet, dessen Körnungsband im Prüfbericht dargestellt ist. Im Weichblech, das nach 1000 h Versuchsdauer ausgebaut wurde, fanden sich nur Dellen, bei denen die aus den zugeordneten Kreisbögen ermittelte Längungen immer kleiner als 0,25 % waren. Auf die Interpretation solcher Versuchsergebnisse wird im Abschnitt 9.9 nochmals eingegangen.

Man kann aus den Prüfergebnissen insbesondere ablesen, dass das Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z selbst keine Abdrücke in die Dichtungsbahn einprägt, was aufgrund seiner Art und Beschaffenheit auch nicht zu erwarten war. Eine ausreichende Schutz-

wirksamkeit sollte weiterhin bei allen Rekultivierungsböden gegeben sein, wo die Korngrößenverteilung den Korngrößenbereich des Prüfsandes zu größeren Körnern hin nicht deutlich überschreitet, und die Dicke der Rekultivierungsschicht nicht mehr als 2 m beträgt. In Zweifelsfällen muss, bezogen auf das einzelne Projekt, ein Lastplatten-Druckversuch durchgeführt werden.

7. Qualitätssicherung

Die Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG verfügt über ein Qualitätsmanagementsystem nach den Anforderungen der DIN EN ISO 9000:2000 für den Geltungsbereich der Entwicklung, Herstellung, Vertrieb und Anwendungstechnik von Geokunststoffen. Das entsprechende Zertifikat befindet sich in der Anlage A1-4. Das zugehörige Qualitätsmanagement-Handbuch ist bei der BAM hinterlegt.

Die Qualitätssicherung bei der Herstellung des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z besteht aus folgenden Teilschritten:

1. Eingangskontrolle der Fasern für die Vliesstoffherstellung. Der zugehörige Standardprüfplan befindet sich in der Anlage A1-5, Seite 1, Zeile 9: Faser – Original mit Rohstoffnachweis.
2. Produktionskontrolle der Vliesstoffherstellung. Der zugehörige Standardprüfplan befindet sich in der Anlage A1-6, Seite 1.
3. Eingangskontrolle der Formmassen und Batches für die Dränkernherstellung. Der zugehörige Standardprüfplan befindet sich in der Anlage A1-5, Seite 2, Granulate – Secudränextruder und Masterbatche Secudränextruder (schwarz und Additivbatch).
4. Produktionskontrolle der Dränkernherstellung. Der zugehörige Standardprüfplan befindet sich in der Anlage A1-6, Seite 2, Zeile 3-6.
5. Produktionskontrolle der Herstellung des Kunststoff-Dränelements. Der zugehörige Standardprüfplan befindet sich in der Anlage A1-6, Seite 2, Zeile 7-15.

Art und Umfang der Prüfungen sind in den genannten Standardprüfplänen angegeben, siehe dazu auch Tabelle 5 der BAM-Richtlinie. Die zugehörigen Prüfanweisungen sind Bestandteil des Qualitätsmanagement-Handbuchs. Jede Lieferung wird auf Anforderung des Kunden mit einem Abnahmeprüfzeugnis in Anlehnung an DIN EN 10204, Abschnitt 3.1B versehen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Prüfwerte den Rollen, an denen sie gemessen wurden, zugeordnet werden können.

Die Güte der Schweißpunkte wird in einem Zugscherversuch nach einer werksinternen Prüfvorschrift (siehe Anlage A1-18) überprüft. Dazu werden aus jeder 70sten Rolle 10 Proben mit je einem Schweißpunkt gleichmäßig über die gesamte Breite verteilt entnommen, vorbereitet und gezogen. In der Regel verstreckt dabei der Vliesstoff außerhalb des Schweißpunkts und reißt. In einzelnen Fällen schält der Schweißpunkt auf. Von der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG wurden Prüfergebnisse von ca. 2500 Schweißpunkten aus den letzten gut 2 Jahren zur Verfügung gestellt. Danach schält nur jeder 10te Schweißpunkt auf. Da sich nicht vorhersagen lässt, welcher Schweißpunkt aufschält, kann auch nicht beurteilt werden, ob das Aufschälen überhaupt einen Einfluss auf die Standzeiten im Zeitstand-Scherversuch oder die Kurzzeit-Scherfestigkeit hat, und wenn ja, bei welchem Schälwiderstand sich der Einfluss bemerkbar macht. Die derzeit produktionstechnisch mögliche, geringe Häufigkeit von aufschälenden Schweißpunkten von 0,1 sollte jedoch nicht überschritten werden. Bei Stichproben mit je 10

Einzelprüfungen wurden 0, 1, 2, 3 oder 4 aufgeschälte Proben mit der Häufigkeit 0,39, 0,34, 0,16, 0,08 oder 0,04 gefunden. Bei einer Binominalverteilung wären theoretisch Häufigkeiten von 0,35, 0,39, 0,19, 0,06 oder 0,01 zu erwarten gewesen. Diese Verteilung kann also bei der Planung und Bewertung von Stichproben näherungsweise zugrunde gelegt werden.

Die Kennwerte für die Eigenüberwachung der Vliesstoffherstellung sind im Anhang der Zulassung 08/BAM 8.3/10/94 angegeben. Für den OIT-Wert des Dränkerns wurde vereinbart, dass der im Prüflabor des Herstellers aus drei, bei 175 °C gemessenen Einzelwerten berechnete Mittelwert größer als 180 min sein muss. Für das Kriechverhalten des Dränelements unter Druckbeanspruchung nach DIN EN 1887 wurde festgelegt, dass der Mittelwert der Verringerung der Dicke aus 3 Einzelmessungen nach 24 Stunden gegenüber dem Wert nach 1 Minute 10 % nicht überschreiten darf.

Halbjährliche wird eine Fremdüberwachung der Herstellung des Kunststoff-Dränelements Secudrän® R201Z WD601Z R201Z in Anlehnung an DIN EN 18200 durchgeführt. Der Vertrag über die Fremdüberwachung ist bei der BAM hinterlegt. In der Anlage A1-7 befindet sich eine Beschreibung von Art und Umfang der dabei durchzuführenden Prüfungen.

8. Hinweise zum Einbau

Die Hinweise im Abschnitt 5.2 der BAM-Richtlinie für den Eignungsnachweis und in der Verlegeanleitung des Herstellers in der Anlage A1-8 müssen sorgfältig und genau beachtet werden. Dies gilt insbesondere für die Fremdprüfung auf der Baustelle. Die erforderlichen Qualitätssicherungsmaßnahmen sind in der Tabelle 5 der BAM-Richtlinie beschrieben.

Weitere Hinweise zum Einbau findet man in der Empfehlung EAG-Drän der DGGt.

9. Erläuterungen

9.1 Allgemeine Hinweise 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. Im folgenden werden die Problembereiche, die dabei bearbeitet werden müssen, übersichtsartig zusammengestellt werden. 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. Wenn allerdings im Verlauf des Zeitstand-Scherversuchs eine rasche Abnahme der Oxidations-Induktionszeit 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 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 treten 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. Wie man solche Prüfergebnisse beim Standsicherheitsnachweis interpretiert, wird an anderer Stelle diskutiert.

9.2 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 (Abb. 3.1, 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.

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 bei den unterschiedlichen mechanischen Beanspruchungen berechnet. Die Kurzzeitwerte, 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 (Abb. 3.1 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 (Abb. 3.1, 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 [14]. Im Abschnitt 3.3 wird das Langzeit-Wasserableitvermögen nach diesem Verfahren abgeschätzt. Es sind jedoch auch Fälle denkbar, bei denen das unter 1. genannte einfachere Verfahren zu einer besseren Abschätzung führt. Beim Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201Z WD601Z R201Z sind die Unterschiede jedoch relativ gering. Die Anlage A3 zeigt Bemessungsdiagramme der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG für die Entwässerungslängen, bei denen das Langzeit-Wasserableitvermögen einmal nach den Überlegungen in diesem Gutachten und zum

anderen nach dem vereinfachten Verfahren unter Verwendung der Teilsicherheitsbeiwerte der GDA-Empfehlung ermittelt wurden.

9.3 Zur Berechnung von Entwässerungslängen

Die Bemessung einer Flächenentwässerung aus Kunststoff-Dränelementen wird ausführlich in [15] diskutiert. Die allgemeine Bemessungsgleichung für das Wasserableitvermögen lautet:

$$(9.1) \quad \frac{q_{LZ}}{\gamma_{R,1} \cdot \gamma_{R,2} \cdot \gamma_{R,3} \dots} \geq (\gamma_{S,1} \cdot \gamma_{S,2} \cdot \gamma_{S,3} \dots) \cdot q_{Entwurf}$$

q_{LZ} ist dabei das Langzeit-Wasserableitvermögen, $q_{Entwurf}$ der zu erwartende Sickerwasserzufluss. Wie dort 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.

Hier herrscht allerdings nach wie vor recht große Konfusion in den verschiedenen Richtlinien und Empfehlungen (EAG-Drän, DVWK-Merkblatt, FGSV-Merkblatt (Entwurf), GDA-Empfehlung). Zwischen allen Papieren 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 9.1 vermittelt einen Eindruck von der Beliebigkeit so berechneter Entwässerungslängen.

Um diese Beliebigkeit zu vermeiden, sollte man folgendes beachten:

1. Die Rückwirkung des Kriechens und der Bettung auf das Wasserableitvermögen sollte nicht mehr durch Abminderungsfaktoren ausgedrückt, sondern muss durch Messungen untersucht und darauf aufbauende Extrapolationen explizit berechnet werden, so wie dies hier im Abschnitt 3 geschehen ist. Das so ermittelte Langzeit-Wasserableitvermögen q_{LZ} bildet den Ausgangspunkt für die Berechnung der Entwässerungslängen L . 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. Für Secudrän® R201Z WD601Z R201Z geschieht dies im Abschnitt 4.
2. Es wären dann nur noch die beiden im Abschnitt 3.3 diskutierten Abminderungsfaktoren für den Materialwiderstand zu berücksichtigen.
3. Der Sickerwasserabfluss, der dann noch mit Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen zu multiplizieren ist, berechnet sich als Produkt von Dränspende q_S und Entwässerungslänge L . Für die Dränspenden werden oft die Vorgaben der GDA E2-20 verwendet.
4. 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 Qualitätsmanage-

ment 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. Es fragt sich, ob man die Unsicherheiten im Geschehen auf der Baustelle nicht mit einem kräftigeren Aufschlag von 1,5 abgelten sollte [15]. 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 tatsächlich besteht, erscheint das formale Hantieren mit kleinen Sicherheitsbeiwerten eher Augenwischerei zu sein. Die Unsicherheit in der Einschätzung solcher nicht genau zu charakterisierenden Einwirkungen wird in der EAG-Drän dennoch mit einem pauschalen Sicherheitsbeiwert von 2 berücksichtigt. 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. In der EAG-Drän wird wegen dieser Unsicherheit, sowie um generell systematische Fehler zu berücksichtigen, die bei der Übertragung von Laborergebnissen in die Praxis entstehen, ein Teilsicherheitsbeiwert von 2 gefordert. Wobei allerdings Laborbedingungen sich auch als nachteilig gegenüber Feldbedingungen erweisen können. Darüber hinaus fordert die EAG-Drän noch einen pauschalen Sicherheitsfaktor 1,1, der wohl die Unsicherheit in der Bestimmung der Dränspende (Lastannahme) erfassen soll. Diese ganzen diffusen Unsicherheiten schlagen daher mit dem ganz ungewöhnlich hohen Faktor 4,4 zu Buche. Das erscheint im Hinblick auf die Einschränkung, die bei der Ermittlung des Langzeit-Wasserleitvermögens bereits vorgenommen wurde, und den guten Erfahrungen, die man mit Kunststoff-Dränelementen im Feld bereits gemacht hat, viel zu hoch. Es ist daher naheliegend für all diese diffusen Unsicherheiten nur einen pauschalen Sicherheitsfaktor von 2 anzusetzen (in der EAG-Drän ist das vielleicht auch so gemeint). Insgesamt ergäbe sich daher ein Teilsicherheitsbeiwert für die Einwirkungen von $1,2 \cdot 2 \cdot 1,1 = 2,6$. Über Beiwerte für die Baustellenbeanspruchung, für eine allgemeine Unsicherheit in der Beurteilung der Einwirkungen im Einbauzustand und eventuell für die Unsicherheiten in der Bestimmung der Dränspende hinaus erscheint eine stärkere Differenzierung von Teilsicherheitsbeiwerten beim gegenwärtigen Kenntnisstand nicht sinnvoll.

Tabelle 9.1: Beispiel für die Spannweite von Teilsicherheitsbeiwerten und Abminderungen bei der Bemessung von Kunststoff-Dränelementen, siehe dazu [15].

<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>Merkbblatt 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.“

Die Entwässerungslängen der Tabelle 3.4 müssten danach noch durch diesen Faktor 2,6 dividiert werden. Man kann sie dann den Werten gegenüberstellen, die aus dem Bemessungsdiagramm in der Anlage 3 abgelesen werden, dass unter Verwendung der Teilsicherheitsbeiwerte der GDA Empfehlung berechnet wurde. Aber auch bei noch konservativeren Annahmen reichen die Entwässerungslängen für den Deponiebau in der Regel aus.

9.4 Zur UV-Belastung des Dränkerns

In der Fachgruppe VI.1 der BAM wurden an zwei, jeweils etwa 1 cm^2 großen Stücken des Filtervliesstoffs Transmissionsmessungen im sichtbaren und UV-Bereich mit einem Varian Cary300 Spektrophotometer durchgeführt (Doppelmonochromator, Zweistrahl). 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 . Dazu wurde eine Ulbrichtkugel benutzt, die alle hinter der Probe austretende Strahlung integriert dem Empfänger zuführt. Nichtberücksichtigt blieben Anteile, die von der Probe der Beleuchtungsrichtung entgegen reflektiert oder gestreut wurden. Eine solche Anordnung ermöglicht eine gute Simulation der Bestrahlungssituation, die ein hinter dem Vliesstoff angeordnetes Material erfährt.

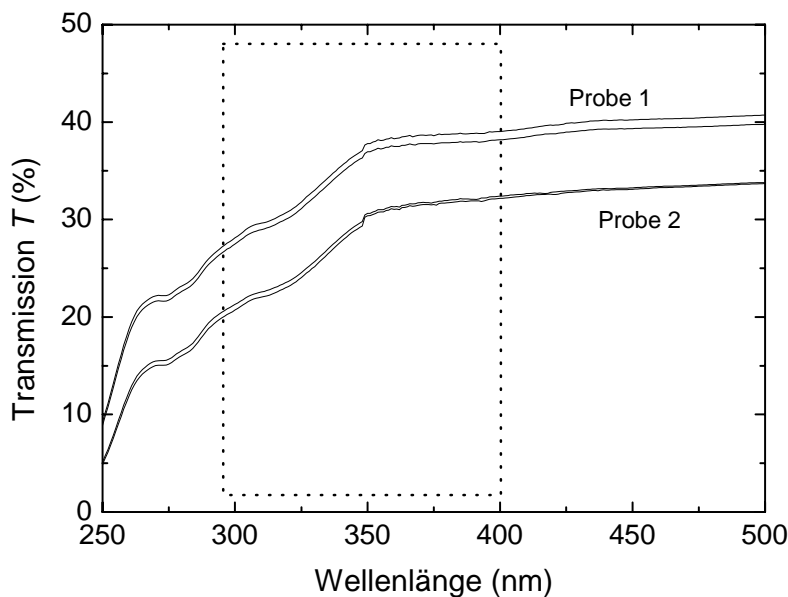


Abb. 9.1: Transmission von Licht unterschiedlicher Wellenlänge durch den Filtervliesstoff. Gemessen wurden an zwei Proben. Zu jeder Messung wurde eine Wiederholungsmessung durchgeführt. Eingegrenzt ist der UV-Bereich der Globalstrahlung.

Abb. 9.1 zeigt die gemessenen Spektren. 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 auftretenden 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.

9.5 Zur Oxidationsbeständigkeit des Dränkerns

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) bei einer Warmlagerung oder Immersion spiegelt bei vielen Antioxidantien die Veränderung in deren Gehalt wieder. In diesem Sinne können auch OIT-Werte zur Charakterisierung der Oxidationsbeständigkeit verwendet werden. Abb. 9.2 zeigt die Veränderung der auf den Ausgangswert bezogenen OIT-Zeiten des vorstabilisierte Werkstoffs des Dränkerns während einer Warmlagerung bei 80 °C im Umluftwärmeschrank und bei einer Immersion in 80 und 90 °C heißem entionisiertem Wasser. Für den wirksamen Gehalt an Antioxidantien ist offensichtlich die Immersion die kritischere Prüfbedingung.

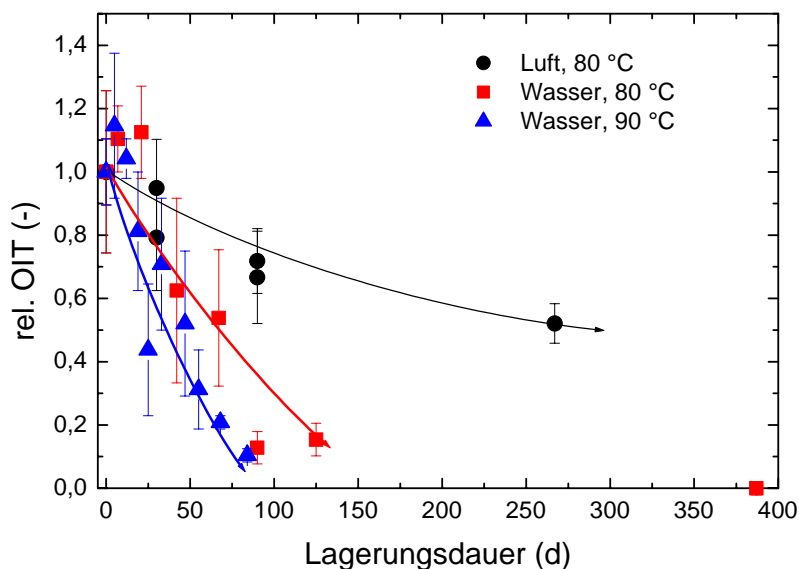


Abb. 9.2: Der auf den Ausgangswert bezogene, relative OIT-Wert (gemessen in Anlehnung an ASTM D 3895 bei $T_M = 175$ °C in Al-Tiegeln) des nur vorstabilisierten Wirrgeleges als Funktion der Lagerungsdauer in 80 und 90 °C heißem Wasser und im Umluftwärmeschrank.

Abb. 9.3 zeigt die Veränderung des OIT-Werts des für die Anwendung in Deponieabdichtungen 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. Dieser Dränkern besitzt sicherlich eine sehr hohe Oxidationsstabilität.

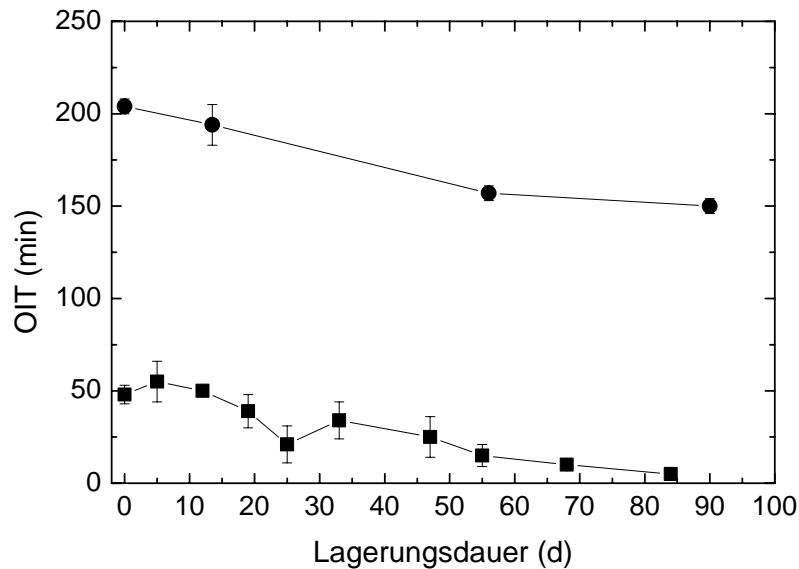


Abb. 9.3: Der OIT-Wert (gemessen in Anlehnung an ASTM D 3895 bei $T_M = 180\text{ °C}$ in Al-Tiegeln) des für die Anwendung stabilisierten Dränkerns als Funktion der Lagerungsdauer in 90 °C heißem entionisiertem Wasser (Kreise). Zum Vergleich sind die Werte des Ausgangsmaterials (gemessen bei $T_M = 175\text{ °C}$) angegeben (Rechtecke).

9.6 Der Zeitstand-Scherversuch

Die Langzeit-Festigkeit von Kunststoffbauteilen wird in sogenannten Zeitstandversuchen geprüft, bei denen das Bauteil der mechanischen Beanspruchung unter erhöhter Temperatur in einem flüssigen oder gasförmigen Prüfmedium über längere Zeit ausgesetzt wird. In Abhängigkeit von den Prüfbedingungen wird die Zeitdauer bis zum Versagen, die sogenannte Standzeit, ermittelt. Durch eine Variation der Prüfbedingungen erhält man einen funktionalen Zusammenhang zwischen Standzeiten und diesen Bedingungen, der dann zur Extrapolation einer Funktionsdauer unter Anwendungsbedingungen verwendet werden kann. Die Ermittlung des langzeitlich zulässigen Rohrrinnendrucks bei Kunststoffrohren in Zeitstand-Rohrrinnendruckversuchen ist das vielleicht technisch ausgereifteste Beispiel für die Anwendung von Zeitstandversuchen im Kunststoffbereich. In Anlehnung an solche Rohrzeitstände werden an der BAM Scherzeitstände eingesetzt, mit denen das Langzeitverhalten von Geokunststoffen unter Scherbeanspruchung untersucht werden kann (Abb. 9.4 und 9.5) [16, 17].

Die in diesem Gutachten ausgewerteten Untersuchungen an dem Kunststoff-Dränelement wurden folgendermaßen durchgeführt: Ein Ausschnitt aus dem Dränelement mit einem mittig liegenden Schweißpunkt (ca. $12\text{ cm} \cdot 13\text{ cm} = 156\text{ cm}^2$) wurde zwischen zwei Stahlkeile (Steigungswinkel der Stahlkeile: $21,8^\circ$; entsprechend einer Böschungsneigung von 1:2,5) montiert (Abb. 9.6 und 9.7). Die Verbindung von Filtergeotextil und Schutzgeotextil zu dem jeweiligen Keil wurde dabei durch flächiges Verhaken mit einem auf dem oberen und unteren Keil fest montierten Reibungspartner hergestellt. Als Reibungspartner wurden Reibebleche (Kronenreiben) verwendet (Abb. 9.7).

Über einen Hebelmechanismus wurde eine für Oberflächenabdichtungen schon relativ große Auflast bezogen auf die Fläche des Probekörpers von 50 kN/m^2 auf den oberen Keil ausgeübt.



Abb. 9.6: Probehälter mit eingebautem Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201 WD601 R201.

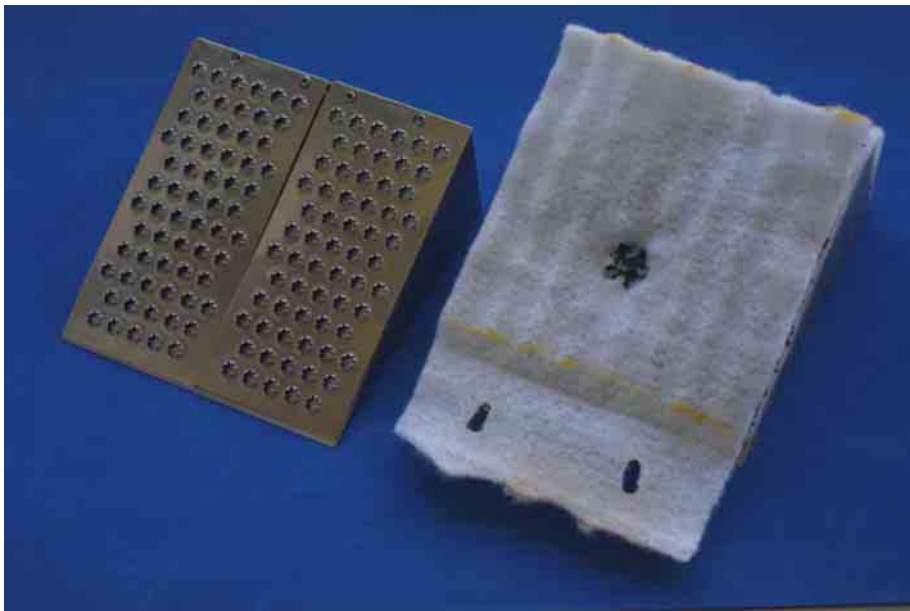


Abb. 9.7: Auf den Keilen fest montierte Reibebleche (links) sorgen für eine vollflächige Verankerung der Keile auf der Ober- bzw. Unterseite des Kunststoff-Dränelements. Rechts sieht man den auf dem Keil liegenden Probekörper.

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

Nach den Regeln des DVWK-Merkblatts 221 wird das Bodenrückhaltevermögen (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 Bodenrückstandes ermittelt, die sich bei einer Nasssiebung eines Testbodens mit vorgegebenem Körnungsband durch das Geotextil ergeben. Die wirksame Öffnungsweite ist definiert als der Durchmesser jener Kornfraktion, 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

$$(9.2) \quad k_V \approx k_{V,VI_{H50}} = \frac{VI_{H50}}{\frac{50 \text{ mm}}{d}}$$

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 Gl. 9.2 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 Gl. 9.2 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-Dränelements 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 ([18], S. 211).

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.

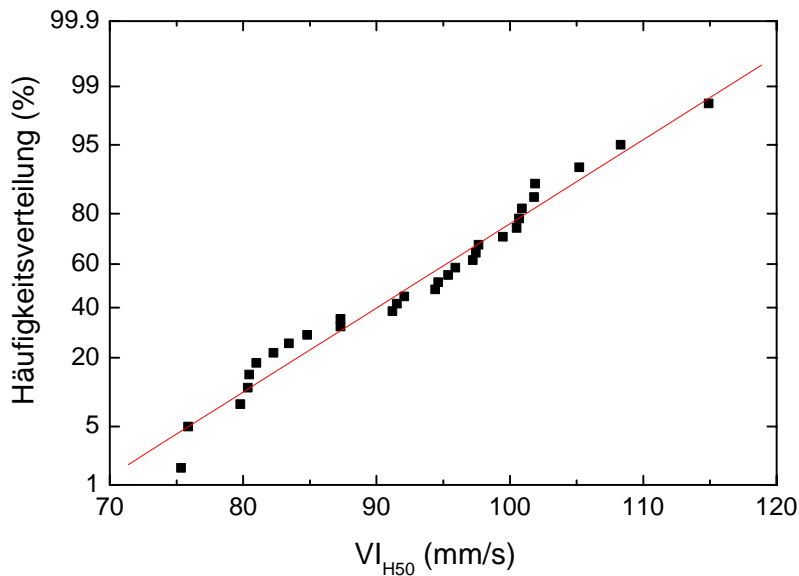


Abb. 9.8: Häufigkeitsverteilung der Messwerte für den Geschwindigkeitsindex nach DIN EN ISO 11058, die am Vliesstoff R201 vom Hersteller gemessen wurden. (Der systematische, schlangenförmige Verlauf der Daten um die Gerade der zugrunde liegenden Normalverteilung rührt daher, dass Häufigkeiten, die aus der Nummerierung der nach der Größe geordneten Messwerte berechnet wurden, nicht streng stochastisch unabhängig voneinander sind ([18], S. 139.))

Abb. 9.7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der von der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG an Proben aus verschiedenen Rollen des Vliesstoffs R201 über einen Produktionszeitraum von ca. 1,5 Jahren gemessenen Geschwindigkeitsindizes. Die Messwerte sind tatsächlich relativ gut normalverteilt. Man erhält für den Mittelwert und die Standardabweichung: $\overline{VI}_{H50} = 92,6$ mm/s und $s_{VI_{H50}} = 10$ mm/s und liest als 5 %-Quantil den Wert $VI_{H50,5\%} = 76$ mm/s ab. Bei einer solch umfangreichen Datenbasis stimmen die so ermittelten Werte schon sehr gut mit den „wahren“ Werten überein.

Da die Messung der Öffnungsweite wesentlich aufwendiger ist, steht hier nur eine Stichprobe mit wenigen Messwerten aus dem genannten Produktionszeitraum zur Verfügung. Aus den vorgelegten Protokollen errechnet sich ein Mittelwert von $\overline{O}_{90} = 0,101$ mm mit einer Standardabweichung $s_{O_{90}} = 0,012$ mm. Unter der Annahme, dass die Mittelwerte solcher Stichproben normalverteilt sind, kann man hier nur eine Abschätzung des „wahren“ Mittelwerts $\xi_{O_{90}}$ geben ([18], S. 394). Mit Hilfe des 2,5 %- bzw. 97,5 %-Quantils der t -Verteilung erhält man für das 95 %-Vertrauensintervall für diesen Mittelwert: $0,072 \text{ mm} < \xi_{O_{90}} < 0,130 \text{ mm}$. Dieses Intervall

ist, verglichen mit dem vom Hersteller angegebenen Intervall (Tabelle 5.1), leicht zu kleineren Werten verschoben. Eine Abschätzung von Toleranzgrenzen für die Einzelmessungen wäre bei der geringen Zahl von zur Verfügung stehenden Messwerten ohne praktische Bedeutung ([18], S. 314).

Die Steuerung der Fertigungsanlage des Filter-Vliesstoffs richtet sich vorrangig nach den Ergebnissen der Kontrollmessungen der flächenbezogenen Masse. Die Anlage wird so gefahren, dass diese Spezifikation auf alle Fälle erfüllt wird. Es ergibt sich damit dann automatisch eine gewisse Verteilung der Dicken des Vliesstoffs. Von der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG wurden Daten der Eigenüberwachung aus der Produktion des Vliesstoffs R201 über einen Zeitraum von 7 Monaten zur Verfügung gestellt. Aus 953 Einzelwerten ergab sich eine mittlere Dicke bei 2 kPa von $(2,7 \pm 0,1 \text{ mm})$. Der kleinste Wert war 2,4 mm. Der garantierte Mindestwert für die mittlere Dicke von 2,2 mm (Tabelle 5.1) unterschreitet danach sicherlich das 5 %-Quantil. Mit dieser Dicke erhält man nach Gl. 9.2 für den Durchlässigkeitsbeiwert senkrecht zur Geotextilebene: $k_{V,VH_{H_{50},2\text{kPa}}} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$. Inwieweit dieser berechnete Wert tatsächlich mit dem Mittelwert der Durchlässigkeitsbeiwerte übereinstimmt, die nach E DIN 60 500 T4 gemessen werden, müsste eigentlich noch überprüft werden.

9.8 Zum Reibungsverhalten

Zwischen dem Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201 WD601 R201 und strukturierten PEHD-Dichtungsbahnen werden schon bei geringen Normalspannungen relativ große Reibungskräfte wirksam, die dann aber nicht mehr proportional mit der Normalspannung ansteigen (Abb. 6.1). Dieses Verhalten wird immer dann beobachtet, wenn eine gewisse Verzahnung oder Verhakung von makroskopisch großen 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 Reibungsgesetz ist daher nicht sinnvoll. Man sollte vielmehr für den Standsicherheitsnachweis die im relevanten Auflastbereich tatsächlich wirksame Reibungskraft abgemindert um entsprechende Teilsicherheitsbeiwerte verwenden.

In [4] 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 (Abb. 9.9).

An diesen Beispielen zeigt sich ein weiteres Problem (das nicht nur beim Kunststoff-Dränelement Secudrän® R201 WD601 R201, sondern auch bei anderen Kunststoff-Dränelementen oder generell bei Geokunststoffe auftreten kann). In keinem der hier diskutierten Fälle wurde ein 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 in allen Fällen schon nach wenigen Millimetern Verschiebung eine große Reibungskraft wirksam, siehe Abb. 9.9.

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 Feldversuch zu klären.

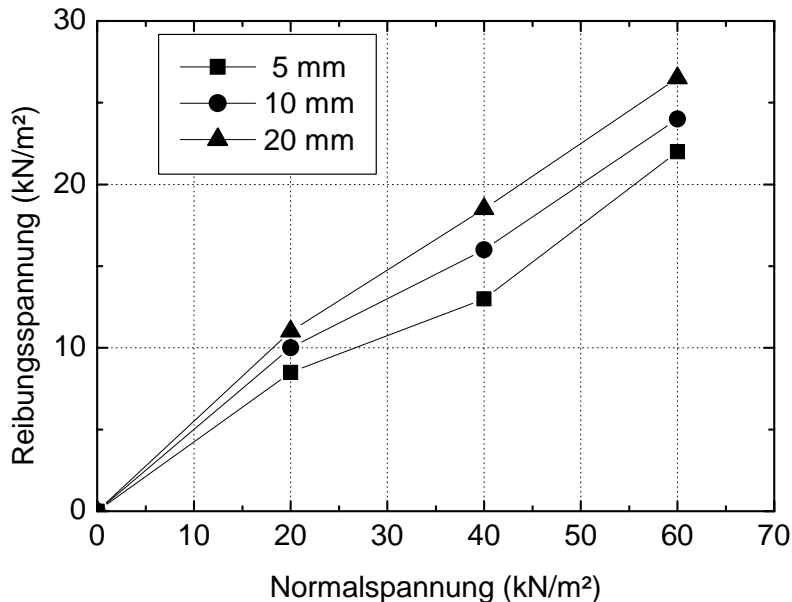


Abb. 9.9: Aus Abb. 5 in [4] abgelesene Reibungsspannungen zwischen dem Kunststoff-Dränelement und einer Bentonitmatte bei verschiedenen Verschiebewegen.

9.9 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 hat sich jedoch 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 % bewertet. 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 [19].

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)

12200 Berlin, den 01. September 2004

Fachgruppe IV.3, Abfallbehandlung und Altlastensanierung

im Auftrag

im Auftrag

Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. F.-G. Simon
Leiter der Fachgruppe IV.3



RD Dr. rer. nat. W. Müller
Leiter des Laboratoriums IV.32

- Verteiler: 1. bis 3. Ausfertigung: Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG
4. Ausfertigung (Urschrift): BAM IV.3

Anlage A1: Verzeichnis der vom Hersteller eingereichten Unterlagen

Die folgenden Unterlagen sind Bestandteil des Gutachtens. Die nicht als vertraulich bezeichneten Unterlagen sind auf Anfrage bei der Firma Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG erhältlich.

Nr.	Unterlage	Datum/Revision/Nr.
1	Technisches Produktdatenblatt Secudrän® R201Z WD601Z R201Z (Naue Fasertechnik)	23.07.2004 / OBJ 2004-001B
	Konformitätserklärung Secudrän® R201Z WD601Z R201Z der (Naue Fasertechnik)	05.01.2004
2	Rohstoffbeschreibung Dränkern Datenblatt Formmasse: Sabic PP PHC 31 (früher Stamyln P PHC 31) der SABIC EuroPetrochemicals B.V. Die Angaben zum Rußbatch sind bei der BAM vertraulich hinterlegt Die Angaben zum Additivbatch sind bei der BAM vertraulich hinterlegt	06-01-2004 / 3
	Rohstoffbeschreibung Vliesstoff siehe BAM-Zulassung 08/BAM 8.3/10/94	2004-03-15
3	Beschreibung des Herstellungsverfahrens (Naue Fasertechnik)	09.01.2004
4	Zertifikat ISO 9001:2000 der TÜV CERT	06.05.2003
	Beschreibung des Prozessmanagements (Q-Management) auf CD (Naue Fasertechnik), vertraulich hinterlegt	Stand 12/2003
5	Prüfplan für die Wareneingangskontrolle (Naue Fasertechnik) Fasern	29.01.2003 / R 11
	Granulat Secudrän-Extrusion	29.01.2003 / R 11
6	Prüfplan für die Secudrän-Fertigung (Naue Fasertechnik) Vliesstoffe (Vorprodukte)	14.10.2003 / R 2
	Secudrän (WD-Z)	23.07.2004 / R 0
7	Vertrag über die Fremdüberwachung nach DIN 18200*	-
8	Verlegeanleitung, Secudrän WD und DS (Naue Fasertechnik)	07.04.2003
9	Begleitdokument nach DIN EN 13252 (Naue Fasertechnik)	16.12.2003
10	Wasserableitvermögen in der Ebene nach DIN EN ISO 12958, Prüfberichte der tBU GmbH für folgende Bettungen und hydraulische Gradienten: hart/hart, i = 0,05; 0,1; 0,3; 1,0 hart/weich, i = 0,05; 0,1; 0,3; 1,0 weich/weich, i = 0,05; 0,1; 0,3; 1,0	15.04.2002 / 1.1/22030/87-2002 15.04.2002 / 1.1/22030/87.1-2002 11.02.2004 / 1.1/22030/33-2004
11	Kurzzeit-Scherfestigkeit gemäß Tabelle 2 der Richtlinie, Prüfbericht der tBU GmbH	14.06.2002 1.7/22030/188-2002
12	Kurzzeit-Druckfestigkeit gemäß Tabelle 2 der Richtlinie, Prüfbericht der tBU GmbH	11.02.2004 1.1/22030/33.1-2004
13	Schutzwirksamkeit gemäß Tabelle 2 der Richtlinie, Lastplatten-Druckversuch über 10, 100, 1000 h bei 100 kPa Auflast, Prüfbericht der Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG	Nov. 2003
14	Parameter des Filtervliesstoffs gemäß Tabelle 2 der Richtlinie, Datenblatt Secudrän R201Z WD601Z R201Z der Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG	23.07.2004 / OBJ 2004-001B

*) Der Vertrag wird nach Fertigstellung des Gutachtens mit der MPA Hannover abgeschlossen und bei der BAM vorgelegt

Nr.	Unterlage	Datum/Revision/Nr.
15	Oxidationsbeständigkeit gemäß Tabelle 3 der Richtlinie, für den Vliesstoff: Bericht der TNO Industrial Technology (TNO) für den Dränkern: Prüfbericht der tBU GmbH	27.01.2003 / 43/03.005969-2/sec 24.09.2003 / 1.5/22030/391-2003
16	Witterungsbeständigkeit gemäß Tabelle 3 der Richtlinie, Prüfbericht des Süddeutschen Kunststoff-Zentrums Würzburg (SKZ)	03.02.2003 / 50432/02-I
17	Kriechkurven gemäß Tabelle 4 der Richtlinie, Prüfberichte der tBU GmbH: Kriechverhalten bei Druckbeanspruchung Kriechverhalten bei Schubdruckbeanspruchung	08.03.2004 / 1.1/22030/499-2002 09.03.2004 1.1/22030/191.1-2002
18	Bereichsinterne Arbeitsanweisung. PRÜ 135, Verbundfestigkeit im Zugverbundtest für Secudrän	03.03.03

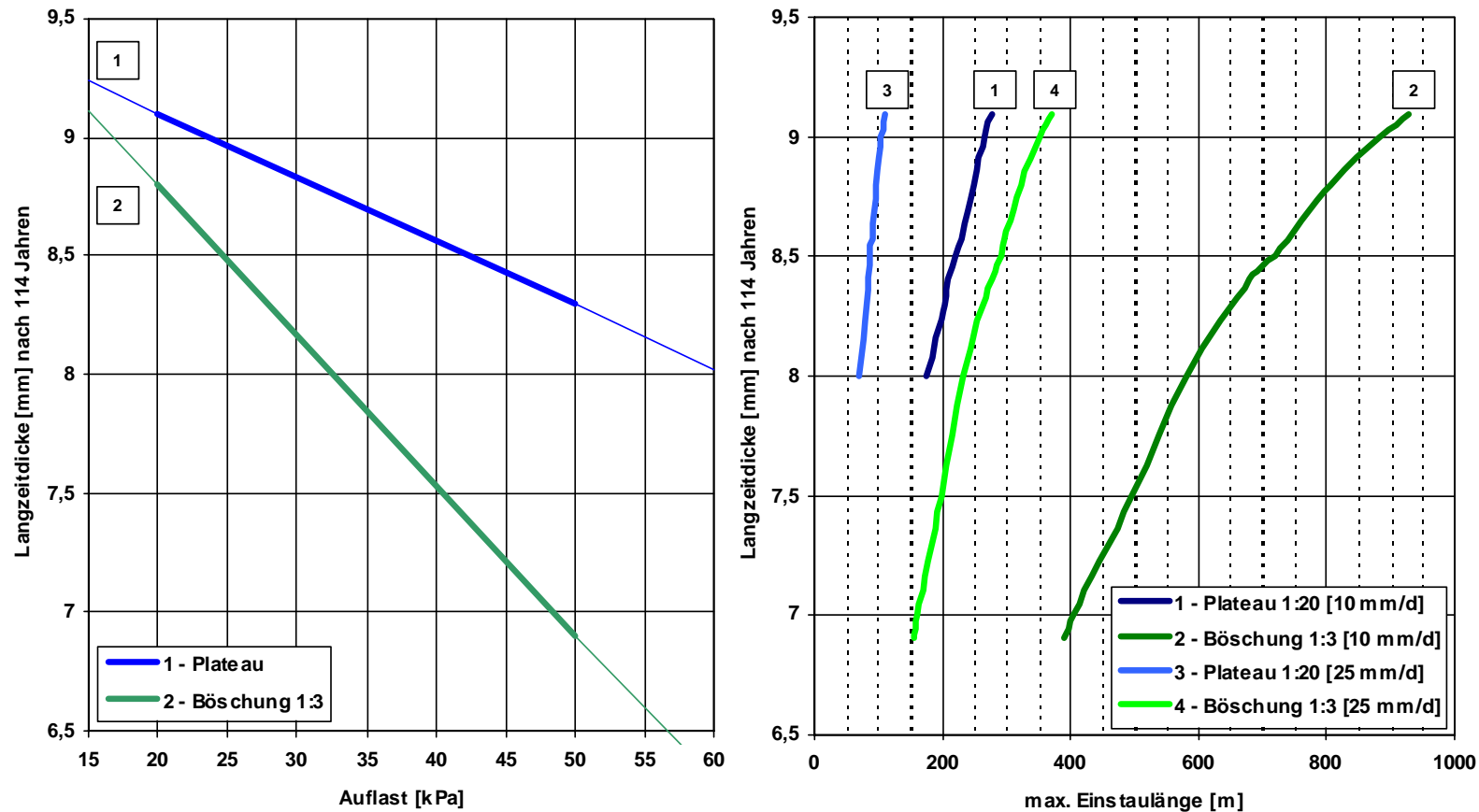
Anlage A2: Literatur

1. Müller, W. W. (Hrsg.): BAM-Richtlinie: Eignungsnachweis für Kunststoff-Dränelemente in Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten. Berlin: BAM (www.bam.de/deponietechnik.htm) 2003.
2. Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT): Grundsätze für den Eignungsnachweis von Dichtungselementen in Deponieabdichtungssystemen. In: GDA-Empfehlung Geotechnik der Deponien und Altlasten. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGt) (Hrsg.). Berlin: Ernst & Sohn 1995.
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. 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.
5. Müller, W. W., Seeger, S. und Thies, M.: Langzeit-Scherfestigkeit von Geokunststoffen aus mehreren Komponenten. In: Tagungsband der 19. Fachtagung "Die sichere Deponie, Sicherung von Deponien und Altlasten mit Kunststoffen". Knipschild, F. W. (Hrsg.). Würzburg: Süddeutsches Kunststoffzentrum (SKZ) 2003, S. L1-L14.
6. 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.
7. N.N.: Secudrän Aufgrabungsergebnisse. Lübbecke: Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG 2002.
8. Müller-Rochholz, J.: Langzeitverhalten von geosynthetischen Dränelementen - Ergebnisse aktueller Ausgrabungen. In: Geokunststoffe in der Geotechnik, Band III, 2. Geokunststoff-Kolloquium. Heerten, G. (Hrsg.). Lübbecke: Naue Fasertechnik GmbH & Co. KG 2001.
9. Müller-Rochholz, J. und Bronstein, Z.: Long-term Behavior of Geodrain Composites in Landfill Capping - Results of Exhumations. In: Proceedings of the Second European Geosynthetics Conference. Cancelli, A., Cazzuffi, D., und Soccodato, C. (Hrsg.). Bologna: Pàtron Editore 2000.

10. *Mueller, W. W., Buettgenbach, B., Jakob, I. und Mann, H.:* Comparison of the oxidative resistance of various polyolefin geotextiles. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(2003), S. 289-315.
11. *Melchior, S. und Steinert, B.:* Die Kapillarsperre - Stand der Technik, Leistungsfähigkeit und Kosten (Capillary barrier - state of the art, performance and costs). In: Oberflächenabdichtungen für Deponien, Technische Entwicklung, Wirtschaftlichkeit, Genehmigungsfähigkeit, Heft 29 der Veröffentlichungen des Grundbauinstituts der TU Berlin. *Savidis, S. A. (Hrsg.)*. Berlin: Universitätsbibliothek der Technische Universität Berlin 2001, S. 19-32.
12. *Degenbeck, M.:* Einfluss eingedrungener Pflanzenwurzeln auf die Funktionsfähigkeit von Kunststoffdränmatten in der Oberflächenabdichtung von Mülldeponien. *Müll und Abfall*, 32(2000), H. 1, S. 9-14.
13. *Müller, W. W. (Hrsg.):* Anforderungen an die Schutzschicht für die Dichtungsbahnen in der Kombinationsdichtung, Zulassungsrichtlinie für Schutzschichten. Berlin: BAM, Labor Deponietechnik 1995.
14. *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.
15. *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.
16. *Seeger, S. und Müller, W. W.:* Langzeitbeständigkeit strukturierter Dichtungsbahnen, BAM-Forschungsbericht 256. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH 2001.
17. *Müller, W. W.:* Langzeit-Scherfestigkeit von Geokunststoffen aus mehreren Komponenten. In: 11. Braunschweiger Deponie- und Dichtwandseminar 2004, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik, Technische Universität Braunschweig, Heft Nr. 74. *Stahlmann, J. (Hrsg.)*. Braunschweig: Institut für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig 2004, S. 213-230.
18. *Hald, A.:* *Statistical Theory with Engineering Applications*. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1952.
19. *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.

Anlage A3: Bemessungsdiagramme des Herstellers

Bemessungsnomogramm (BAM-Gutachten) zur maximalen Einstaulänge, ohne Einsatz von Sammlern, für Secudrän® R201Z WD601Z R201Z



- Erläuterung:
- gilt für Bettung hart/weich
 - Ermittlung der benötigten Druckspannung für Langzeitdicke aus Kriechversuchen, Ermittlung q_{LZ} über Druckspannung (siehe Abschnitt 3 und 9.2, BAM-Gutachten, Az. IV.32/1317/04)
 - beinhaltet zulässige Entwässerungslängen aus Tabelle 3.4 und $\gamma_{FS} = 2,6$ aus Abschnitt 3 und 9.3 des BAM-Gutachtens
 - beinhaltet nicht nach GDA-Empfehlung E2-20 (1997) bei 10 mm/d $FS_{FY} = 2,0$; bei 25 mm/d $FS_{FY} = 1,0$

30.08.2004



Bemessungsnomogramm (GDA-Empfehlung) zur maximalen Einstaulänge, ohne Einsatz von Sammlern, für Secudrän® R201Z WD601Z R201Z



- Erläuterung:
- gilt für Bettung hart/weich
 - Verringerung q_{LZ} über Kriechversuche und Bettung hart/hart, % Ansatz der Verringerung auf hart/weich (siehe auch Abschnitt 9.2, BAM-Gutachten, Az. IV.32/1317/04)
 - beinhaltet nach Naue Fasertechnik / BBG: $FS_{IN} = 1,25$; $FS_{CR} = 1,0$; $FS_{CC} = 1,05$; $FS_{CB} = 1,3$; $FS = 1,7$
 - beinhaltet nach GDA-Empfehlung E2-20 (1997) bei 10 mm/d $FS_{FY} = 2,0$; bei 25 mm/d $FS_{FY} = 1,0$