



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen

**Résistance au vieillissement climatique et
poinçonnement des géosynthétiques**

**Resistance to weathering of geosynthetics and
puncturing behaviour**

Berner Fachhochschule - Architektur, Holz und Bau
Kompetenzzentrum Geotechnik, 3400 Burgdorf
Martin Stolz, Prof. für Geotechnik
Franziska Nyffenegger, Geologin

Tecnotest AG, 8803. Rüslikon
Norbert Tholl, Ing. phys. Technik

**Forschungsauftrag VSS 2008/403 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen beauftragten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que l' (les) auteur(s) mandaté(s) par l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 "Clôture du projet", qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

Il contenuto di questo rapporto impegna solamente l' (gli) autore(i) designato(i) dall'Ufficio federale delle strade. Ciò non vale per il modulo 3 «conclusione del progetto» che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e pertanto impegna soltanto questa.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) commissioned by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen

**Résistance au vieillissement climatique et
poinçonnement des géosynthétiques**

**Resistance to weathering of geosynthetics and
puncturing behaviour**

**Berner Fachhochschule - Architektur, Holz und Bau
Kompetenzzentrum Geotechnik, 3400 Burgdorf
Martin Stolz, Prof. für Geotechnik
Franziska Nyffenegger, Geologin**

**Tecnotest AG, 8803. Rüslikon
Norbert Tholl, Ing. phys. Technik**

**Forschungsauftrag VSS 2008/403 auf Antrag des Schweizerischen
Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)**

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Prof. Martin Stolz, Berner Fachhochschule, 3400 Burgdorf

Mitglieder

Franziska Nyffenegger, Berner Fachhochschule, 3400 Burgdorf
Norbert Tholl, Tecnotest AG, 8803 Rüschlikon

Federführende Fachkommission

Fachkommission 4: Baustoffe

Begleitkommission

Präsident

Balazs Fonyo, Bundesamt für Strassen ASTRA, Ittigen

Mitglieder

Oliver Jacobi, TBA Kt. Basel, Liestal
Alain Burgat, Zürich
Thomas Neidhart, BTS Bauexpert AG, Schlieren
Manfred Partl, Präsident FK 4, EMPA Dübendorf, Dübendorf
Hans-Jörg Stich, Sika Services AG, Sarnen
Ivo Sterba, Institut für Geotechnik, ETH Hönggerberg, Zürich
Edwin Wehrli, Schöllkopf AG, Rümlang
René Riedweg, Soprema AG, Spreitenbach

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen und Verkehrsfachleute VSS
Sihlquai 255, 8005 Zürich

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos unter <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

Impressum	4
Zusammenfassung	6
Résumé	8
Summary	10
1 Auftrag und Zielsetzungen	12
1.1 Ausgangslage / Projektbegründung	12
1.2 Aufgabenstellung	12
1.3 Forschungsauftrag	14
1.4 Erwartete Resultate	14
2 Grundlagen	15
2.1 Stand der Technik	15
2.2 Normen	16
3 Vorgehen Witterungsbeständigkeit	17
3.1 Forschungsprogramm	17
3.2 Produktewahl	17
4 Prüfverfahren Witterungsbeständigkeit	19
4.1 Laborbewitterung	19
4.2 Freibewitterung	22
4.3 Zug- und Dehnprüfungen am schmalen Streifen	23
4.4 Abgleich der Laborgeräte	26
5 Messergebnisse Witterungsbeständigkeit	27
5.1 Vergleich der Laborgeräte	27
5.2 Zug- und Dehnprüfungen an unbewitterten Proben	39
5.3 Messergebnisse der Laborbewitterung	41
5.4 Messergebnisse der Freibewitterung	48
6 Auswertung der Messergebnisse Witterungsbeständigkeit	66
6.1 Anforderungswerte	66
6.2 Berechnungsmethode: Basierend auf minimaler Restfestigkeit	68
6.3 Auswertung der Laborbewitterung	68
6.4 Zusammenhang zwischen Labor- und Freibewitterung	70
6.5 Grenzen der Aussagen	71
6.6 Schlussfolgerungen: Bewitterungsversuche	72
7 Durchdrückverhalten	73
7.1 Aufgabenstellung	73
7.2 Vorgehen	73
7.3 Beschreibung Durchschlagwiderstand nach EN ISO 13433	73
7.4 Beschreibung Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236	75
7.5 Anforderungen nach SN 670 241a	76
7.6 Auswertung von CE-Datenblättern	77
7.7 Schlussfolgerungen: Korrelation Stempeldurchdrückkraft und Durchschlagwiderstand	85
Abkürzungen	86
Literaturverzeichnis	87
Projektabschluss	88
Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	91

Anhang kostenlos unter <http://www.mobilityplatform.ch>

Zusammenfassung

Die im Jahre 1997 eingeführte Norm SN 670 241 "Geotextilien; Anforderungen an die Funktionen Trennen, Filtern und Drainieren" wurde im Jahre 2007 redaktionell überarbeitet. Aufgrund der neu eingeführten Prüfverfahren aus der europäischen Normung muss in den nächsten Jahren die SN 670 241a auch fachlich revidiert werden, da die alten Prüfverfahren nicht mehr angewendet werden dürfen. Zur Revision dieser Norm wurden zwei angewandte Forschungsprojekte VSS 2008/402 und VSS 2008/403 initiiert.

Das vorliegende Projekt VSS 2008/403 widmet sich den Eigenschaften Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geotextilien, wozu neue anwendungsspezifische Anforderungswerte zu erarbeiten sind.

Witterungsbeständigkeit (Wetterbeständigkeit)

Die SN 670 241a bedient sich dem alten Prüfverfahren nach SN 670 240, die in 2009 ausser Kraft gesetzt wurde. In diesem Prüfverfahren ist eine Bestrahlungsdauer von 60 Stunden vorgeschrieben.

Die Witterungsbeständigkeit nach EN 12224 sieht hingegen eine sieben Mal längere Bestrahlungsdauer von 430 Stunden vor. Aufgrund der Versuchszyklen von 1 Stunde Besprühen und 5 Stunden Bestrahlen errechnet sich die von uns gewählte Bewitterungsdauer von 420 Stunden nach 70 Zyklen mit der geforderten Bestrahlungsmenge von 50 MJ/m².

Nach der Bewitterung wird das Prüfverfahren gemäss EN 12226 zwecks Vergleich von bewitterten und unbewitterten Probekörpern angewandt. Dazu werden Zugversuche am schmalen Streifen für Geovliese nach EN 29073-3 und für Geogewebe nach EN ISO 13934-1 durchgeführt, um die Restfestigkeit zu ermitteln.

Das Primärziel ist, die Anforderungswerte nach dem bisher angewandten Prüfverfahren SN 670 240 mit Anforderungswerten zu ersetzen, die sich auf die neuen Prüfverfahren von EN 12226 und EN 12224 beziehen. Zu den Festigkeiten mit der längeren Laborbewitterung nach EN 12224 lagen in der Schweiz bis zum vorliegenden Forschungsprojekt keine Erfahrungen vor. Insgesamt werden 11 Geotextilien – darunter 7 Geovliese und 4 Geogewebe – nach beiden Verfahren geprüft und die Ergebnisse miteinander verglichen, um ein Vorschlag für neue Anforderungswerte zu unterbreiten.

Das Resultat der Versuchsreihe ergab Folgendes: Die mittlere Restfestigkeit der untersuchten normkonformen Produkte wird nach 420 Stunden Laborbewitterung zu 60% ermittelt, was der geforderten Restfestigkeit gemäss Kategorie der höchstzulässigen Freiliegedauer von mindestens 1 Monat in der EN 13249 Anhang B entspricht. Auf Grund dieser Übereinstimmung können die Anforderungskataloge gemäss Anhang B der europäischen Normen EN 13249...EN 13257 und der EN 13265 bestätigt werden.

Als Sekundärziel wird der Zusammenhang zwischen der neuen Laborbewitterung (EN 12224) und einer Freibewitterung von bis zu 12 Monaten gesucht. Dazu wurden 4 Geotextilien – darunter 3 Geovliese und 1 Geogewebe – in Burgdorf freibewittert. Es zeigt sich, dass trotz grösserer Bestrahlungsmenge im Freien, die Restfestigkeit gegenüber der laborbewitterten Produkte nicht geringer ist. Diese Erkenntnis rechtfertigt den zukünftigen Gebrauch des Verfahrens gemäss EN 12224.

Durchdrückverhalten

Die Robustheit eines Geotextils wird durch dessen Durchdrückverhalten beschrieben. In der SN 670 241 werden Anforderungen an den Durchschlagwiderstand (Kegelfallversuch) nach EN ISO 13433 gestellt, nicht jedoch an die Stempeldurchdrückkraft (Durchdrückverhalten) nach EN ISO 12236. Erfahrungen aus Laboratorien zeigen hingegen, dass die Resultate der Stempeldurchdrückkraft bedeutend grössere Messgenauigkeiten aufweisen, als Resultate des Durchschlagwiderstands. Zwischen den beiden Eigenschaften Durchdrückverhalten und Durchschlagwiderstand soll ein allfälliger Zusammenhang gefunden werden, aufgrund dessen neue Anforderungen an die Stempeldurchdrückkraft gestellt werden sollen.

Die statistische Auswertung der Angaben auf dem CE-Begleitdokument von 74 Produkten zeigt, dass zwischen Stempeldurchdrückkraft und Durchschlagwiderstand ein verlässlicher Zusammenhang besteht. Dies ermöglicht, dass zur Revision der Norm SN 670 241a für die Funktionen Trennen und Filtern neue Anforderungswerte an die Stempeldurchdrückkraft vorgeschlagen werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sind für die Funktionen Schützen, Drainieren und Bewehren ebenso anwendbar.

Résumé

La norme suisse SN 670 241 « Géotextiles - Exigences pour les fonctions de séparation, de filtration et de drainage » a été introduite en 1997 et a été soumise à une révision rédactionnelle en 2007. Sur la base des nouvelles méthodes d'essai, provenant de la normalisation européenne, la SN 670 241a doit être révisée également du point de vue technique, car les anciennes méthodes d'essai ne doivent plus être utilisées. Pour la révision de cette norme deux projets de recherche, VSS 2008/402 et VSS 2008/403 ont été lancés.

Le présent projet VSS 2008/403 s'occupe des propriétés des géotextiles quant à leur résistance au vieillissement climatique et leur résistance au poinçonnement, pour lesquelles il faut développer de nouvelles d'exigences appropriées à une utilisation spécifiques.

Résistance au vieillissement climatique

La SN 670 241a utilise l'ancienne méthode d'essai selon SN 670 240, qui n'est plus en vigueur depuis 2009. Cette méthode prescrit une période d'exposition au rayonnement UV de 60 heures.

La résistance au vieillissement selon EN 12224 prévoit par contre une exposition sept fois plus longue, soit 430 heures. Sur la base de cycles d'une heure de pulvérisation et de 5 heures d'irradiation une durée totale d'exposition aux intempéries de 420 heures après 70 cycles est simulée avec une intensité de rayonnement de 50 MJ/m².

Ensuite, la méthode d'essai selon EN 12226 est appliquée pour comparer les éprouvettes soumises et non soumises aux conditions climatiques. Pour cela des essais en traction à l'aide de bandes étroites selon EN 29073-3 pour des nontissés et selon EN EN ISO 13934-1 pour des tissés sont effectués, afin de déterminer la résistance résiduelle.

L'objectif premier est de remplacer les valeurs exigées selon SN 670 240 et utilisée jusqu'à présent par des valeurs, qui se réfèrent aux normes actuelles EN 12226 et EN 12224. Avant le projet de recherche, on ne disposait en Suisse d'aucune expérience laboratoire sur les résistances avec une durée de rayonnement UV plus longue. Du total 11 géotextiles – dont 7 nontissés et 4 tissés – sont contrôlés par les deux procédés d'essais et les résultats ont été comparés pour pouvoir proposer des nouvelles valeurs d'exigences.

Le résultat des essais ont été le suivant : La résistance résiduelle moyenne des produits analysés, conformes aux normes, exposé en laboratoire après 420 heures est établie à 60 %, ce qui atteint la résistance résiduelle exigée selon la catégorie de durée d'exposition à l'air libre maximale admissible de 1 mois selon EN 13249, annexe B. En raison de cette conformité, les catalogues d'exigences selon l'annexe B des normes européenne EN 13249...EN 13257 et EN 13265 peuvent être confirmés.

Le second objectif est de chercher un rapport entre la nouvelle exposition au vieillissement climatique en laboratoire (EN 12224) et une exposition de 12 mois à l'air libre. Pour cela, 4 géotextiles – dont 3 nontissés et 1 tissé – furent exposés à l'air libre à Berthoud (Burgdorf, Suisse). Il apparaît que, malgré une plus grande quantité de rayonnement à l'air libre, la résistance résiduelle n'est pas moindre que pour les produits exposés au vieillissement climatique modélisé en laboratoire. Ce résultat justifie l'utilisation future de la méthode d'essai selon EN 12224.

Résistance au poinçonnement statique

La robustesse d'un géotextile est décrite par leur comportement au poinçonnement. La SN 670 241 fixe les exigences de résistance à la perforation dynamique (essai par chute d'un cône) selon EN ISO 13433, mais pas celles relatives au poinçonnement statique (essai CBR) selon EN ISO 12236. Des expériences en laboratoires montrent, que les résultats du poinçonnement statique présentent une significativement plus grande précision de mesure que les résultats de résistance à la perforation dynamique. Une éventuelle corrélation entre ces deux caractéristiques est à chercher, sur la base de laquelle de nouvelles exigences quant au poinçonnement statique pourrait être fixées.

L'analyse statistique des données du document d'accompagnement CE de 74 produits montrent qu'il existe une corrélation fiable entre la résistance au poinçonnement statique et la résistance à la perforation dynamique. Grace à cette corrélation de nouvelles valeurs d'exigences sont proposées pour le poinçonnement statique dans le cadre de la révision de la norme SN 670 241a pour les fonctions de séparation et de filtration. Les résultats obtenus sont également utilisables pour les fonctions de protection, de drainage et de renforcement.

Summary

The Swiss Standard SN 670 241 “Geotextiles; Requirements with the functions of separation, filtration and drainage” was introduced 1997 and editorial amendments were made on it in 2007. Because of newly introduced test methods coming from the European standardisation it became necessary, that the SN 670 241a has to be modified, as the old tests may no longer be used. In order to revise this standard, two research projects, VSS 2008/402 and VSS 2008/403, have been launched.

The present project VSS 2008/403, is focussing on the resistance to weathering and perforation behaviour of geotextiles, for which new application-specific requirements are to develop.

Resistance to weathering

SN 670 241a uses a weathering test described in SN 670 240, which became invalid in 2009. This test method specifies 60 hours of exposure.

On the other side, the EN 12224 prescribes a seven time longer exposure of 430 hours. On the basis of a cycle of 1 hour of spraying and 5 hours of irradiation a total weathering duration of 420 hours is achieved after 70 cycles with an irradiation intensity of 50 MJ/m².

After the exposure according to the EN 12226 weathered samples to virgin samples are compared. For that purpose, tensile tests are conducted on narrow strips; for non-woven geotextiles after EN 29073-3 and for woven geotextiles after EN ISO 13934-1 to determine the residual strength.

The priority objective is to replace requirements of the previously used test after SN 670 240 by a valid new test according to EN 12224. Until the research project in question there were no experience available in Switzerland on the resistance of the longer laboratory weathering test. Totally 11 geotextiles – 7 non-wovens and 4 wovens – are tested after both test methods and the results are compared together in order to propose new requirements.

The result of the tests was as follows: After 420 hours of laboratory weathering, the average residual strength of the tested, legally compliant products was determined at 60 %, which corresponds to the required residual strength for the longest allowable exposure category of at least one month. Based on this accordance, the requirement catalogues under appendix B of the European standards EN 13249...EN 13257 and EN 13265 can be confirmed.

As a secondary objective, the coherence between the new artificial laboratory weathering test (EN 12224) and outdoor exposure of up to 12 months has to be investigated. To do this, four geotextiles – three non-wovens and one woven – were subjected to outdoor weathering in Burgdorf, Switzerland. The results show, that the residual strength of geotextiles exposed outdoors is not inferior to the same of laboratory-weathering, despite the greater level of outdoor exposure. This finding justifies the future use of the procedure according to EN 12224.

Static puncture

Robustness of geotextiles is described by their perforation behaviour. In the SN 670 241 the dynamic perforation test (cone drop test) is required after EN ISO 13433, but not the static puncture test (CBR test) after EN ISO 12236. However, laboratory research show that static puncture test produces a considerably greater measurement accuracy than the dynamic perforation test. A correlation between the cone drop test and CBR test should be found, in order to set new requirement values on the CBR test.

The statistical evaluation of the data sheets coming from the CE accompanying document of 74 fabrics show, that there is a reliable correlation between the static puncture test and the dynamic perforation test. Thus, new requirements are suggested on the static puncture resistance for separating and filtering geotextiles on the occasion of the revision of the SN 670 241a. This new insight can also be applied at the function of protection, drainage and reinforcement.

1 Auftrag und Zielsetzungen

1.1 Ausgangslage / Projektbegründung

Die im Jahre 1997 eingeführte Norm SN 670 241 "Geotextilien; Anforderungen an die Funktionen Trennen, Filtern und Drainieren" wurde im Jahre 2007 redaktionell überarbeitet (SN 670 241a). Aufgrund der neuen Prüfverfahren der Europäischen Normen muss in den nächsten Jahren die SN 670 241 zusätzlich fachlich revidiert werden.

Eines der neuen Prüfverfahren behandelt die Witterungsbeständigkeit von Geokunststoffen. Bei diesem neuen Prüfverfahren nach EN 12224 beträgt die Bewitterungsdauer 420 Stunden gegenüber 60 Stunden nach der Schweizer Norm SN 670 240.

Zur fachlichen Revision gehört auch das Suchen eines allfälligen Zusammenhangs zwischen dem Durchschlagswiderstand aus der EN ISO 13433 und der Stempeldurchdrückkraft der EN ISO 12236.

Mit der fachlichen Revision der SN 670 241 werden die derzeit bestehenden technischen Handelshemmnisse zum Europäischen Wirtschaftsraum (EWR) beseitigt.

1.2 Aufgabenstellung

Im vorliegenden Projekt wird an normkonformen Geokunststoffen die Restfestigkeit nach dem bisher angewandten Prüfverfahren der Witterungsbeständigkeit nach SN 670 240 und dem neuen Prüfverfahren nach SN EN 12224:2009 bestimmt. Die nach neuem Prüfverfahren ermittelte Restfestigkeit ist mit dem geforderten Wert der Restfestigkeit gemäss EN 13249 Anhang B in der Kategorie der höchstzulässigen Freiliegedauer von 1 bis 4 Monaten zu vergleichen. Ebenso ist eine Korrelation zwischen Durchschlagswiderstand und Stempeldurchdrückkraft herzustellen. Die Erkenntnisse dienen als Grundlage für die Revision der SN 670 241.

Eigenschaft "Witterungsbeständigkeit" (Wetterbeständigkeit)

Die Norm SN 670 241a enthält die Anforderungen an die Witterungsbeständigkeit. Das Prüfverfahren ist in der SN 670 240 beschrieben, die Bestrahlungsdauer beträgt dabei 60 Stunden. Die Norm SN 670 240 wurde mit der Einführung der SN 670 090 (gültig ab 1. Februar 2009) ersetzt. Die Bewitterungsprüfung nach der SN 670 240 wurde dabei ersatzlos gestrichen. Auf EN-Ebene wurde mit der Norm EN 12224 "Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Witterungsbeständigkeit" eine Bewitterungsprüfung mit einer Bestrahlungsdauer von 420 Stunden eingeführt. Für diese Eigenschaft liegen in der Schweiz keine Erfahrungen vor.

Zwischen den zwei verschiedenen Bewitterungsprüfungen (Witterungsbeständigkeit nach der SN 670 240 und Witterungsbeständigkeit nach der EN 12224) soll ein Zusammenhang bestimmt werden. Aufgrund des erarbeiteten Zusammenhangs können bei der Überarbeitung der SN 670 241a Anforderungen an die Witterungsbeständigkeit für die Funktionen Trennen und Filtern gestellt werden.

Eigenschaft "Stempeldurchdrückkraft"

In der SN 670 241 sind Anforderungen an den Durchschlagwiderstand nach EN ISO 13433 gestellt, nicht aber an die Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236. Praxiserfahrungen zeigen beim Leistungsvermögen für die Eigenschaft Durchschlagwiderstand nach EN ISO 13433 grosse Schwankungen und geringe Schwankungen beim Leistungsvermögen für die Eigenschaft Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236. Zwischen den beiden Eigenschaften (Durchschlagwiderstand und Stempeldurchdrückkraft) soll ein allfälliger Zusammenhang bestimmt werden. Aufgrund des allfälligen Zusammenhangs können bei der Überarbeitung der SN 670 241 Anforderungen an die mechanische Eigenschaft Stempeldurchdrückkraft für die Funktionen Trennen und Filtern gestellt werden.

1.3 Forschungsauftrag

Das Bundesamt für Strassen beauftragte am 20. Januar 2010 die Forschungsgemeinschaft (Forschungsteam) mit der Durchführung der vorliegenden Forschungsarbeit. Das Forschungsteam setzt sich zusammen, wie folgt:

- Berner Fachhochschule, Architektur Holz und Bau, Kompetenzzentrum Naturereignisse und Geotechnik, Burgdorf (Federführung)
- Tecnotest AG, Rüslikon

Die Begleitkommission, welche das Projekt inhaltlich, terminlich und finanziell überwacht, setzt sich aus folgenden Personen zusammen:

- Balazs Fonyo, Bundesamt für Strassen, Bern (Präsident Begleitkommission)
- Oliver Jacobi, Kantonsingenieur BL, Bau- und Umweltdirektion, Liestal
- Alain Burgat, TenCate Geosynthetics, Zürich
- Thomas Neidhart, BTS Bauexpert AG, Schlieren
- Manfred Partl, Präsident FK 4, EMPA Dübendorf, Dübendorf
- Hans-Jörg Stich, Sika Services AG, c/o Sucoflex AG, Pfäffikon
- Ivo Sterba, Institut für Geotechnik, ETH Höggerberg, Zürich
- Edwin Wehrli, Schöllkopf AG, Rümlang
- René Riedweg, Soprema AG, Spreitenbach

1.4 Erwartete Resultate

Die Forschungsarbeit liefert die notwendigen Erkenntnisse, die notwendigen Grundlagen sowie einen Vorschlag für die Festlegung von Anforderungen an die Eigenschaften "Witterungsbeständigkeit" und "Stempeldurchdrückkraft" von Geotextilien bei der Überarbeitung der Norm SN 670 241. Die Erkenntnisse können zusätzlich ebenfalls bei kommenden Überarbeitungen der Schweizer Normen SIA 271 (Abdichtungen von Hochbauten) und SIA 272 (Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau) sowie der einschlägigen Normpositionskataloge verwendet werden.

Weitere erwartete Erkenntnisse der Forschungsarbeit

- Zusammenhang zwischen SN- und EN /ISO-Normen betreffend Witterungsbeständigkeit von Geotextilien
- Zusammenhang zwischen Witterungsbeständigkeit im Laborversuch und Witterungsbeständigkeit im Feldversuch
- Grundlagen für Anforderungen an die Witterungsbeständigkeit bei der Überarbeitung der SN 670 241
- Zusammenhang zwischen Stempeldurchdrückkraft und Eigenschaft Durchschlagswiderstand von Geotextilien
- Grundlagen für Anforderungen an die Stempeldurchdrückkraft bei der Überarbeitung der SN 670 241

2 Grundlagen

2.1 Stand der Technik

In einer erweiterten mehrsprachigen Literaturrecherche (deutsch und englisch) wurde nach folgenden Suchkriterien recherchiert:

- Witterungsbeständigkeit (Wetterbeständigkeit) und Geokunststoffe
- UV-Stabilität und Geokunststoffe
- Verwitterungsverhalten und Geokunststoffe
- Laborbewitterung
- Freibewitterung
- Alterungsvorgänge und Lebensdauer von Geokunststoffen
- etc.

Bei der Recherche wurden keine Unterlagen gefunden, welche einen Zusammenhang zwischen der Witterungsbeständigkeit nach 60 Stunden und derjenigen nach 420 Stunden dokumentieren.

Literatur

Die zum Thema Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten wichtigen Dokumente sind im Literaturverzeichnis zusammengestellt.

In der Ausgabe 3/2009 der Fachzeitschrift Geotechnik findet sich die Publikation des Forschungsprojekts „Alterung von Polypropylen-Geovliesstoffen bei künstlicher und bei natürlicher Bewitterung“. Darin kann nachgewiesen werden, dass das im Freien auftretende Alterungsverhalten, durch künstliche Bewitterung im UV-Fluoreszenzlampe- und Xenonbogengerät bei Berücksichtigung der einwirkenden UV-Strahlungsdosen weitestgehend zufriedenstellend simuliert werden kann. In Bezug auf das mechanische Verhalten ergaben sich zwischen den verschiedenen Bewitterungsgeräten keine signifikanten Unterschiede [1].

Im „Handbuch der PE-HD Dichtungsbahnen in der Geotechnik“ wird das Verfahren der künstlichen Bewitterung erläutert und die Versuchsanordnung bis ins Detail beschrieben. Es wird auf die gängigen Normenwerke verwiesen [2].

Die Technische Universität München hat mehrere Forschungsarbeiten im Zusammenhang mit Geotextilien veröffentlicht. Bei den Arbeiten „Aufstellen eines Systems für die Anforderung an Geotextilien und Geokunststoffen hinsichtlich ihrer Beanspruchung beim Einbau“ [3] und „Festigkeitsprüfungen an Geotextilien“ [4] wird der Festigkeitsabfall infolge Bewitterung nicht genauer untersucht.

Das Buch „Weathering Degradation of Polyester and Polypropylene Geotextiles“ erläutert Resultate aus Versuchen mit bewitterten Geotextilien. Die Prüfstücke werden in einer Zeitspanne von ein bis vier Monaten bewittert. Bei den Versuchen handelt es sich um natürliche Bewitterung. Es wird auf die Normenwerke NBR Brazilian standards verwiesen [5].

2.2 Normen

Als Grundlagen für dieses Projekt dienten folgende Normen:

- SN 670 090 (2009), Geokunststoffe, Grundnorm
- SN 670 240 (1996): Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Begriffe und Produktebeschreibung (ausser Kraft)
- SN 670 241a (2007): Geokunststoffe - Anforderungen für die Funktionen Trennen, Filtern, Drainieren
- EN ISO 9862 (2005): Geokunststoffe – Probenahme und Vorbereitung der Messproben
- EN 12224: 2000 / SN 670 741: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Bestimmung der Witterungsbeständigkeit
- EN ± (2012): Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – allgemeine Prüfverfahren für die Bewertung nach Beständigkeitsprüfungen
- SN EN ISO 4892-1 (2001): Kunststoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten - Teil 1: Allgemeine Anleitung
- SN EN ISO 4892-3 (2000): Kunststoffe – Künstliches Bestrahlen oder Bewittern in Geräten – Teil 3: UV-Leuchtstofflampenstrahlung
- EN 13249:2000/A1:2005 / SN 670 249b-NA: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung beim Bau von Strassen und sonstigen Verkehrsflächen
- EN ISO 13433: 2006 / SN 670 474: Geokunststoffe – Dynamischer Durchschlagversuch (Kegelfallversuch)
- EN ISO12236: 2006 / SN 670 711a: Geokunststoffe – Stempeldurchdrückversuch (CBR)
- EN 12297:2004: Abdichtungsbahnen – Bitumen-, Kunststoff- und Elastomerbahnen für Dachabdichtungen – Verfahren zur künstlichen Alterung bei kombinierter Dauerbeanspruchung durch UV-Strahlung, erhöhte Temperatur und Wasser
- DIN EN 29073-3:1992-08: Textilien - Prüfverfahren für Vliesstoffe; Teil 3: Bestimmung der Höchstzugkraft und der Höchstzugkraftdehnung
- EN ISO 13934-1:1999: Textilien – Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden – Teil 1: Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraft-Dehnung mit dem Streifen-Zugversuch

3 Vorgehen Witterungsbeständigkeit

3.1 Forschungsprogramm

Planung und Vorbereitung der Laborwitterung

Die Laborwitterung wurde parallel an der Berner Fachhochschule (BFH) und in der Tecnotest AG (TT) durchgeführt. Beide Prüfstandorte arbeiteten mit demselben Typ Bewitterungsgerät, siehe Kapitel 4.1. Das bedeutete, dass vor den eigentlichen Bewitterungsversuchen zuerst Vorversuche zur Abgleichung der beiden Geräte durchgeführt werden mussten. Es waren 3 Vorversuche zwecks Kalibrierung und Abgleich notwendig, bis mit den Hauptversuchen gestartet werden konnte.

Freibewitterung

Während 12 Monaten (Juli 2010 bis Juli 2011) wurden Geokunststoffe sowohl im Labor, wie auch im Freien der Bewitterung ausgesetzt. Für die Freibewitterung wurde in Burgdorf eine Anlage konstruiert, siehe Kapitel 4.2. Jeden Monat wurde ein Stück vom Prüfmuster abgeschnitten und auf seine Restfestigkeit an der TT geprüft. Ziel der Freibewitterung war, einen eventuellen Zusammenhang zur Laborwitterung herzustellen.

Vor Versuchsbeginn der Freibewitterung wurde ein Prüfmuster der Geokunststoffe lichtgeschützt in einem dunklen, trockenen und ungeheizten Raum gelagert. Nach 12 Monaten Lagerung wurden diese Prüfmuster ebenfalls auf ihre Restfestigkeit geprüft. Grund für diese zweite Bestimmung der Restfestigkeit nach 12 Monaten war, eine mögliche Alterung der Geokunststoffe zu erfassen.

Restfestigkeit und Restdehnung

Alle Zug- und Dehnprüfungen zur Bestimmung der Restfestigkeit und Restdehnung, die jeweils nach der Labor- und auch nach Freibewitterung durchzuführen waren, wurden von der TT gemacht.

Auswertung

Alle Messergebnisse wurden danach von der Berner Fachhochschule (BFH) zusammengetragen und ausgewertet.

3.2 Produktwahl

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden 11 in der Schweiz erhältliche Geokunststoffe ausgewählt und geprüft. Die Auswahl der Produkte erfolgte nach den Kriterien der Ausgewogenheit, Repräsentativität und der Wirtschaftlichkeit durch das Forschungsteam in Absprache mit den Mitgliedern der Begleitkommission.

- 4 Geovliese (vernadelt und thermisch behandelt)
- Eine Geovlies-Produktfamilie mit 3 unterschiedlichen Flächenmassen (150, 250 und 300 g/m², vernadelt und thermisch behandelt)
- 2 Geogewebe (Bändchengewebe)
- 2 Geogewebe (Filtergewebe)

Die zu prüfenden Produkte sind aus Gründen der Vertraulichkeit anonymisiert worden, Tab. 3.1. Die Beschaffung der Geokunststoffe erfolgte durch die BFH nach dem Versand eines Informationsbriefs an die Produzenten. Die Geokunststoffe wurden in Burgdorf lichtgeschützt und in einem trockenen, unbeheizten Raum gelagert.

Insgesamt wurden 11 Geokunststoffe auf Witterungsbeständigkeit im Laborversuch und 4 davon gleichzeitig im Feldversuch getestet.

Tab. 3.1 Auflistung der ausgewählten Geokunststoff-Produkte
(Datengrundlage: SVG-Produktkatalog 2010)

Produktbeschreibung		Flächenbezogene Masse [g/m ²]		Charakteristische Öffnungsweite [mm]		Bewitterung	
Bezeichnung	Produkttyp	Min	Max	Min	Max	Labor	Feld
403-01	Geovlies*	90	140	0.10	0.15	x	x
403-02	Geovlies*	130	190	0.09	0.14	x	x
403-03	Geovlies*	220	290	0.08	0.13	x	x
403-04	Geovlies	80	130	0.06	0.16	x	
403-05	Geovlies	120	170	0.06	0.12	x	
403-06	Geovlies	130	170	0.06	0.14	x	
403-07	Geovlies	165	225	0.05	1.30	x	
403-08	Geogewebe	140	170	0.10	0.15	x	
403-09	Geogewebe	73	93	0.17	0.27	x	
403-11	Geogewebe	150	190	0.23	0.30	x	
403-12	Geogewebe	80	120	0.60	1.00	x	x

*Produkte derselben Marke

4 Prüfverfahren Witterungsbeständigkeit

4.1 Laborbewitterung

Prüfanlage

Für die Laborbewitterung wurde das Bewitterungsgerät QUV 08-15-249-77-Spray 36.9508 Accelerated Weathering Tester Model QUV/Spray with Solar Eye Irradiance Control (Abb. 4.2) eingesetzt. Abb. 4.3 zeigt das Bewitterungsgerät schematisch im Querschnitt. Die Prüfmuster wurden gemäss Norm EN ISO 13934-1 (siehe Kapitel 4.3) ausgeschnitten und in einen Aluminiumrahmen eingespannt.

Anschliessend wurden die Prüfmuster mit 4 UVA-340 Lampen während des Trockenzyklus bei einer Temperatur von $50\pm 3^{\circ}\text{C}$ bestrahlt (Abb. 4.4). Diese Lampen simulieren das Sonnenlicht im kritischen Kurzwellenbereich zwischen 365 nm und dem unteren Grenzwert für Sonnenlicht von 295 nm. Nach 400 Betriebsstunden leuchtet automatisch das Lämpchen „Calibrate“ am Gerät auf. Die Lampen werden neu kalibriert. Während des Nasszyklus sind die Lampen ausgeschaltet und die Prüfmuster werden mit $7-10 \text{ l/s/m}^2$ (EN 12297:2004) demineralisiertem Wasser besprüht (Abb. 4.5). Das verwendete demineralisierte Wasser zum Besprühen der Prüfkörper darf höchstens eine Leitfähigkeit $500 \mu\text{S/m}$ aufweisen (EN 1297:2004).



Abb. 4.2 Anlage Laborbewitterung: Gerät QUV 08-15-249-77-Spray 36.9508. Das Prüfmuster (sichtbar bei geöffneter Schwingtüre) ist in ein Aluminiumrahmen eingespannt. Die blauen Pfeile auf dem Prüfmuster zeigen in Längsrichtung und in Querrichtung zur Rollenbahn.

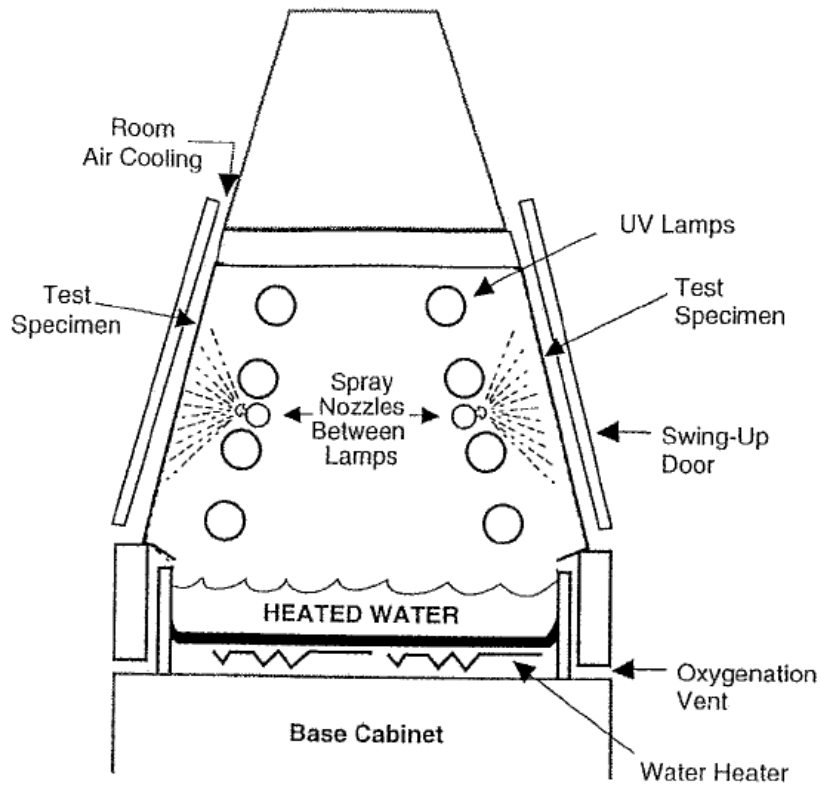


Abb. 4.3 Schema des Bewitterungsgerätes QUV 08-15-249-77-Spray 36.9508.

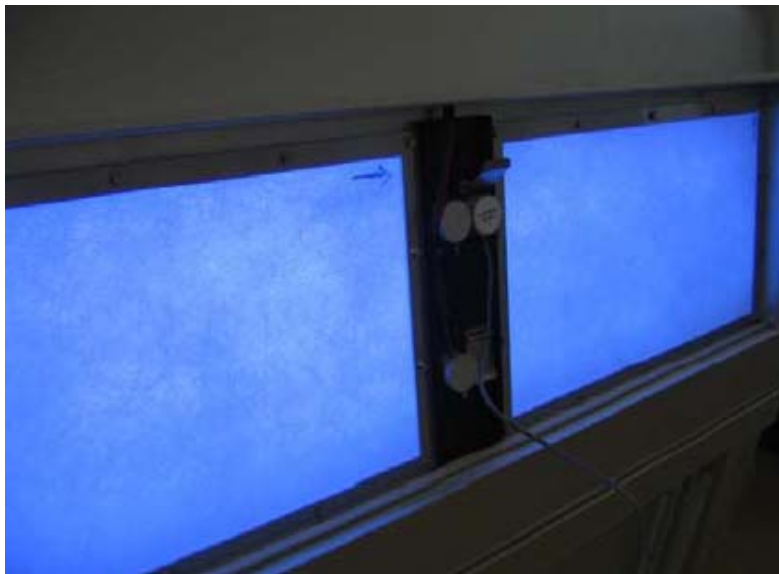


Abb. 4.4 Anlage Laborbewitterung: Gerät QUV 08-15-249-77-Spray 36.9508 mit eingebautem Prüfmuster und laufender Bestrahlung durch 4 UVA-340 Lampen bei geöffneter Schwingtür.



Abb. 4.5 Das linke Bild zeigt die Anlage ohne Prüfmuster beim Besprühen. Das rechte Bild zeigt im Detail zwei von gesamthaft 12 Spritzdüsen in Funktion.

Die Geokunststoffe wurden wie folgt bewittert:

60 Stunden Bewitterung nach SN 670 240

Die Proben wurden während 60 Stunden Bewitterung einer totalen Bestrahlungsmenge von 7 MJ/m^2 ausgesetzt. Die Bewitterung ist kombiniert mit einem Nass-Trocken-Zyklus von 1 Stunde Besprühen mit einer Wassertemperatur von $25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ und 5 Stunden Bestrahlung mit 4 UVA-340 Lampen bei einer Schwarzstandard-Temperatur von $50 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$.

420 Stunden Bewitterung nach EN 12224

Die Proben wurden während 420 Stunden Bewitterung einer totalen Bestrahlungsmenge von 50 MJ/m^2 ausgesetzt. Die Bewitterung ist kombiniert mit einem Nass-Trocken-Zyklus von 1 Stunde Besprühen mit einer Wassertemperatur von $25 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ und 5 Stunden Bestrahlung mit 4 UVA-340 Lampen bei einer Schwarzstandard-Temperatur von $50 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Aufgrund der Versuchszyklen von 1 Stunde Besprühen und 5 Stunden Bestrahlen errechnet sich die von uns gewählte Bewitterungsdauer von 420 Stunden nach 70 Zyklen mit der geforderten Bestrahlungsmenge von 50 MJ/m^2 .

Vorversuche und Hauptversuche

Die Laborbewitterung der Geokunststoffe wurde parallel in der Tecnotest AG (TT) und an der BFH durchgeführt. Das hatte zur Folge, dass vor dem eigentlichen Projektstart parallel Vorversuche zur Abgleichung der beiden Bewitterungsgeräte durchgeführt werden mussten.

Die Vorversuche wurden, wie später die Prüfmuster, 60 Stunden nach SN 670 240 und 420 Stunden lang nach EN 12224 bewittert. Anschliessend wurden die Geokunststoffe in der TT auf Zug- und Dehnverhalten nach SN EN 29073-03 (für Geovliese) und EN ISO 13934-1 (für Geogewebe) geprüft, siehe Kapitel 4.3.

4.2 Freibewitterung

Versuchsanlage

Für die Freibewitterung wurde die ehemalige Gründachversuchsanlage der BFH, Standort Tiergarten, benutzt. Die Geokunststoffe wurden auf eine Länge von 4 m und eine Höhe von 1 m zugeschnitten und auf eine aus Holz aufgebaute und mit Geogitter versehene Anlage aufgespannt (Abb. 4.6 und Abb. 4.7). Mit einer Holzleiste wurde der Prüfkörper unten und oben befestigt.

Vier Produkte wurden während eines Jahres (Juli 2010 bis Juli 2011) in einem Winkel von 45° und einer Südwestexposition (210°) der Freibewitterung ausgesetzt. Jeden Monat wurde ein Streifen von 50 cm Breite und 100 cm Länge abgeschnitten und in der Tecnotest AG auf sein Zug- und Dehnverhalten nach SN EN 29073-03 (für Geovliese) und EN ISO 13934-1 (für Geogewebe) geprüft, siehe Kapitel 4.3.



Abb. 4.6 Anlage Freibewitterung mit Neigung 45° und Südwestexposition (210°)

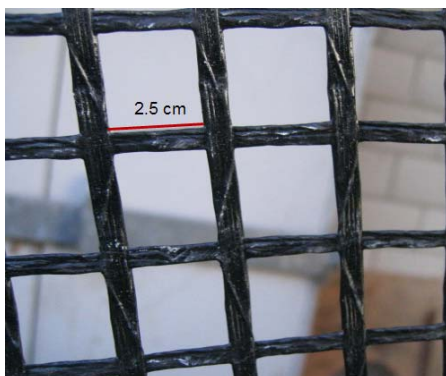


Abb. 4.7 Die Geokunststoffe wurden auf ein Geogitter (linkes Bild) für die Freibewitterung aufgespannt und mit einer Fixierleiste (rechtes Bild) unten und oben fixiert.

Globalstrahlung (Datenquelle IDAWEB)

Basierend auf den von IDAWEB erhaltenen Daten von Zollikofen bei Bern, ergibt sich für den Zeitraum vom und mit 13. Juli 2010 bis und mit 13. Juli 2011 eine UV-Strahlungsintensität von 333.6 in MJ/m².

Daraus folgt, dass die UV-Strahlungsintensität bei der Freibewitterung um den Faktor 6.7 (bei 420 Std. und 50 MJ/m²) und um den Faktor 47.7 (bei 60 Std. und 7 MJ/m²) erhöht ist. Es müsste somit die Restfestigkeit bei den freibewitterten Proben kleinere Werte aufweisen, da sie stärker durch die UV-Strahlungsintensität beansprucht worden sind.

Niederschlag (Datenquelle IDAWEB)

Der Gesamtniederschlag im Zeitraum 13. Juli 2010 bis 13. Juli 2011 beträgt 890.7 mm. Die versprühte Wassermenge (10 ± 3 l/min/m²), die bei der 420 Stunden-Laborbewitterung während 70 Stunden versprüht wurde, beträgt ca. 42'000 Liter, was einem Faktor von 47 entspricht. Auf die chemische Analyse des Regenwassers wurde verzichtet.

Tagestemperaturschwankungen (Datenquelle IDAWEB)

Die grösste Temperaturschwankung innerhalb eines Tages im Zeitraum 13. Juli 2010 bis 13. Juli 2011 beträgt 18.8 °C und die kleinste Temperaturschwankung innerhalb eines Tages 1.1 °C. Bei der Laborbewitterung beträgt die Temperaturschwankung 25 °C (5 Stunden Trockenzyklus bei 50 ± 3 °C und 1 Stunde besprühen bei 25 ± 3 °C).

Klimafaktoren wie Wind, Nebel und Schnee wurden nicht berücksichtigt. Im Vergleich mit der Laborbewitterung ging es nur um die Gegenüberstellung der Strahlungs- und Niederschlagsmenge sowie den Tagestemperaturschwankungen, denen die Geokunststoffe ausgesetzt wurden.

4.3 Zug- und Dehnprüfungen am schmalen Streifen

Versuchsprinzip

Ein Prüfkörper mit vorgegebener Grösse 50 ± 0.5 mm Breite und ca. 300 mm Länge wird bei konstanter Prüfgeschwindigkeit bis zum Bruch belastet. Die Höchstzugkraft wird in Newton [N] und die Höchstzugkraft-Dehnung wird in Prozent [%] aufgezeichnet, siehe Kapitel 6.2, Abb. 6.75.

Die ausführliche Versuchsdurchführung zur Bestimmung der Höchstzugkraft und der Höchstzugkraft-Dehnung sind für Geovliese in der Norm DIN EN 29073-3 und für textile Flächengebilde (Geogewebe) in der Norm EN ISO 13934-1 beschrieben.

Vorbereitung der Prüfmuster für die Laborbewitterung

Es wurden, gemäss Norm EN ISO 13934-1 an verschiedenen Stellen von der Geokunststoffrolle je fünf Prüfstücke in Längs- und Querrichtung entnommen. Siehe dazu die Anordnung in Abb. 4.8. Die Proben wurden mindestens 100 mm vom Rollenrand entfernt und über die Geokunststoffrollenbreite gleichverteilt herausgeschnitten. Stellen des Produkts, die sichtbare Mängel hatten, wurden nicht verwendet. Ausserdem dürfen die ersten drei Meter der Warenbahn nicht für Materialprüfungen verwendet werden.

Für die Bestimmung der Referenzwerte wurden von den unbewitterten Geokunststoffen Prüfmuster von 50 ± 0.5 mm Breite und ca. 300 mm Länge mit einem Papiermesser auf einer Unterlage ausgeschnitten. Für die Laborbewitterung bzw. für das Einbauen der Geokunststoffe im Bewitterungsgerät wurden grössere Prüfmuster ausgeschnitten, weil die Prüffläche für die Laborbewitterung 320 mm breit und 550 mm lang (Abb. 4.8) ist. Nach der Bewitterung wurde das Prüfmuster für die Zug- und Dehnversuche in 5 gleichgrosse Teilstücke geschnitten.

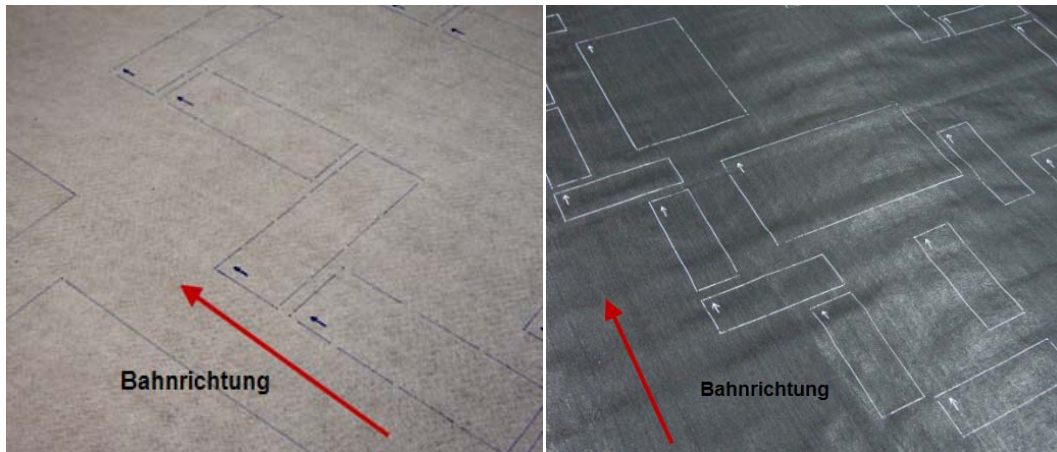


Abb. 4.8 Zuschneiden der Prüfmuster nach Norm SN EN ISO 13934-1 mit Angabe der Bahnrichtung am Beispiel eines Geovlies (links) und eines Geogewebes (rechts). Die kleineren Prüfkörper sind für die Referenzwert- und Vergleichswertbestimmung nach 12 Monate langer Lagerung. Die grossen Prüfkörper sind für die Laborbewitterung.

Vorbereitung der Prüfmuster für die Freibewitterung

Bei Geokunststoffen, die labor- und freibewittert wurden, sind Prüfkörper mit der doppelten Breite (100 ± 1.0 mm) ausgeschnitten und längs halbiert worden. Eine Hälfte wurde für die Bestimmung des Referenzwertes verwendet und die andere Hälfte wurde während den 12 Monaten der Freibewitterung lichtgeschützt in einem trockenen, dunklen und unbeheizten Raum gelagert. Nach 12 Monate langer Lagerung wurden diese Prüfkörper auf Zug- und Dehnung getestet und mit den Referenzwerten verglichen (siehe Kapitel 5.4).

Für die Freibewitterung ist ein Stück Geokunststoff von 4 m Länge und 1 m Breite zugeschnitten worden.

Prüfanlage

Die Zugprüfmaschine Typ FR81565-10kN/PCS1000 (Tecnotest AG, Rüslikon), auf der die Zug- und Dehnprüfungen durchgeführt werden, entspricht den Anforderungen der Normen für Geovliese DIN EN 29073-3 und für textile Flächegebilde (Geogewebe) EN ISO 13934-1. Die Kraftmessdose entspricht der Klasse 1 und die Toleranz der abgelesenen Werte ist gemäss Kalibrierprotokoll deutlich geringer als 1%. Die Prüfmuster wurden unten und oben mit Wellen-Backen arretiert. Die Zug-Dehnversuche wurden mit einer konstanten Prüfgeschwindigkeit von 100 mm/min gezogen.

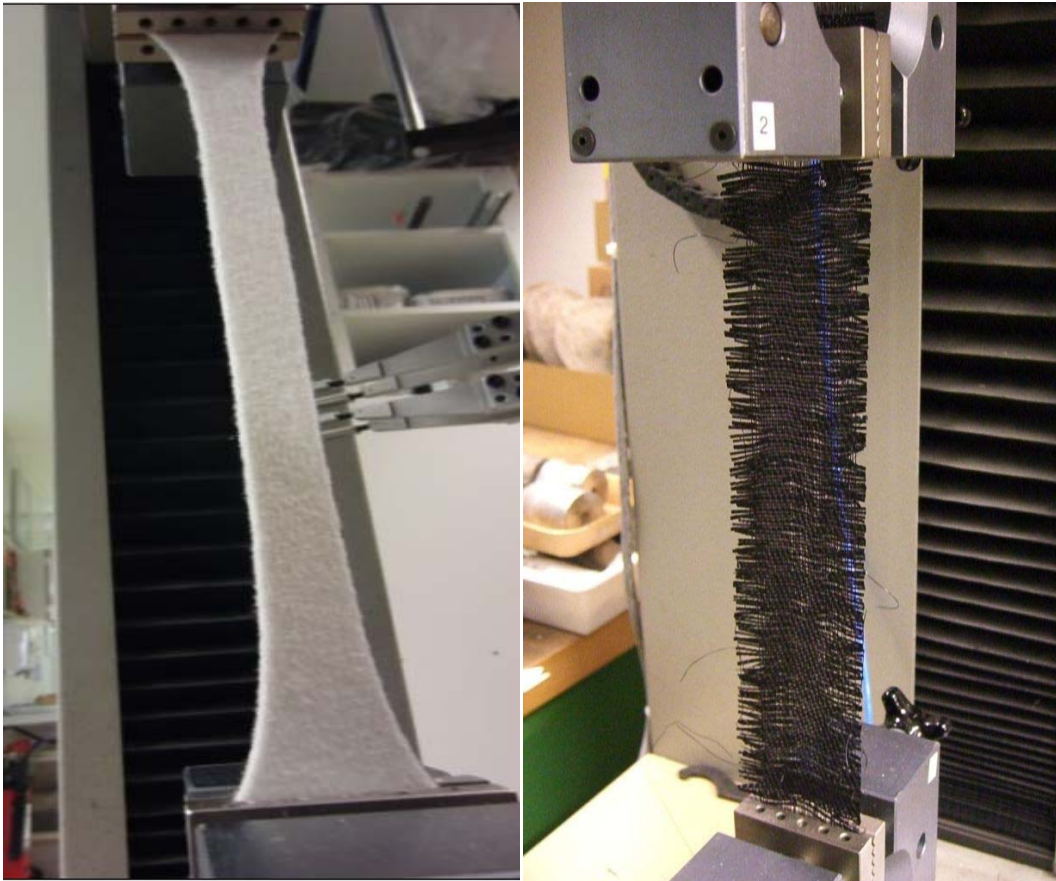


Abb. 4.9 Im linken Bild wird ein Geovlies und im rechten Bild ein Geogewebe bis zum Bruch belastet. Die Prüfkörper sind unten und oben durch Wellenbacken arretiert.

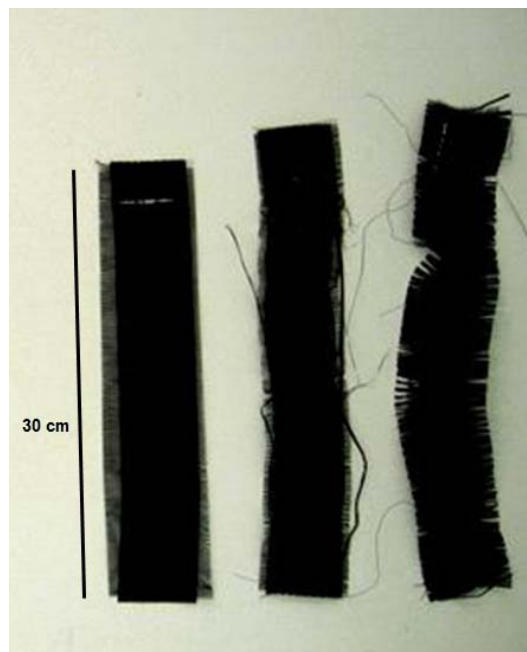


Abb. 4.10 zeigt wie Geovliese und Geogewebe beim Zugversuch unterschiedlich reißen. Beim Geovliese im linken Bild liegt die Rissstelle am unteren Klemmbackenrand. Das Geogewebe im rechten Bild zeigt über die ganze Fläche zerrissene Fäden.

Messergebnis

Das Messergebnis wird bestimmt, indem der Mittelwert aus dem Mittelwert von 5 Zugprüfungen in Längsrichtung und aus dem Mittelwert von 5 Zugprüfungen in Querrichtung gebildet wird.

4.4 Abgleich der Laborgeräte

Die Laborbewitterung wurde an zwei Standorten mit Geräten des gleichen Typs (siehe Kapitel 4.1) durchgeführt. Die Geräte wurden in drei Testläufen abgeglichen. Aufgrund der grossen Streuung der Resultate innerhalb eines Gerätes wurde beim dritten Testlauf die Prüfung in Doppelbestimmung durchgeführt. Ziel war es, die Streuung innerhalb des Geovlies zu ermitteln.

5 Messergebnisse Witterungsbeständigkeit

5.1 Vergleich der Laborgeräte

1. Testlauf

Das Prüfmuster für den 1. Testlauf wurde willkürlich gewählt.

Die Prüfprotokolle des 1. Testlaufs sind in Anhang I.1 separat auf beigelegter CD.

In allen Tabellen und Darstellungen werden folgende Abkürzungen verwendet:

R: Referenzwert

BFH: Laborwitterung an der Berner Fachhochschule in Burgdorf

TT: Laborwitterung bei Tecnotest AG in Rüschlikon

Änderung der Zugfestigkeit: Restfestigkeit R_F

Tab. 5.11 Messergebnisse 1. Testlauf. Mittelwerte in Längs- und Querrichtung: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit R_F und Standardabweichung s . Das Geovlies (Nr. 403-00) wurde willkürlich gewählt.

Test Nr.	längs				quer				Mittelwerte längs und quer				
	Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		
	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	
403-00													
R	0 h	682	20.5	100.0	3	542	39.6	100.0	7	612	30	100.0	5
BFH	60 h	502	50.2	73.6	7	570	25	105.2	5	536	37	87.6	6
TT	60 h	654	138.9	95.9	20	546	93	100.7	17	600	116	98.0	19
BFH	420 h	60	48.5	8.8	7	57	25	10.0	5	59	37	9.6	6
TT	420 h	154	23	22.6	3	145	17	26.6	3	150	20	24.4	3

0 h: Referenzwert n=5

60 h: Prüfwert n=5

420 h: Prüfwert n=5

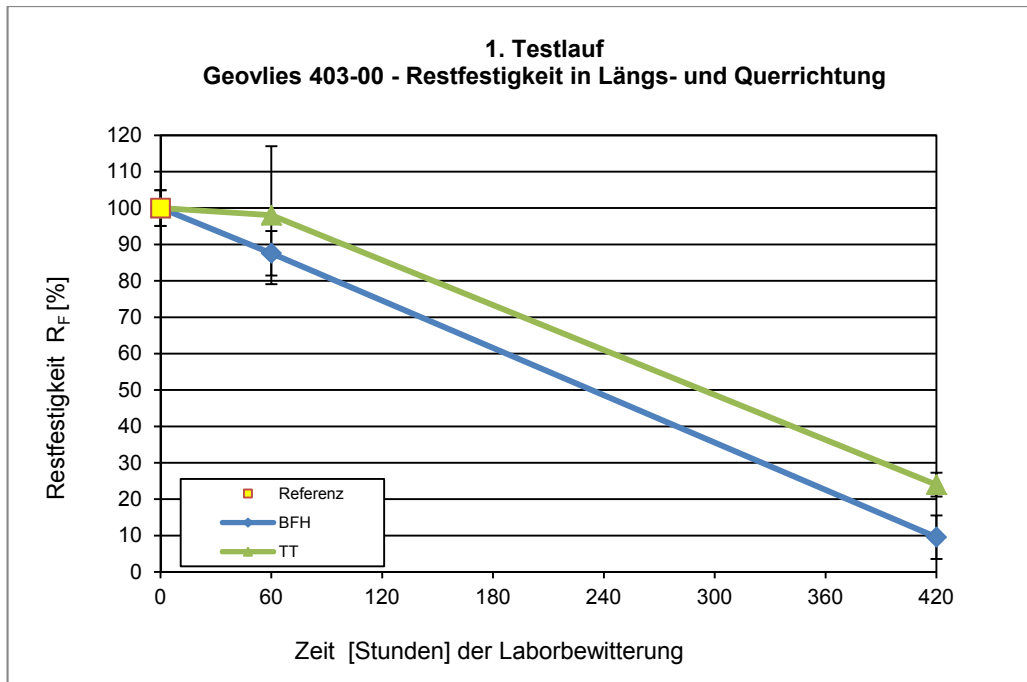


Abb. 5.12 Resultate 1. Testlauf der Laborwitterung
Dargestellt ist die Änderung des Mittelwertes der Restfestigkeit in Längs- und Querrichtung nach der Laborwitterung, wie in Tab. 5.11 dargestellt.

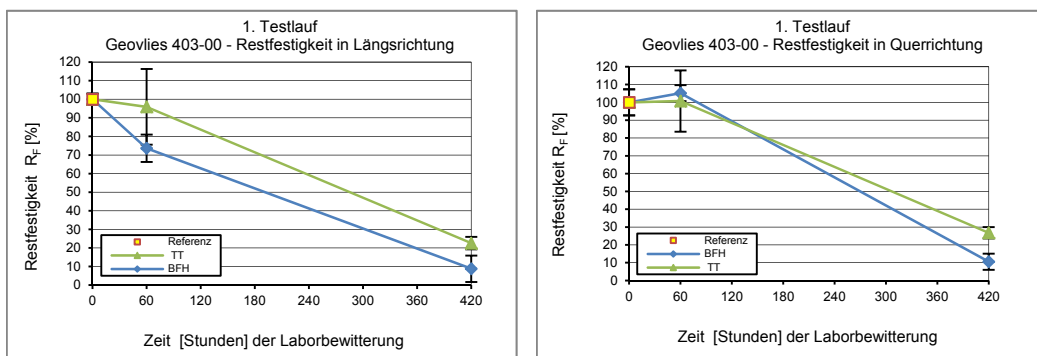


Abb. 5.13 1. Testlauf der Laborwitterung
links Änderung der Restfestigkeit längs, rechts quer.

Änderung der Dehnung bei Höchstlast: Restdehnung R_ϵ

Tab. 5.14 Messergebnisse 1. Testlauf. Mittelwerte in Längs- und Querrichtung; Dehnung bei Höchstzugkraft ϵ_e und Standardabweichung s , Restdehnung R_ϵ und Standardabweichung s . Das Geovlies (Nr. 403-00) wurde willkürlich gewählt.

SN 670 240: 60 h Bewitterung													
EN ISO 12224: 420 h Bewitterung													
Test Nr.		längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
403-00		ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]
R	0 h	26	1	100.0	5	20	2	100.0	12	23	2	100.0	8
BFH	60 h	18	3	69.2	10	20	1	100.0	6	19	2	82.6	8
TT	60 h	19	4	73.1	15	18	3	90.0	14	19	3	80.4	14
BFH	420 h	2	1	7.7	5	2	1	10.0	4	2	1	8.7	4
TT	420 h	3	1	11.5	3	4	1	22.2	5	4	1	15.2	4

0 h: Referenzwert n=5

60 h: Prüfwert n=5

420 h: Prüfwert n=5

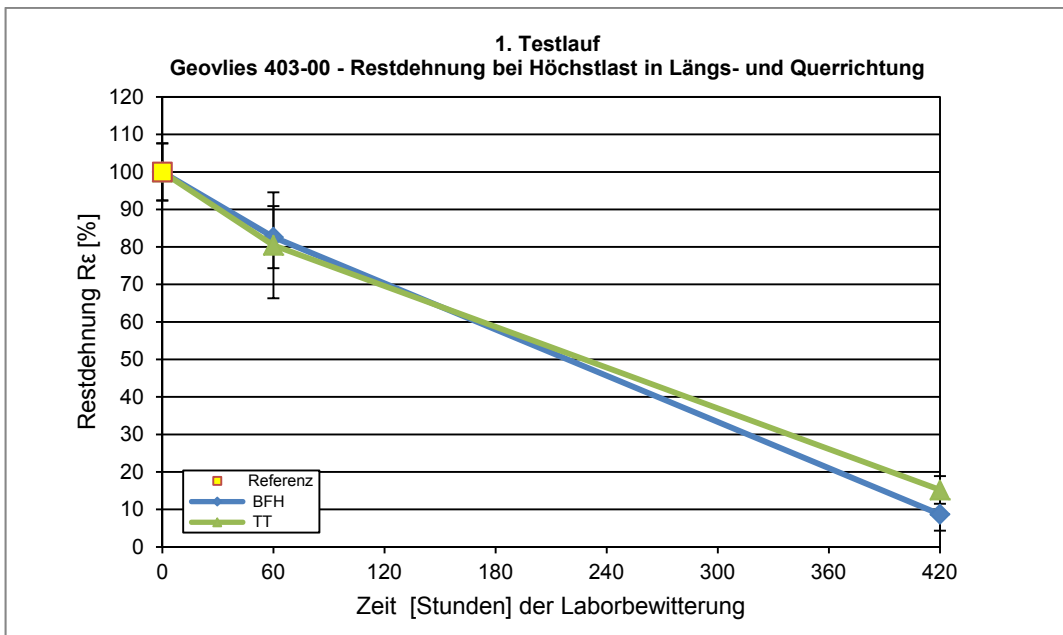


Abb. 5.15 Resultate 1. Testlauf der Laborbewitterung
Änderung des Mittelwertes der Restdehnung bei Höchstlast in Längs- und Querrichtung nach der Laborbewitterung, wie in Tab. 5.14 dargestellt.

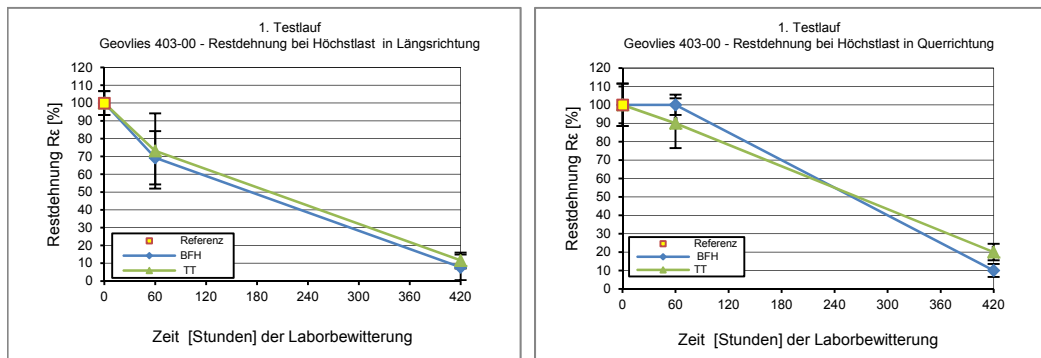


Abb. 5.16 Resultate 1. Testlauf der Laborbewitterung
Links: Änderung der Restdehnung bei Höchstlast längs, rechts quer

Resultat

Die Messergebnisse des 1. Testlaufs (Tab. 5.11 und Tab. 5.14) der Tecnotest AG (TT) und der Berner Fachhochschule (BFH) zeigen grosse Unterschiede der bewitterten Prüfmuster. Nach 60 Stunden Bewitterung an der BFH zeigten die Prüfmuster eine Restfestigkeit von 87.6 % gegenüber 98.0 % der Prüfmuster von der TT. Nach 420 Stunden Bewitterung wurde an beiden Instituten eine sehr geringe Restfestigkeit ermittelt: BFH 9.6 % und TT 24.4 % (Abb. 5.12 und Abb. 5.13).

2. Testlauf

Für den 2. Testlauf wurde aus demselben Geovlies, das im 1. Testlauf verwendet wurde, neue Prüfmuster entnommen. Aufgrund der Resultate aus dem 1. Testlauf wurden die Kalibriergeräte zur Kalibrierung der Strahlungsstärke abgeglichen und ebenso wurde die Probehalterung angeglichen. Die Tecnotest AG verwendete im ersten Testlauf Probehalterungen, die nicht dieselbe Bewitterungsfläche wie die der BFH aufwies.

Die Prüfprotokolle des 2. Testlaufs sind in Anhang I.2 (auf beigelegter CD).

Änderung der Zugfestigkeit: Restfestigkeit R_F

Tab. 5.17 Messergebnisse 2. Testlauf mit dem selben Geotextil (Nr. 403-00) wie beim 1. Testlauf:

Mittelwerte in Längs- und Querrichtung: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit R_F und Standardabweichung s

SN 670 240: 60 h Bewitterung EN ISO 12224: 420 h Bewitterung													
Test Nr.		längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
		Höchstzugkraft	Restfestigkeit	Höchstzugkraft	Restfestigkeit	Höchstzugkraft	Restfestigkeit	Höchstzugkraft	Restfestigkeit				
403-00		F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
R	0 h	682	20.5	100.0	3	542	39.6	100.0	7	612	30	100.0	5
BFH	60 h	462	58.1	67.7	9	486	59	89.7	11	474	58	77.5	10
TT	60 h	498	75.6	73.0	11	560	44	103.3	8	529	60	86.4	10
BFH	420 h	66	40.4	9.7	6	0	0	0.0	0	33	20	5.4	3
TT	420 h	200	71.1	29.3	10	186	34	33.2	6	193	52	31.5	9

0 h: Referenzwert n=5
60 h: Prüfwert n=5
420 h: Prüfwert n=5

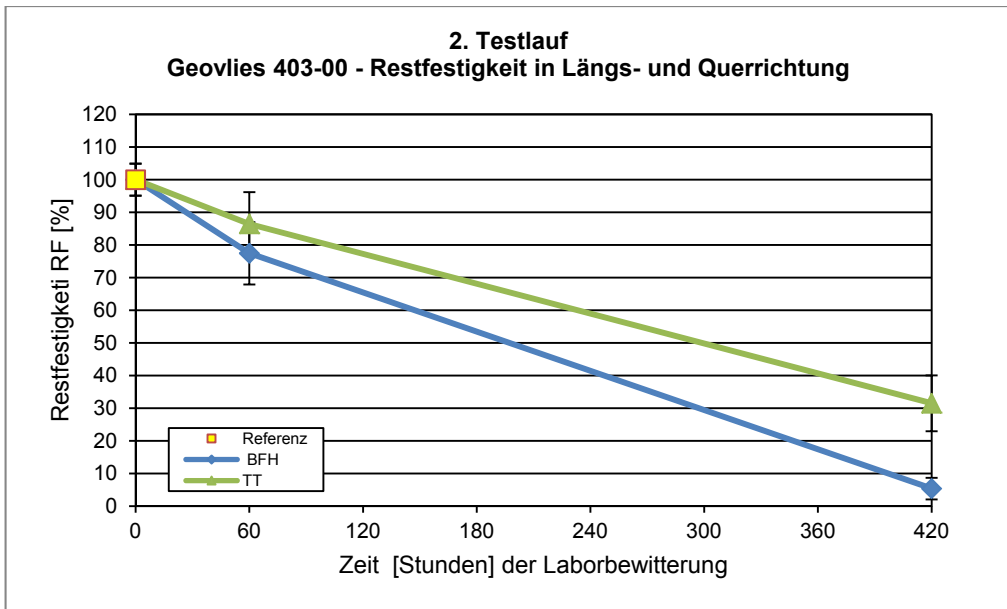


Abb. 5.18 Resultate 2. Testlauf der Laborbewitterung
Änderung des Mittelwertes der Restdehnung bei Höchstlast in Längs- und Querrichtung nach der Laborbewitterung, wie in Tab. 5.17 dargestellt.

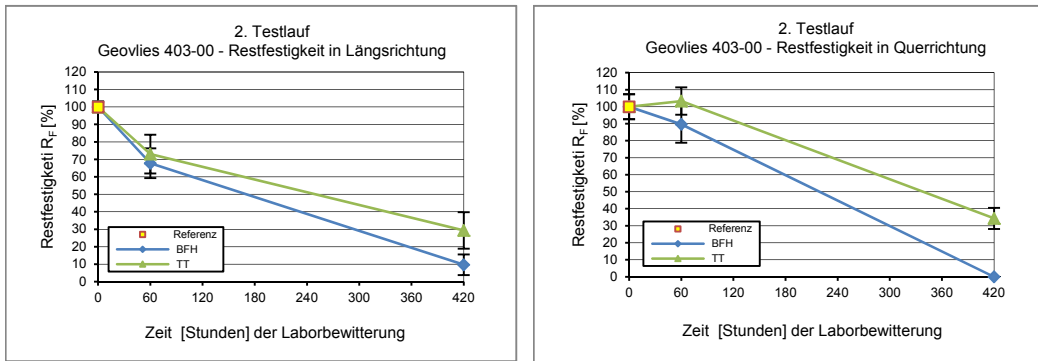


Abb. 5.19 Resultate 2. Testlauf der Laborwitterung
Links: Änderung der Restdehnung bei Höchstlast längs, rechts quer

Änderung der Dehnung bei Höchstlast: Restdehnung R_ϵ

Tab. 5.20 Messergebnisse 2. Testlauf mit dem selben Geotextil (Nr. 403-00) wie beim 1. Testlauf:

Mittelwerte in Längs- und Querrichtung: Dehnung bei Höchstzugkraft ϵ_e und Standardabweichung s , Restdehnung R_ϵ und Standardabweichung s

SN 670 240: 60 h Bewitterung EN ISO 12224: 420 h Bewitterung													
Test Nr.		längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
403-00		ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]
R	0 h	26	1	100.0	5	20	2	100.0	12	23	2	100.0	8
BFH	60 h	16	3	61.5	12	17	3	85.0	13	17	3	71.7	12
TT	60 h	19	2	73.1	8	19	2	95.0	8	19	2	82.6	8
BFH	420 h	2	1	7.7	5	0	0	0.0	0	1	1	4.3	3
TT	420 h	5	3	19.2	10	5	2	25.0	9	5	2	21.7	10

0 h: Referenzwert n=5
60 h: Prüfwert n=5
420 h: Prüfwert n=5

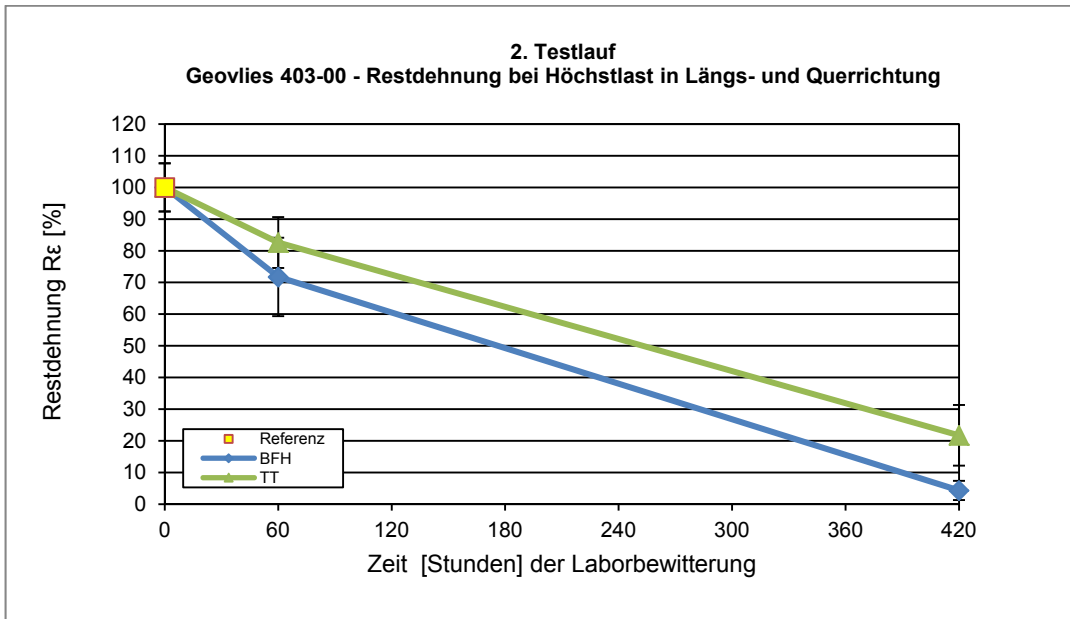


Abb. 5.21 Resultate 2. Testlauf der Laborbewitterung
Änderung des Mittelwertes der Restdehnung bei Höchstlast in Längs- und Querrichtung nach der Laborbewitterung, wie in Tab. 5.20 dargestellt.

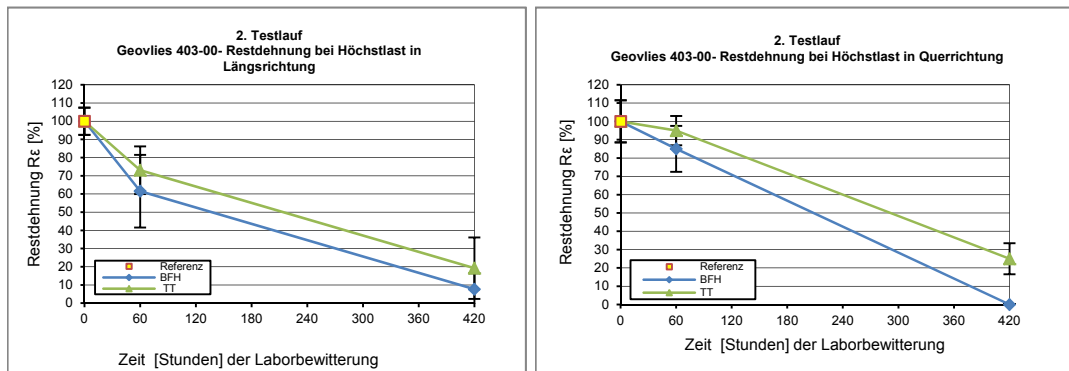


Abb. 5.22 Resultate 2. Testlauf der Laborwitterung
Links: Änderung der Restdehnung bei Höchstlast längs, rechts quer

Resultat

Die Messergebnisse des 2. Testlaufs (Tab. 5.17 und Tab. 5.20) zeigen ähnliche Werte wie beim 1. Testlauf: Nach 60 Stunden Bewitterung an der BFH zeigten die Prüfmuster eine Restfestigkeit von 77.5 % gegenüber 86.4 % der Prüfmuster von der TT. Auch im zweiten Versuch ist ein sehr starker Abfall der Festigkeit nach 420 Stunden Bewitterung gemessen worden: Restfestigkeit BHF: 5.4 % und TT 31.5 % (Abb. 5.18 und Abb. 5.19).

3. Testlauf

Aufgrund der Ergebnisse aus den ersten zwei Testläufen wurden die beiden Kalibriergeräte der BFH und der TT erneut abgeglichen. Für den 3. Testlauf wurde ein neues Geotextil (Nr. 403-07) verwendet, welches auch im Hauptversuch getestet wird.

Das Ziel des 3. Testlaufs ist es, eine mögliche Streuung innerhalb des Bewitterungsgeräts zu ermitteln. Aus diesem Grund wird der 3. Testlauf **neu** in Doppelbestimmung pro Standort für 60 Stunden und 420 Stunden Bewitterung durchgeführt. Doppelbestimmung heisst, es werden gleichzeitig je zwei Proben längs und zwei Proben quer bewittert. Die Resultate der ersten zwei Testläufe basieren auf einer Einfachbestimmung pro Prüfstandort für 60 Stunden und 420 Stunden Bewitterung.

Die Messergebnisse des 3. Testlaufs (Tab. 5.23 und Tab. 5.26) zeigen im Allgemeinen eine gute Übereinstimmung zwischen den beiden Geräten der BFH und der TT. Die Diagramme der Abb. 5.24 und Abb. 5.25 zeigen die Resultate der Restfestigkeit und die Diagramme Abb. 5.26 und Abb. 5.27 zeigen die Resultate der Restdehnung bei Höchstlast.

Die Prüfprotokolle des 3. Testlaufs sind in Anhang I.3 (auf beigelegter CD).

Änderung der Zugfestigkeit: Restfestigkeit RF

Tab. 5.23 Messergebnisse 3. Testlauf mit dem Geotextil (Nr. 403-07), neu Doppelbestimmung:

Mittelwerte in Längs- und Querrichtung: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit RF und Standardabweichung s

SN 670 240: 60 h Bewitterung EN ISO 12224: 420 h Bewitterung													
Test Nr.		längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
		Höchstzugkraft	Restfestigkeit	Höchstzugkraft	Restfestigkeit	Höchstzugkraft	Restfestigkeit	Höchstzugkraft	Restfestigkeit				
403-07		F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
R	0 h	854.9	152	100.0	18	805.8	86	100.0	11	830.4	119	100.0	14
BFH 1	60 h	826.1	47	96.6	5	833.7	35	103.5	4	830	41	99.9	5
BFH 2	60 h	715.5	10	83.7	1	849.8	31	105.5	4	783	21	94.3	2
TT 1	60 h	1008	81	117.9	9	679.5	47	84.3	6	844	64	101.6	8
TT 2	60 h	845	28	98.8	3	782	28	97.1	3	814	28	98.0	3
BFH 1	420 h	748.6	28	87.6	3	650.9	15	80.8	2	700	21	84.3	3
BFH 2	420 h	578.2	23	67.6	3	669.4	31	83.1	4	624	27	75.1	3
TT 1	420 h	562.3	37	65.8	4	640.7	37	79.5	5	602	37	72.4	4
TT 2	420 h	618.7	33	72.4	4	729.8	33	90.6	4	674	33	81.2	4

0 h: Referenzwert n=10

60 h: Prüfwert n=5

420 h: Prüfwert n=5

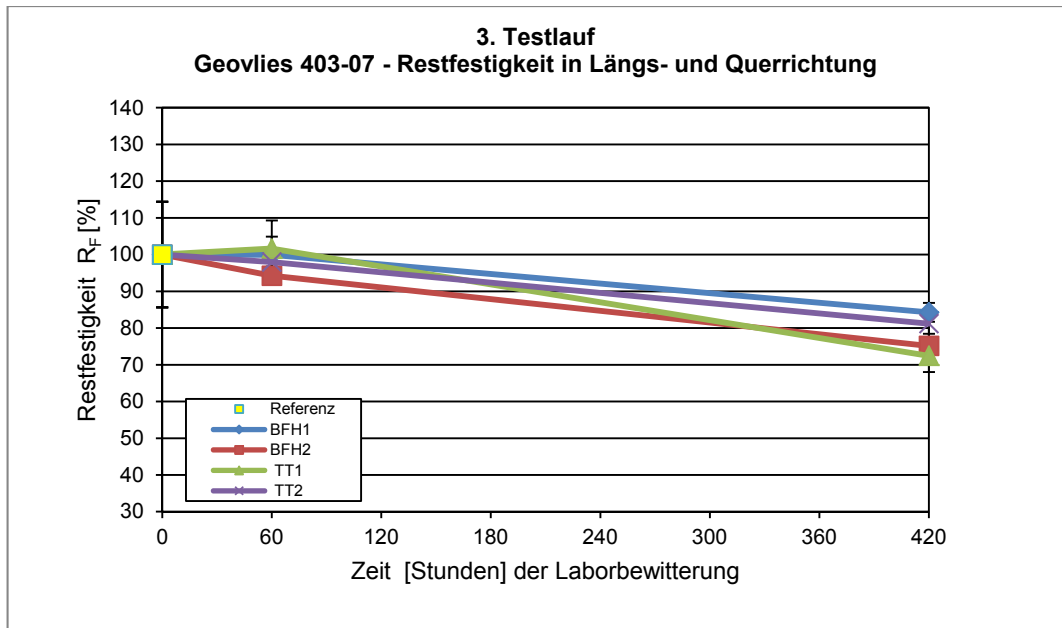


Abb. 5.24 Resultate 3. Testlauf der Laborwitterung
Änderung des Mittelwertes der Restfestigkeit in Längs- und Querrichtung nach der Laborwitterung, wie in Tab. 5.23 dargestellt

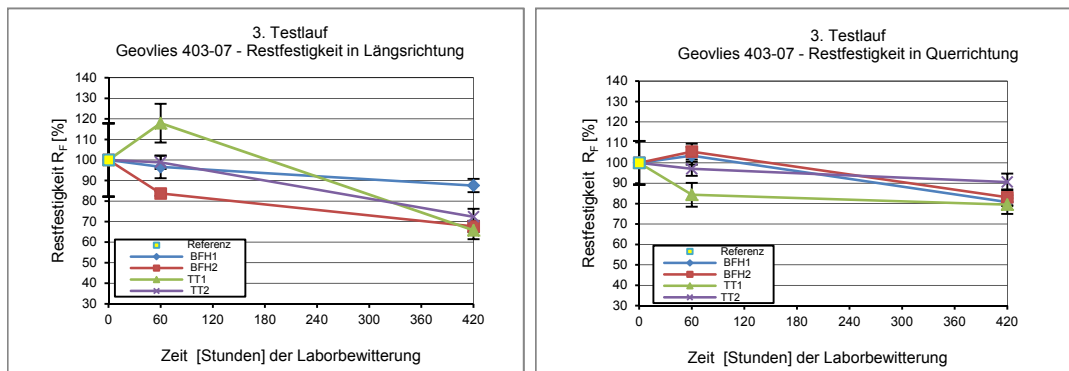


Abb. 5.25 Resultate 3. Testlauf der Laborwitterung
Links: Änderung der Restdehnung bei Höchstlast längs, rechts quer

Änderung der Dehnung bei Höchstlast: Restdehnung R_ϵ

Tab. 5.26 Messergebnisse 3. Testlauf mit dem Geotextil (Nr. 403-07), neu Doppelbestimmung:
Mittelwerte in Längs- und Querrichtung: Dehnung bei Höchstlast ϵ_e und Standardabweichung s , Restdehnung R_ϵ und Standardabweichung s

SN 670 240: 60 h Bewitterung EN ISO 12224: 420 h Bewitterung													
Test Nr.		längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
403-07		ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]
R	0 h	51	2	100.0	5	73	10	100.0	13	62	6	100.0	10
BFH 1	60 h	45	2	89.3	4	68	2	93.3	2	57	2	91.6	3
BFH 2	60 h	47	2	92.2	4	80	2	110.0	3	63	2	102.7	4
TT 1	60 h	48	3	95.0	5	57	3	78.9	4	53	3	85.5	5
TT 2	60 h	49	2	96.2	3	57	2	78.4	3	53	2	85.7	3
BFH 1	420 h	40	2	78.0	4	48	2	65.6	3	44	2	70.7	4
BFH 2	420 h	38	1	75.8	2	48	3	66.5	4	43	2	70.3	3
TT 1	420 h	40	1	79.4	3	48	2	65.4	3	44	2	71.2	3
TT 2	420 h	44	2	85.9	3	51	1	69.9	1	47	1	76.5	2

0 h: Referenzwert n=10
60 h: Prüfwert n=5
420 h: Prüfwert n=5

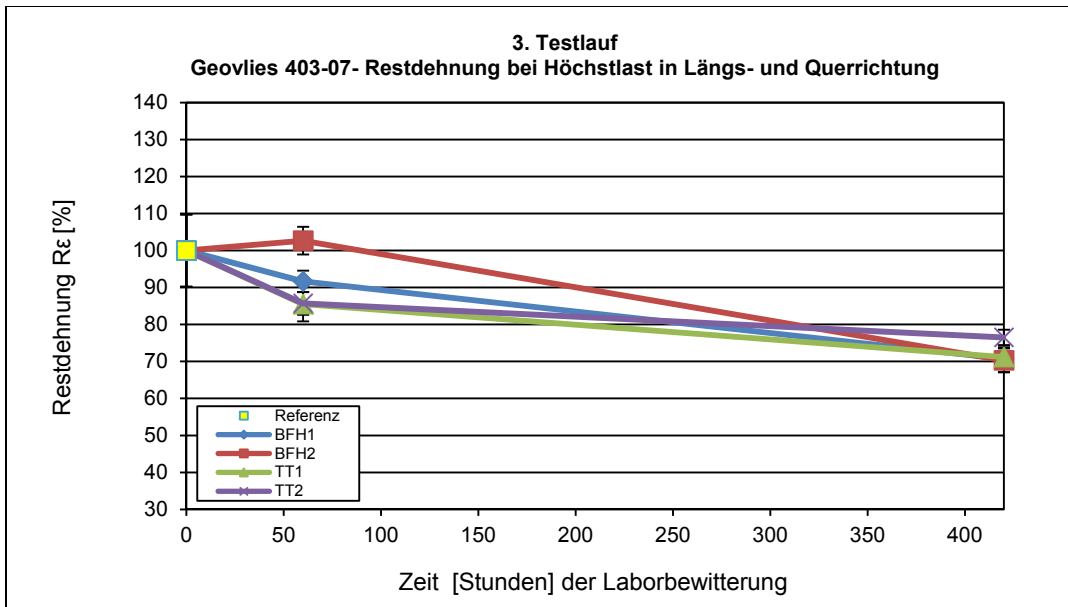


Abb. 5.27 Resultate 3. Testlauf der Laborbewitterung
Änderung des Mittelwertes der Restdehnung bei Höchstlast in Längs- und Querrichtung nach der Laborbewitterung, wie in Tab. 5.26 dargestellt

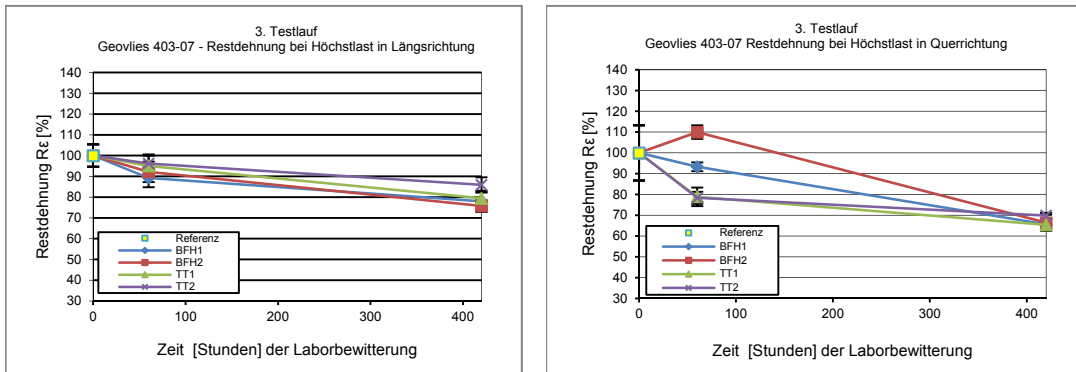


Abb. 5.28 Resultate 3. Testlauf der Laborwitterung
Links: Änderung der Restdehnung bei Höchstlast längs, rechts quer

Zusammenfassung der drei Testläufe

In Tab. 5.29° sind die Restfestigkeit R_F und die Restdehnung bei Höchstlast R_ϵ , die von der BFH und der TT in Vorversuchen ermittelt wurden, tabellarisch dargestellt.

Tab. 5.29 Darstellung der Resultate der Restfestigkeit R_F und der Restdehnung R_ϵ aus den 3 Testläufen

Testlauf Nr.	Restfestigkeit R_F [%]				Restdehnung R_ϵ [%]			
	60 h		420 h		60 h		420 h	
	BFH	TT	BFH	TT	BFH	TT	BFH	TT
1	87.6	98.0	9.6	24.4	82.6	80.4	8.4	15.2
2	77.5	86.4	5.4	31.5	71.7	82.6	4.3	21.7
3	99.9	101.6	84.3	72.4	91.6	85.5	70.7	71.2
	94.3	98.0	75.1	81.2	102.7	85.7	70.3	76.5

Fazit

Nach zweimaligem Abgleichen der Kalibriergeräte und der Anpassung der Probehaltung sind nach dem dritten Testlauf die Resultate vergleichbar. Eine Erklärung für die abweichenden Ergebnisse zwischen der BFH und der TT sind die grossen Standardabweichungen der jeweiligen Referenzwerte des geprüften Geovlies (siehe Kapitel 5.2).

5.2 Zug- und Dehnprüfungen an unbewitterten Proben

Vorbemerkung

Der Prüfablauf ist in Kapitel 4.3, Seite 23 ausführlich beschrieben.

Die Messergebnisse der Zug- und Dehnprüfungen an unbewitterten Proben dienen zur Ermittlung der Referenzwerte (Tab. 5.31 und Tab. 5.32), die für die Berechnung der Zugfestigkeit und Änderung der Dehnung bei Höchstlast eingesetzt wurde. Die Grundlagen für die Auswertung sind in Kapitel 6.1 ausführlich beschrieben.

Gemäss Norm SN EN ISO 13934-1 (siehe Seite 23) werden je 5 Messungen in Längs- und Querrichtung durchgeführt. Aufgrund der Inhomogenität der Geotextilien (Abb. 5.30) wurden jedoch je 10 Messungen in Längs- und Querrichtung durchgeführt.

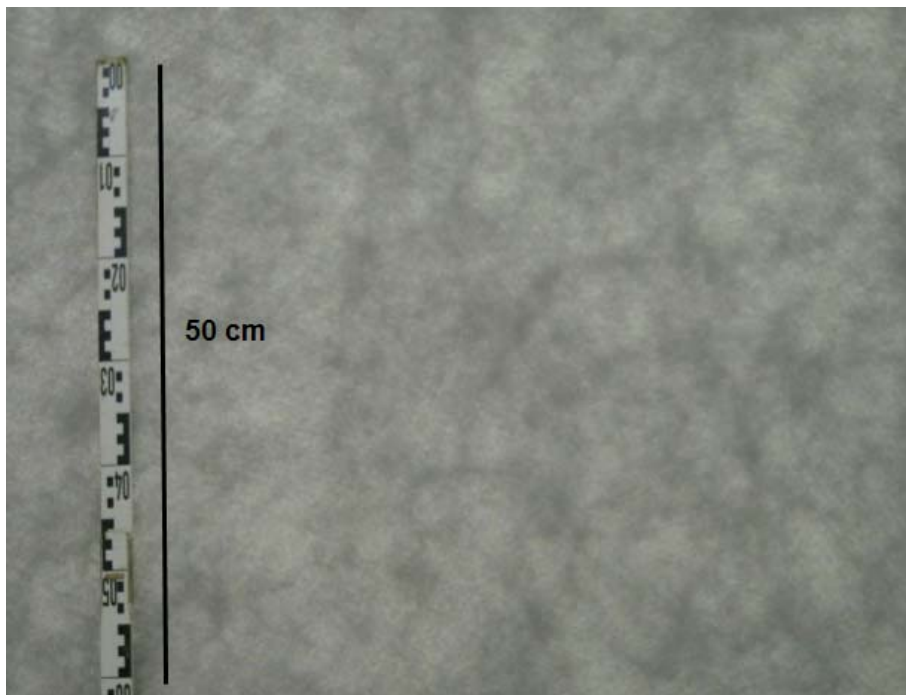


Abb. 5.30 Die Abbildung zeigt die Inhomogenität der Geovliese, erkennbar an den hellen und dunklen Partien, welche die grossen Standardabweichungen der Höchstzugwerte und der Dehnung bei den Höchstzugwerten erklären.

Die Prüfprotokolle Referenzmessungen sind in Anhang II (auf beigelegter CD).

Zugfestigkeit der Referenzproben F_c (Höchstzugkraft)

Tab. 5.31 Messergebnisse des unbewitterten Geovlies: Höchstzugkraft F_c und Standardabweichung s bei 100 % Restfestigkeit

SN EN ISO 13934-1													
n = 10													
Test Nr.		längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit	
		F_c [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_c [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_c [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
403-01	V	219	58	100	26	287	27	100	10	253	42	100	17
403-02	V	405	63	100	16	433	35	100	8	419	49	100	12
403-03	V	831	264	100	32	924	103	100	11	877	183	100	21
403-04	V	342	81	100	24	411	89	100	22	376	85	100	23
403-05	V	546	102	100	19	481	50	100	10	513	76	100	15
403-06	V	525	77	100	15	493	71	100	14	509	74	100	15
403-07	V	855	152	100	18	806	86	100	11	830	119	100	14
403-08	G	1803	75	100	4	1501	66	100	4	1652	71	100	4
403-09	G	766	125	100	16	867	253	100	29	817	189	100	23
403-11	G	2188	85	100	4	1059	55	100	5	1624	70	100	4
403-12	G	1098	40	100	4	1028	46	100	4	1063	43	100	4

V=Geovlies

G=Geogew ebe

Referenzwerte für die Auswertung

Dehnung bei Höchstlast der Referenzproben ϵ_c

Tab. 5.32 Messergebnisse der Referenzwerte: Dehnung bei Höchstlast ϵ_c und Standardabweichung s bei 100 % Restdehnung

SN EN ISO 13934-1													
n = 10													
Test Nr.		längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
		ϵ_c [%]	s [%]	$R\epsilon$ [%]	s [%]	ϵ_c [%]	s [%]	$R\epsilon$ [%]	s [%]	ϵ_c [%]	s [%]	$R\epsilon$ [%]	s [%]
403-01	V	68	9	100	13	70	4	100	6	69	7	100	9
403-02	V	68	5	100	7	65	4	100	6	66	4	100	7
403-03	V	88	9	100	11	54	7	100	13	71	8	100	12
403-04	V	39	2	100	6	44	7	100	17	41	5	100	11
403-05	V	42	4	100	9	56	8	100	14	49	6	100	12
403-06	V	65	4	100	7	80	5	100	6	72	4	100	6
403-07	V	51	2	100	5	73	10	100	13	62	6	100	9
403-08	G	20	1	100	7	9	0	100	5	15	1	100	6
403-09	G	22	3	100	13	24	7	100	31	23	5	100	22
403-11	G	25	2	100	7	27	1	100	5	26	2	100	6
403-12	G	28	2	100	7	33	2	100	6	30	2	100	6

V=Geovlies

G=Geogew ebe

Referenzwerte für die Auswertung

5.3 Messergebnisse der Laborwitterung

Vorbemerkung

Die nachfolgenden Tabellen und Diagramme zeigen die Änderung der Restfestigkeit R_F und die Änderung der Restdehnung bei Höchstzugkraft R_ε im Verhältnis zur Restfestigkeit und Änderung der Restdehnung bei Höchstzugkraft des unbewitterten Geovlies.

Die Grundlagen für die Berechnung von R_F und R_ε sind in 6.1 beschrieben.

Die Prüfprotokolle der Messergebnisse der Laborwitterung sind in Anhang III (auf beigelegter CD).

Änderung der Restfestigkeit R_F **Tab. 5.33 Messergebnisse der Hauptversuche: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit R_F und Standardabweichung s**

SN 670 240: 60 h Bewitterung

EN ISO 12224: 420 h Bewitterung

Test Nr.			längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
			Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit	
			F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
403-01	V	R	219	58	100	26	287	27	100	10	253	42	100	17
		60 h	384	45	176	21	300	25	105	9	342	35	135	14
		420 h	196	54	90	25	161	21	54	7	179	38	71	15
403-02	V	R	405	63	100	16	433	35	100	8	419	49	100	12
		60 h	444	46	110	11	472	40	109	9	458	43	109	10
		420 h	453	76	112	19	416	54	96	12	435	65	104	15
403-03	V	R	831	264	100	32	924	103	100	11	877	183	100	21
		60 h	803	82	97	10	1046	176	113	19	925	129	105	15
		420 h	979	211	118	25	739	137	80	15	859	174	98	20
403-04	V	R	342	81	100	24	411	89	100	22	376	85	100	23
		60 h	368	42	108	12	317	33	77	8	343	37	91	10
		420 h	139	48	41	14	158	70	39	17	149	59	40	16
403-05	V	R	546	102	100	19	481	50	100	10	513	76	100	15
		60 h	541	50	99	9	459	56	96	12	500	53	97	10
		420 h	287	39	53	7	330	56	69	12	308	48	60	9
403-06	V	R	525	77	100	15	493	71	100	14	509	74	100	15
		60 h	528	49	101	9	500	17	102	3	514	33	101	6
		420 h	301	82	57	16	312	29	63	6	307	55	60	11
403-07	V	R	855	152	100	18	806	86	100	11	830	119	100	14
		60 h	878	72	103	8	825	47	102	6	852	59	103	7
		420 h	562	44	66	5	728	26	90	3	645	35	78	4
403-08	G	R	1803	75	100	4	1501	66	100	4	1652	71	100	4
		60 h	1836	55	102	3	1488	30	99	2	1662	42	101	3
		420 h	1302	51	72	3	1316	47	88	3	1309	49	79	3
403-09	G	R	766	125	100	16	867	253	100	29	817	189	100	23
		60 h	958	21	125	3	961	24	111	3	959	23	117	3
		420 h	874	34	114	4	955	23	110	3	914	28	112	3
403-11	G	R	2188	85	100	4	1059	55	100	5	1624	70	100	4
		60 h	2158	165	99	8	1039	52	98	5	1598	109	98	7
		420 h	2155	135	98	6	1060	53	100	5	1607	94	99	6
403-12	G	R	1098	40	100	4	1028	46	100	4	1063	43	100	4
		60 h	1053	72	96	7	1001	48	97	5	1027	60	97	6
		420 h	1012	72	92	7	961	37	93	4	986	55	93	5

R= Referenzwert n=10

60 h: Prüfwert n=5

420 h: Prüfwert n=5

V= Geovlies

G= Geogewebe

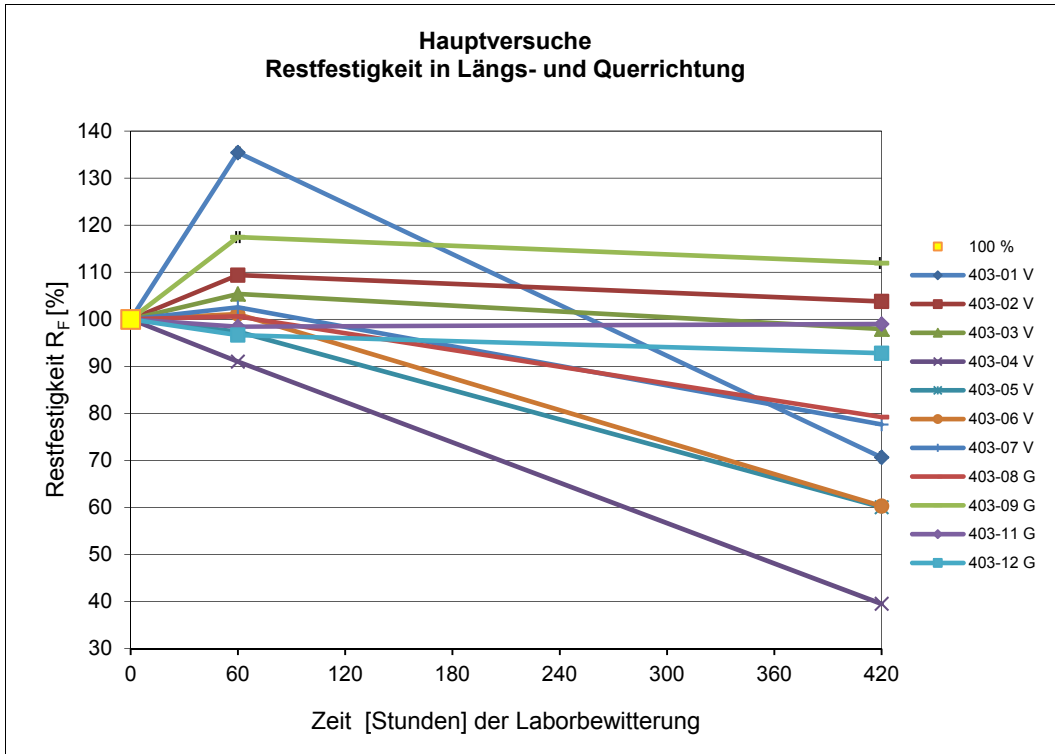


Abb. 5.34 Änderung der Restfestigkeit in Längs- und Querrichtung nach der Laborwitterung

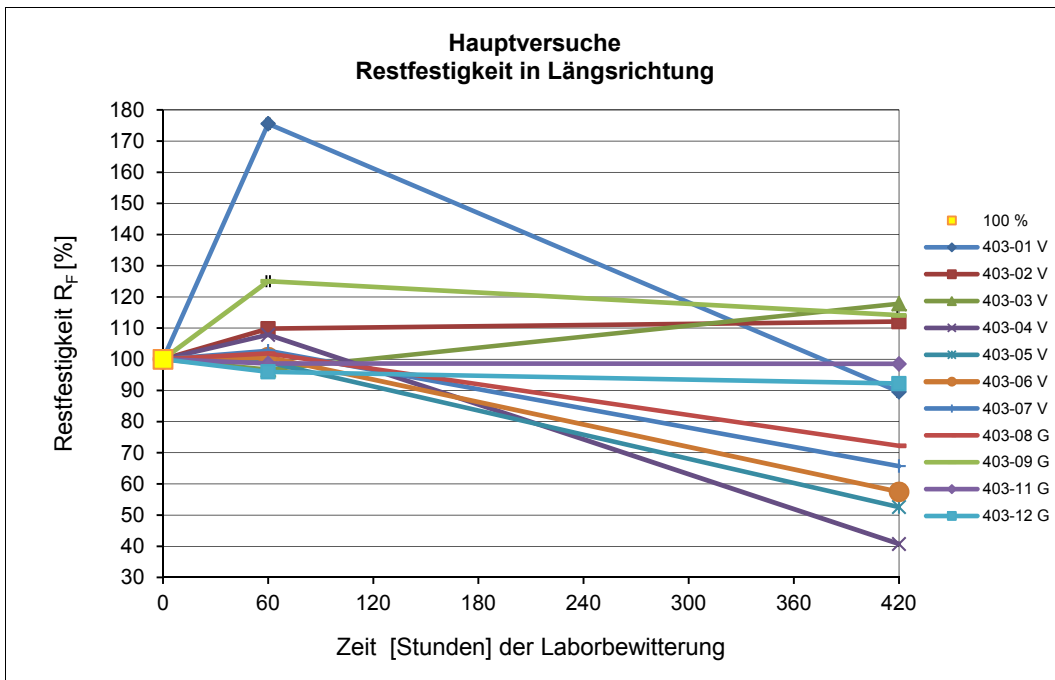


Abb. 5.35 Änderung der Restfestigkeit in Längsrichtung nach der Laborwitterung

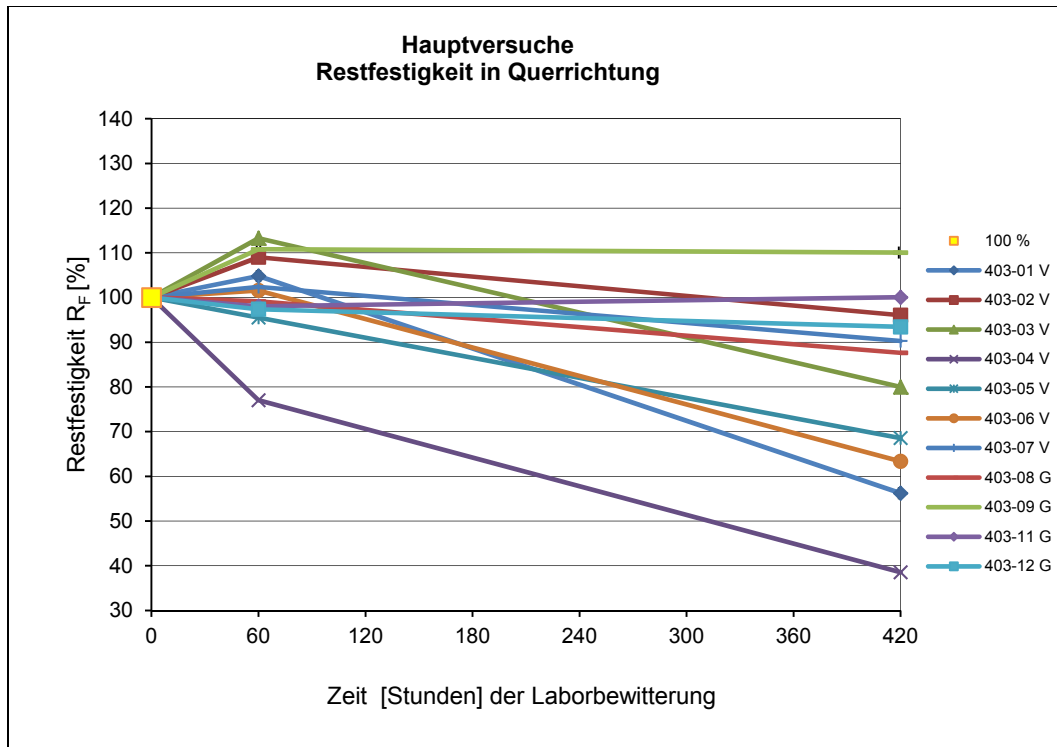


Abb. 5.36 Änderung der Restfestigkeit in Querrichtung nach der Laborwitterung

Änderung der Restdehnung (R_ϵ) bei Höchstzugkraft*Tab. 5.37 Messergebnisse der Hauptversuche: Dehnung bei Höchstzugkraft ϵ_e und Standardabweichung s , Restdehnung R_ϵ und Standardabweichung s*

SN 670 240: 60 h Bewitterung

EN ISO 12224: 420 h Bewitterung

Test Nr.		längs				längs				längs				
		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		
		ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	
403-01	V	R	67	9	100	13	70	4	100	6	69	7	100	9
		60	77	6	115	10	68	6	97	8	73	6	106	9
		420	59	6	88	9	42	2	62	4	51	4	74	6
403-02	V	R	68	5	100	7	65	4	100	6	66	4	100	7
		60 h	63	8	93	11	65	3	100	5	64	5	97	8
		420 h	56	2	83	3	50	4	76	6	53	3	80	5
403-03	V	R	66	10	100	16	54	7	100	13	60	9	100	15
		60 h	90	4	136	5	50	6	93	11	70	5	116	8
		420 h	66	10	100	16	36	6	66	11	51	8	85	14
403-04	V	R	39	2	100	6	44	7	100	17	41.4	5	100	11
		60 h	42	4	107	11	44	3	99	8	43	4	103	9
		420 h	25	1	65	2	23	5	52	10	24	3	58	7
403-05	V	R	42	4	100	9	56	8	100	14	49	6	100	12
		60 h	38	2	90	4	51	2	90	4	44	2	90	4
		420 h	26	3	62	7	40	3	71	6	33	3	67	6
403-06	V	R	65	4	100	7	80	5	100	6	72	4	100	6
		60 h	57	4	88	7	74	4	93	5	66	4	91	6
		420 h	45	5	69	8	49	3	62	4	47	4	65	5
403-07	V	R	51	2	100	5	73	10	100	13	62	6	100	10
		60 h	48	2	95	4	72	4	99	6	60	3	97	5
		420 h	37	3	73	6	55	2	76	3	46	3	75	4
403-08	G	R	20	1	100	7	9	0	100	5	15	1	100	6
		60 h	18	0	89	2	10	0	104	5	14	0	94	3
		420 h	13	0	66	2	8	0	88	3	11	0	73	2
403-09	G	R	22	3	100	13	24	7	100	31	23	5	100	22
		60 h	26	1	116	4	26	1	106	4	26	1	111	4
		420 h	21	1	93	4	23	1	97	4	22	1	95	4
403-11	G	R	25	2	100	7	27	1	100	5	26	2	100	6
		60 h	26	1	103	5	28	1	104	3	27	1	104	4
		420 h	27	2	106	8	29	1	107	5	28	2	107	7
403-12	G	R	28	2	100	7	33	2	100	6	30	2	100	6
		60 h	28	1	100	5	31	1	94	4	30	1	97	4
		420 h	29	2	102	5	30	1	93	4	29	1	97	5

R= Referenzwert n=10

60 h: Prüfwert n=5

420 h: Prüfwert n=5

V= Geovlies

G= Geogewebe

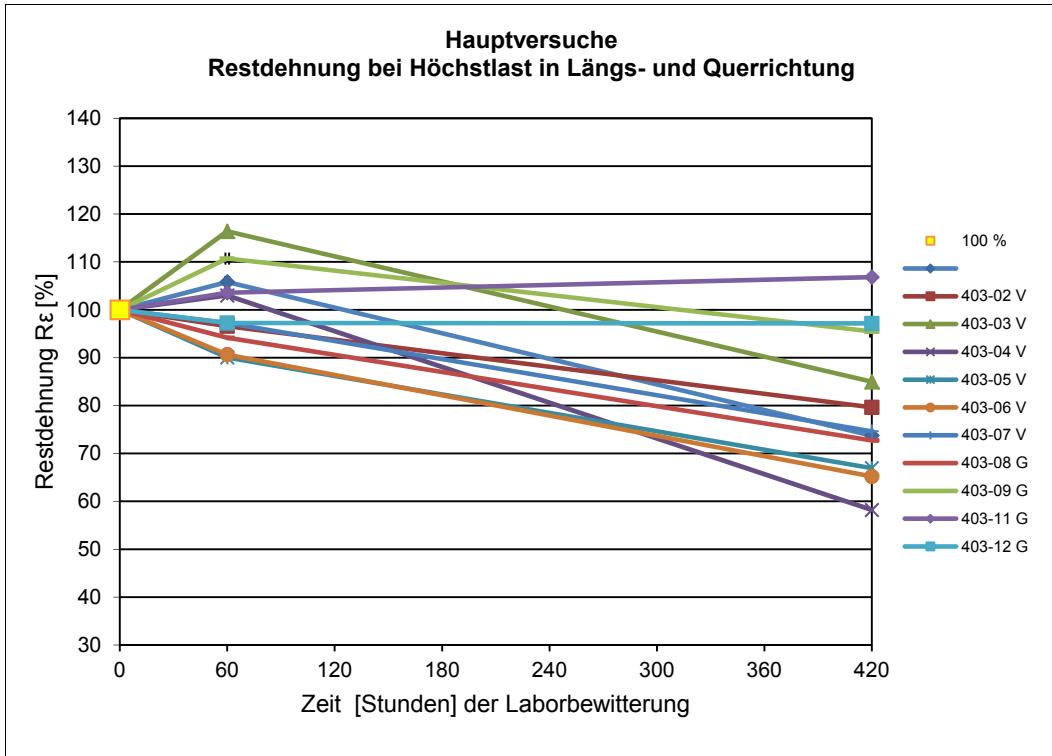


Abb. 5.38 Änderung Restdehnung bei Höchstlast in Längs- und Querrichtung nach der Laborwitterung.

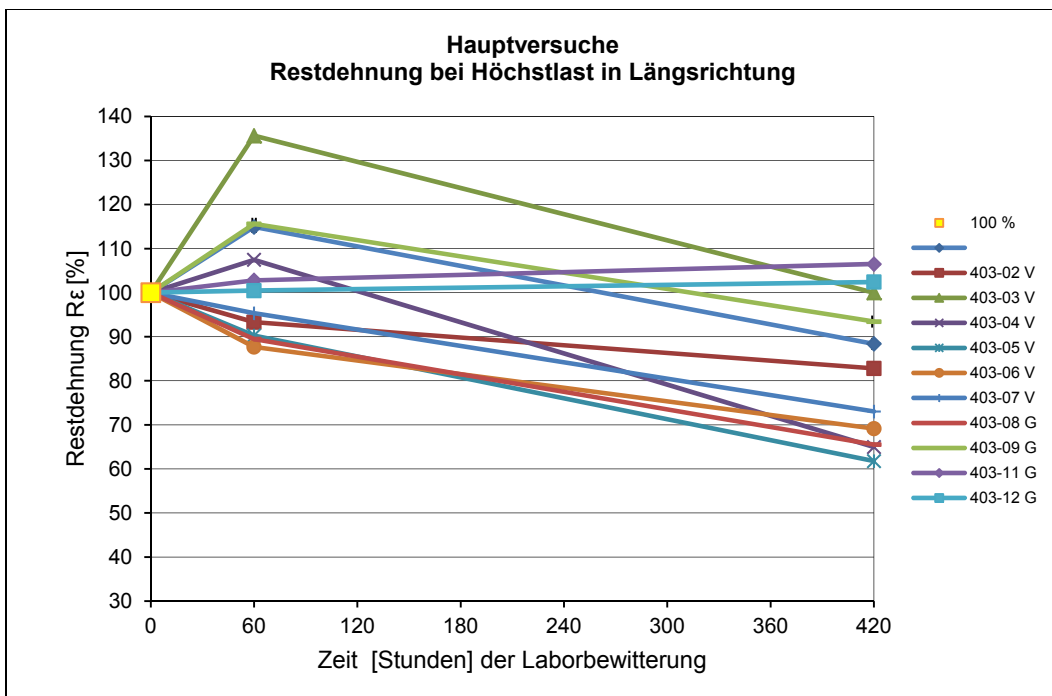


Abb. 5.39 Änderung der Restdehnung bei Höchstlast in Längsrichtung nach der Laborwitterung

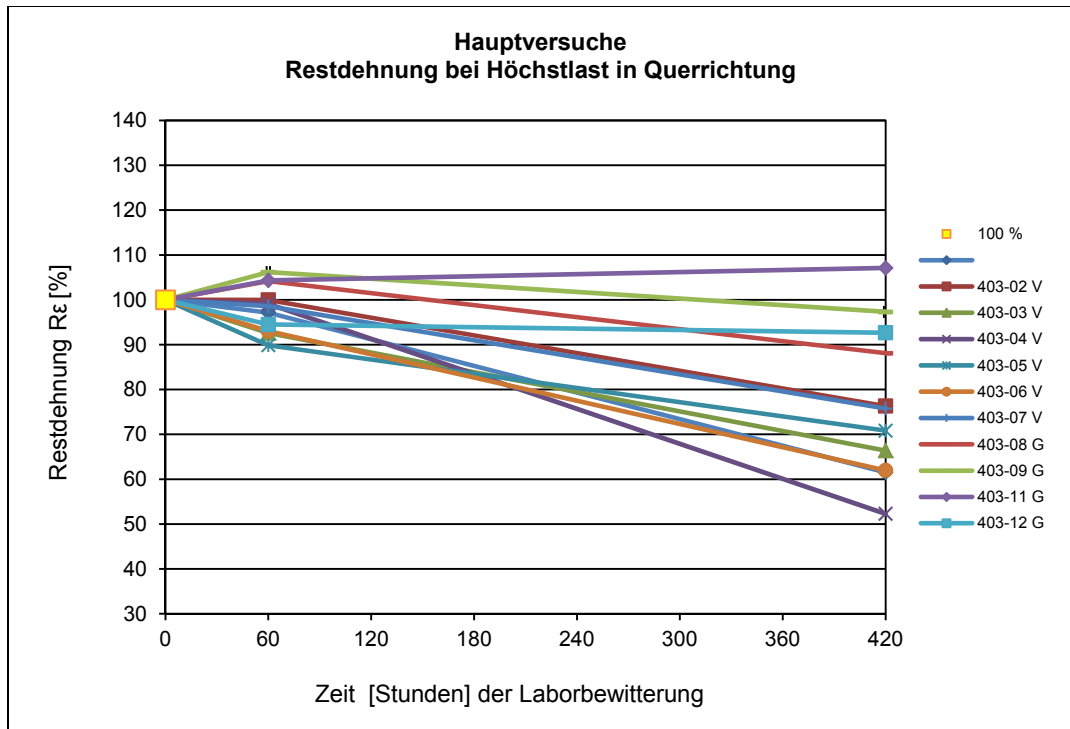


Abb. 5.40 Änderung der Restdehnung bei Höchstlast in Querrichtung nach der Laborbewitterung.

5.4 Messergebnisse der Freibewitterung

Vorbemerkung

Ein Prüfmuster dieser Produkte wurde während diesen 12 Monaten im Dunkeln und trocken gelagert und unbewittert auf Zug und Dehnung geprüft. Diese Ergebnisse dienen als Vergleichswert. Mit diesem Vorgehen will man eine eventuelle Alterung der Geokunststoffe erfassen. Die nachfolgenden Tabellen und Diagramme zeigen die Entwicklung der Restfestigkeit und die Änderung der Restdehnung bei Höchstzugkraft im Verhältnis zur Höchstzugkraft der unbewitterten Geovliese und Geogewebe während 12 Monaten. Jeden Monat (Start Juli 2010) wurde ein 50 x 100 cm langer Streifen der Produkte 403-01, 403-02, 403-03 und 403-12 auf Zug und Dehnung geprüft. Die Abb. 5.41 zeigt die Bestrahlungsmenge während der Freibewitterung von Juli 2010 bis Juli 2011. Die Daten sind von IDAWEB zur Verfügung gestellt worden.

Die Abb. 5.41 zeigt die Temperatur und die Temperaturschwankung während der Freibewitterungsdauer.

Die Prüfprotokolle der Messergebnisse der Freibewitterung sind in Anhang IV (auf beigelegter CD).

Die Prüfprotokolle der Messergebnisse der Zug- und Dehnprüfungen an den unbewitterten Proben nach 12 Monate Lagerung (Vergleichswerte) sind in Anhang V (auf beigelegter CD).

IDAWEB:

Station

BER: Bern/ Zollikofen

Koordinaten [km]: 601929 / 204409

Höhe ü.M. [m]: 552

Länge/Breite: 7°28' / 46°59'

Die Daten des IDAWEB sind im Anhang VI (auf beigelegter CD).

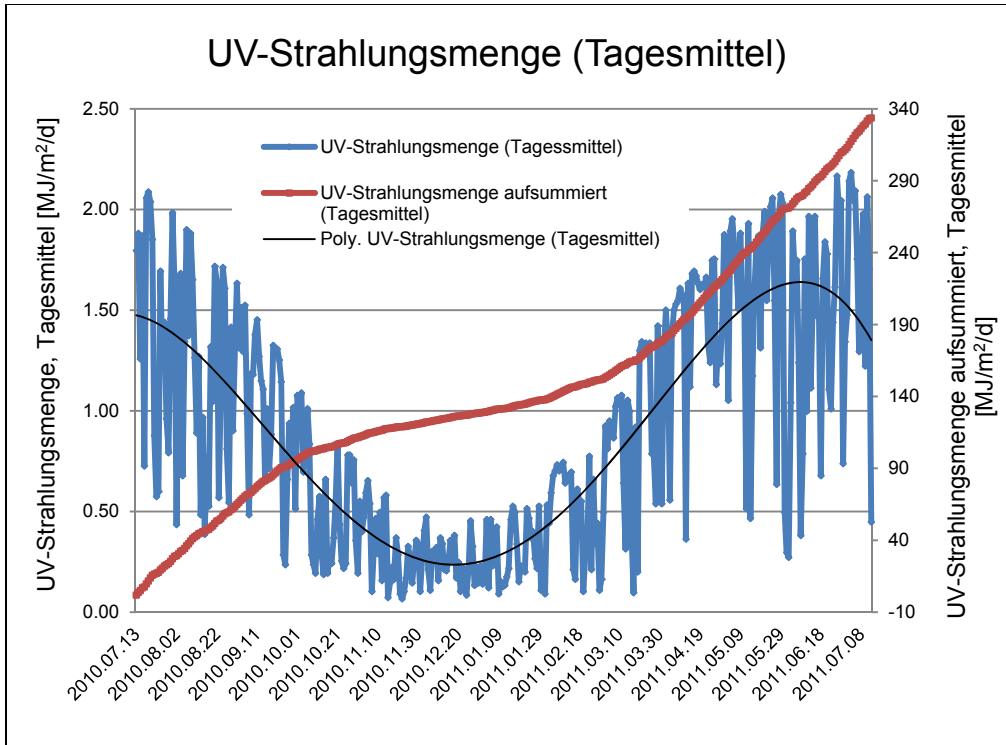


Abb. 5.41 Strahlungsmenge im Tagesverlauf (blau) und die Addition (rote Linie) während der Freibewitterungsdauer von Juli 2010 bis Juli 2011.

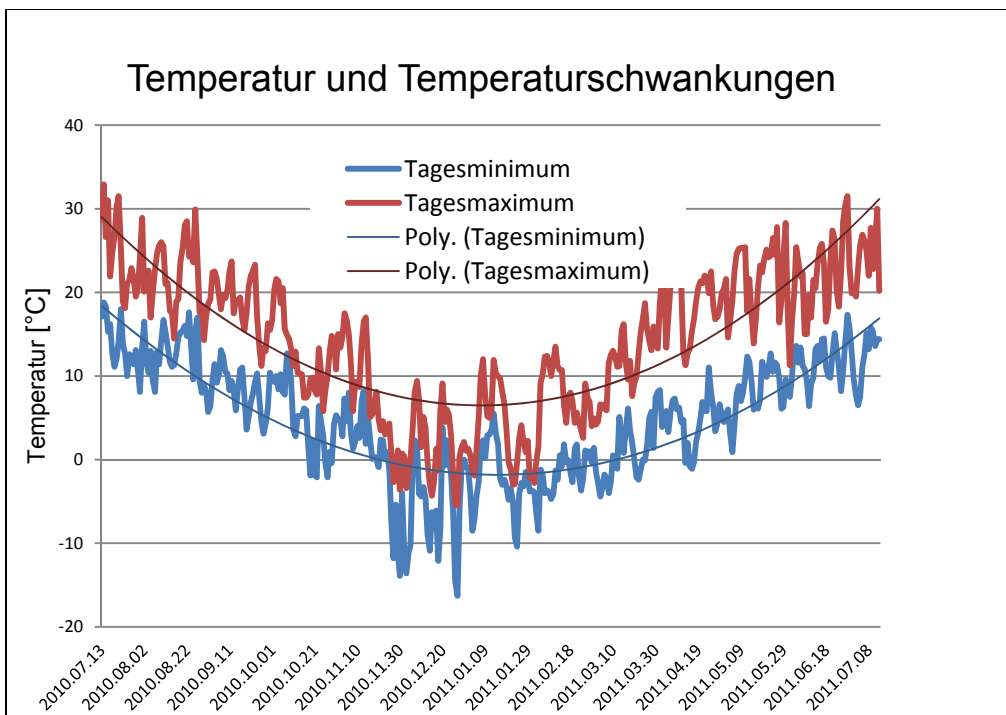


Abb. 5.42 Tagesminima und Tagesmaxima während der Freibewitterungsdauer von Juli 2010 bis Juli 2011

Minimale Tages-Temperaturschwankung 1.1 °C am 1. Februar 2011
 Maximale Tages-Temperaturschwankung 18.8 °C am 25. März 2011

Entwicklung der Restfestigkeit (R_F)

Geovlies 403-01

Tab. 5.43 Messergebnisse der Hauptversuche: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit R_F und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit	
	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
0	219	58	100	26	287	27	100	10	253	42	100.0	17
3	285	11	130	5	224	8	78	3	254	10	100.7	4
4	210	41	96	19	214	37	75	13	212	39	83.9	15
5	262	40	120	18	241	29	84	10	251	35	99.5	14
6	234	34	107	16	214	24	75	8	224	29	88.7	11
7	255	31	117	14	285	27	100	9	270	29	107.1	11
8	240	50	110	23	206	10	72	3	223	30	88.3	12
9	235	39	107	18	220	57	77	20	227	48	90.0	19
10	205	30	94	14	220	26	77	9	212	28	84.1	11
11	183	17	84	8	164	16	57	5	173	16	68.6	7
12	237	44	108	20	201	19	70	7	219	32	86.8	12
00	255	44	117	20	231	56	80	19	243	50	96.2	20

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.44, Abb. 5.45, Abb. 5.46) zeigen den Verlauf der Restfestigkeit während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Festigkeit des unbewitterten Geovlies.

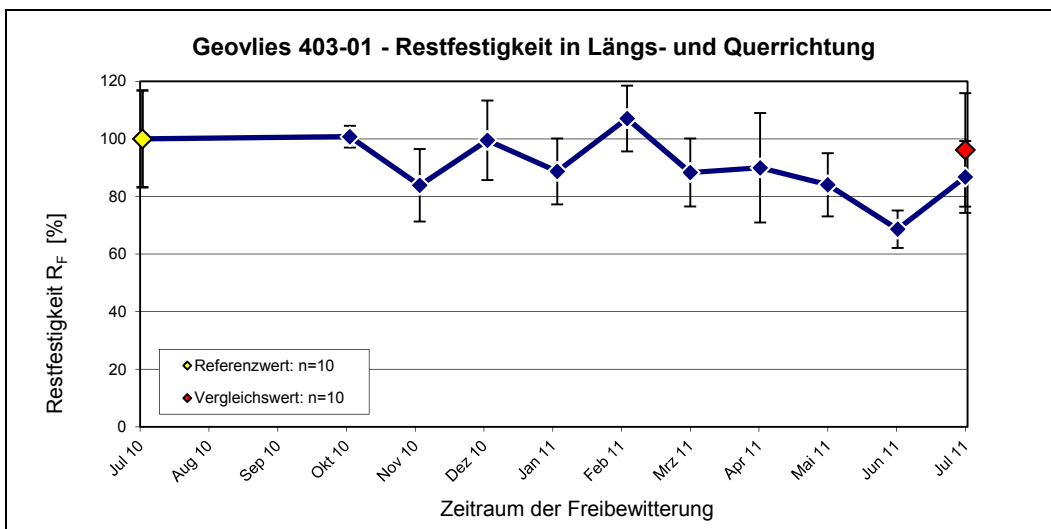


Abb. 5.44 Entwicklung der Restfestigkeit aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

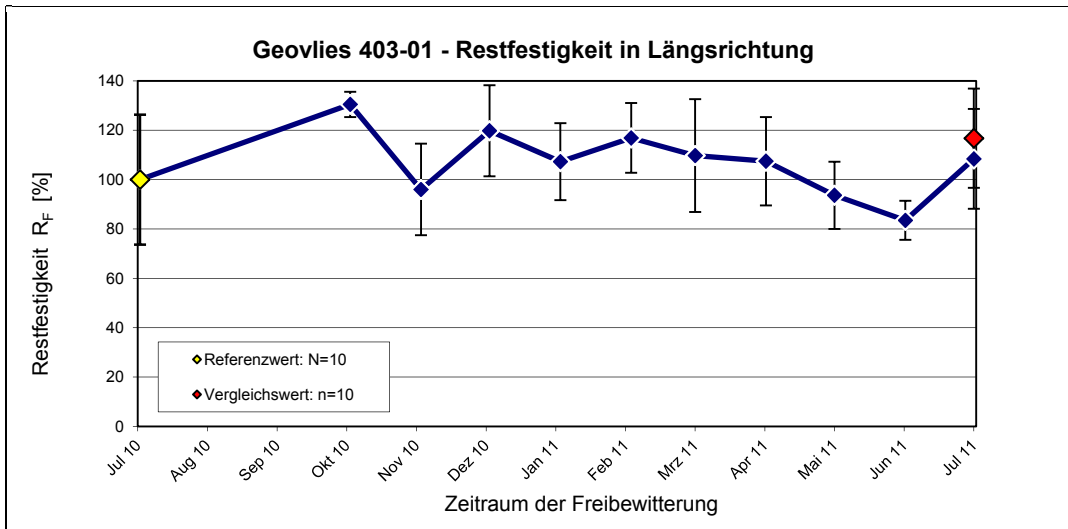


Abb. 5.45 Entwicklung der Restfestigkeit in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

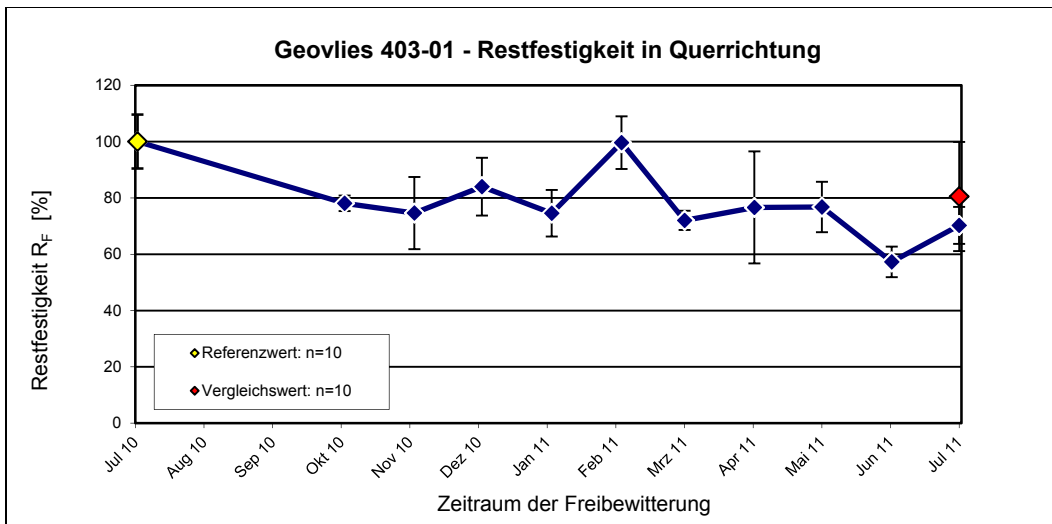


Abb. 5.46 Entwicklung der Restfestigkeit in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

Der erhöhte Wert der Restfestigkeit im Monat Februar und die Zunahme der Restfestigkeit am Ende der 12 Monate Freibewitterung kann mit den vorhandenen Daten nicht erklärt werden.

Auffallend ist auch der Streubereich der Restfestigkeit des Vergleichswerts nach 12 Monaten. In Längsrichtung liegt er ca. 20 % über dem Referenzwert und in Querrichtung ca. 20 % unter dem Referenzwert. Diese Streuung könnte auf die Inhomogenität der Geokunststoffe zurückgeführt werden, siehe Abb. 5.30, Seite 39.

Geovlies 403-02

Tab. 5.47 Messergebnisse der Hauptversuche: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit R_F und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit	
	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
0	405	63	100	16	433	35	100	8	419	49	100.0	12
3	442	36	109	9	440	40	102	9	441	38	105.2	9
4	439	44	109	11	449	54	104	13	444	49	106.1	12
5	437	56	108	14	405	30	94	7	421	43	100.6	10
6	425	38	105	9	365	22	84	5	395	30	94.3	7
7	480	20	119	5	450	24	104	6	465	22	111.0	5
8	445	37	110	9	383	18	89	4	414	28	98.9	7
9	357	44	88	11	379	18	88	4	368	31	87.9	7
10	398	57	98	14	307	67	71	15	353	62	84.2	15
11	370	62	91	15	359	35	83	8	364	48	87.0	12
12	434	54	107	13	420	23	97	5	427	39	102.0	9
00	422	66	104	16	396	29	92	7	409	48	97.8	11

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.48, Abb. 5.49, Abb. 5.50) zeigen den Verlauf der Restfestigkeit während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Festigkeit des unbewitterten Geovlies.

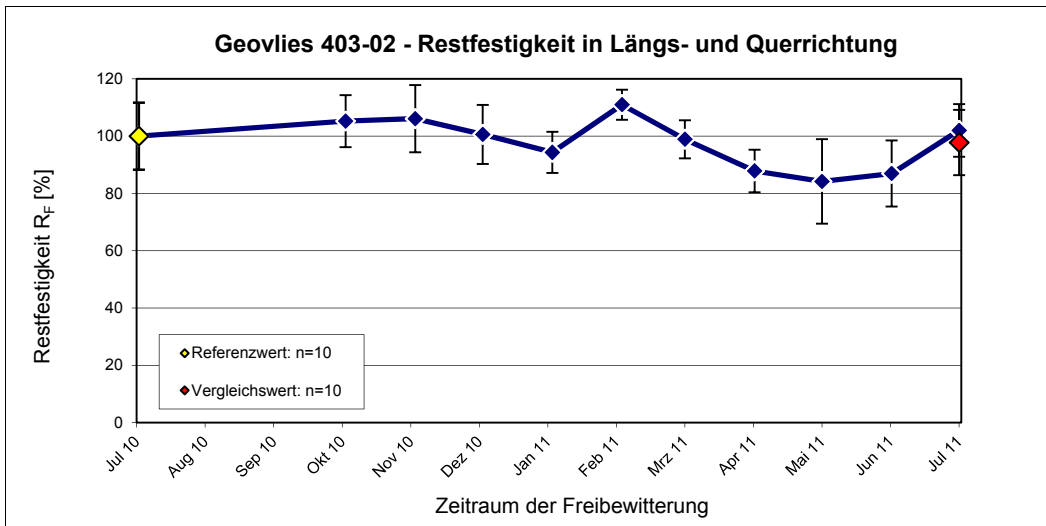


Abb. 5.48 Entwicklung der Restfestigkeit aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

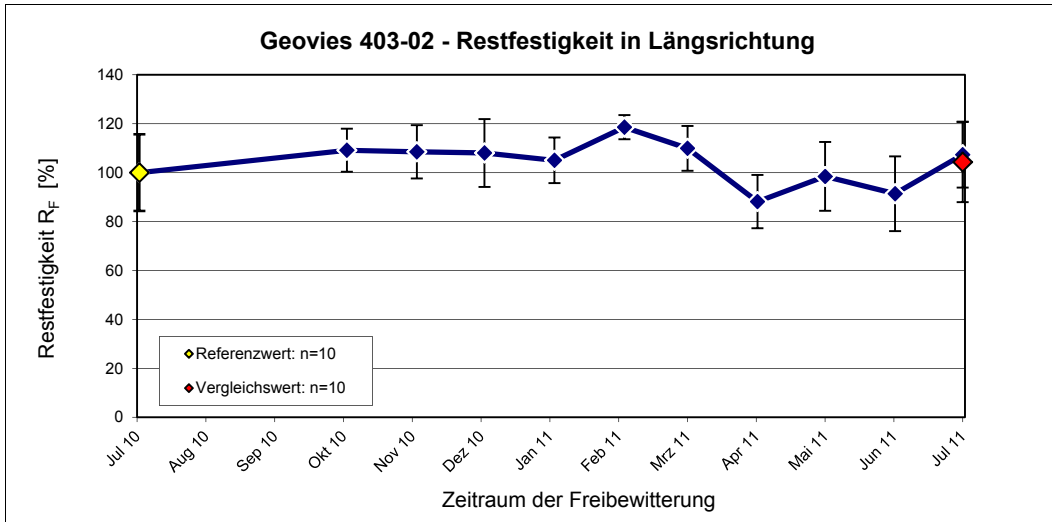


Abb. 5.49 Entwicklung der Restfestigkeit in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

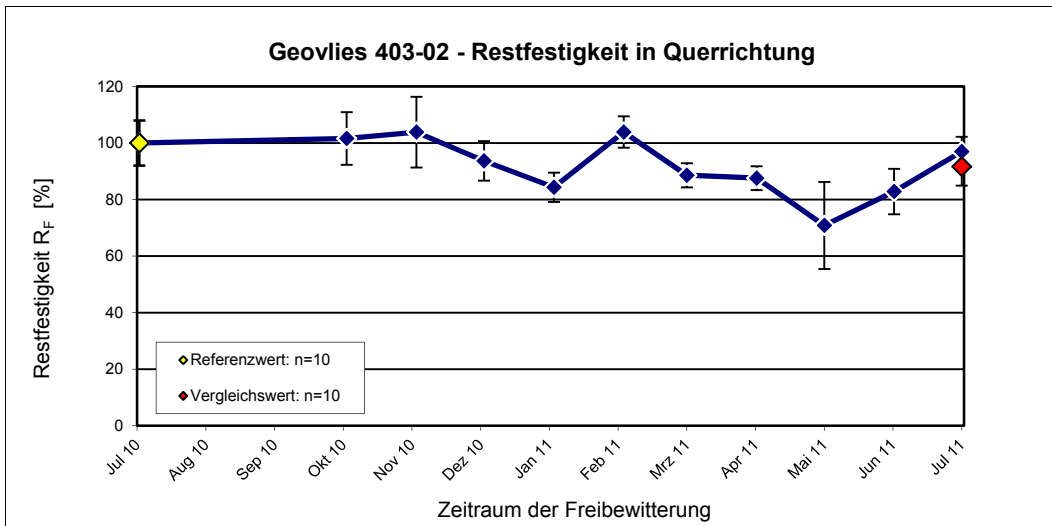


Abb. 5.50 Entwicklung der Restfestigkeit in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

Bemerkung:

Der erhöhte Wert der Restfestigkeit im Monat Februar und die Zunahme der Restfestigkeit am Ende der 12 Monate Freibewitterung kann mit den vorhandenen Daten nicht erklärt werden.

Geovlies 403-03

Tab. 5.51 Messergebnisse der Hauptversuche: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit R_F und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit	
	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
0	831	264	100	32	924	103	100	11	877	183	100.0	21
3	783	125	94	15	632	20	68	2	707	72	80.6	8
4	777	118	93	14	758	74	82	8	767	96	87.4	11
5	816	49	98	6	674	110	73	12	745	80	84.9	9
6	868	102	104	12	735	116	80	13	802	109	91.3	12
7	729	93	88	11	772	53	84	6	751	73	85.6	8
8	785	74	94	9	668	80	72	9	727	77	82.8	9
9	635	34	76	4	666	44	72	5	650	39	74.1	4
10	731	56	88	7	688	75	75	8	710	66	80.9	7
11	632	114	76	14	569	77	62	8	600	96	68.4	11
12	638	108	77	13	552	67	60	7	595	87	67.8	10
00	854	137	103	17	893	140	97	15	873	139	99.5	16

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.52, Abb. 5.53, Abb. 5.54) zeigen den Verlauf der Restfestigkeit während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Festigkeit des unbewitterten Geovlies.

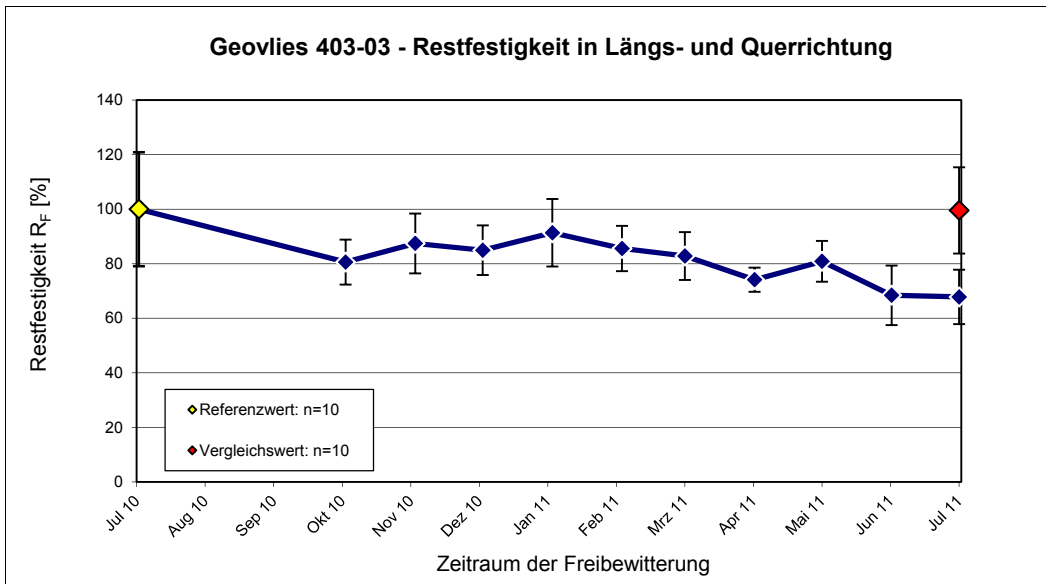


Abb. 5.52 Entwicklung der Restfestigkeit aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

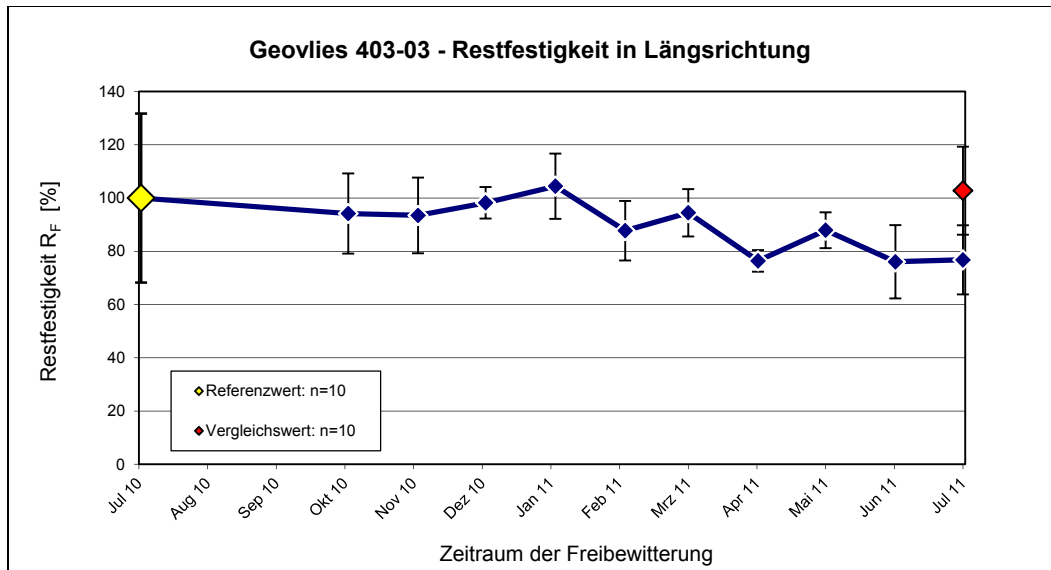


Abb. 5.53 Entwicklung der Restfestigkeit in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

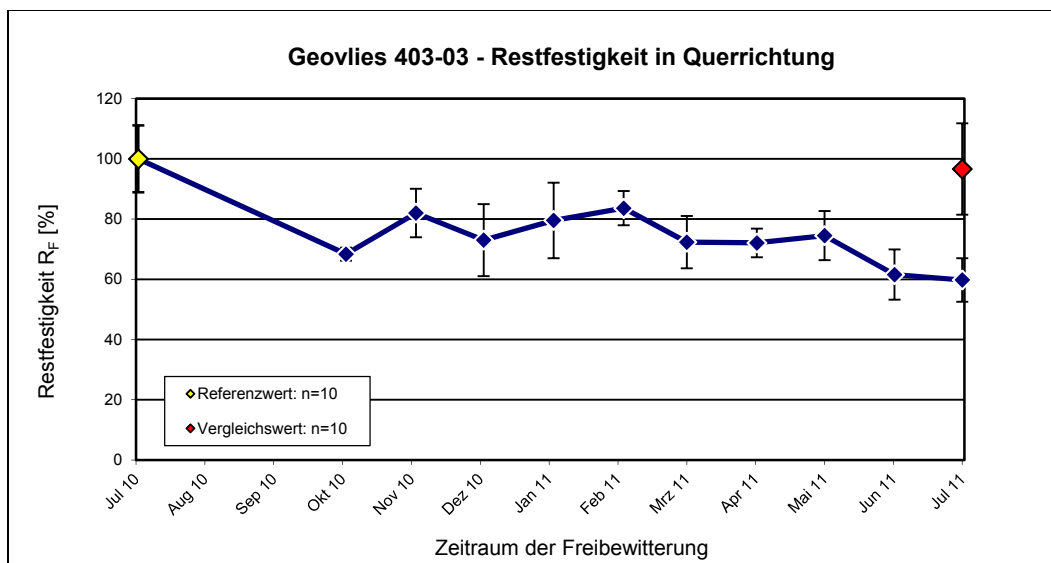


Abb. 5.54 Entwicklung der Restfestigkeit in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

Geogewebe 403-12

Tab. 5.55 Messergebnisse der Hauptversuche: Höchstzugkraft F_e und Standardabweichung s , Restfestigkeit R_F und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit		Höchstzugkraft		Restfestigkeit	
	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]	F_e [N]	s [N]	R_F [%]	s [%]
0	1098	40	100	4	1028	46	100	4	1063	43	100.0	4
3	1091	27	99	2	968	67	94	6	1029	47	96.8	4
4	1064	14	97	1	937	29	91	3	1001	22	94.1	2
5	976	31	89	3	1020	21	99	2	998	26	93.9	2
6	974	52	89	5	986	67	96	7	980	59	92.2	6
7	1096	58	100	5	1057	23	103	2	1077	41	101.3	4
8	1047	34	95	3	994	31	97	3	1020	32	96.0	3
9	1080	53	98	5	1027	38	100	4	1053	45	99.1	4
10	1139	44	104	4	1008	20	98	2	1073	32	101.0	3
11	1053	52	96	5	1005	49	98	5	1029	50	96.8	5
12	1026	41	93	4	999	23	97	2	1012	32	95.2	3
00	1076	67	98	6	999	25	97	2	1038	46	97.6	4

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.56, Abb. 5.57, Abb. 5.58) zeigen den Verlauf der Restfestigkeit während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Festigkeit des unbewitterten Geogewebes.

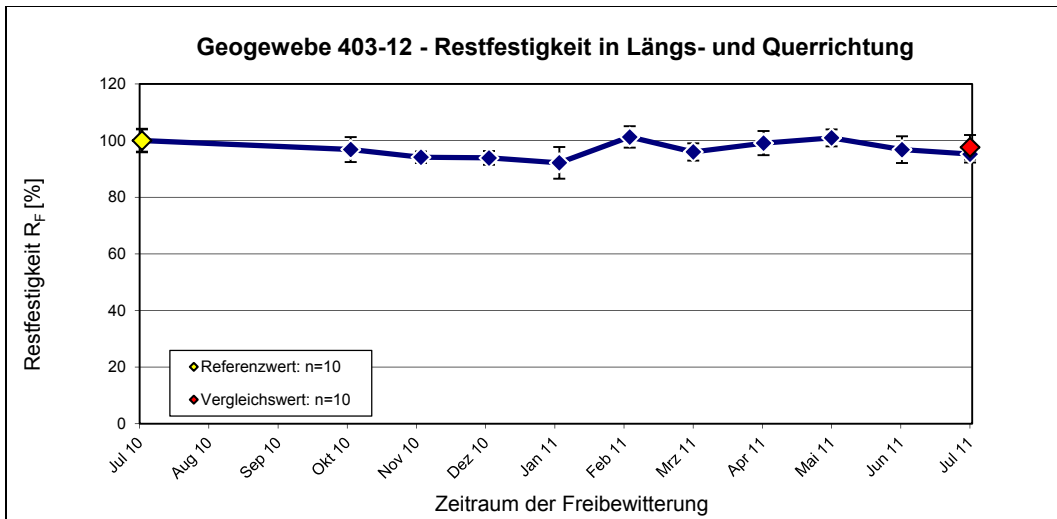


Abb. 5.56 Entwicklung der Restfestigkeit aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

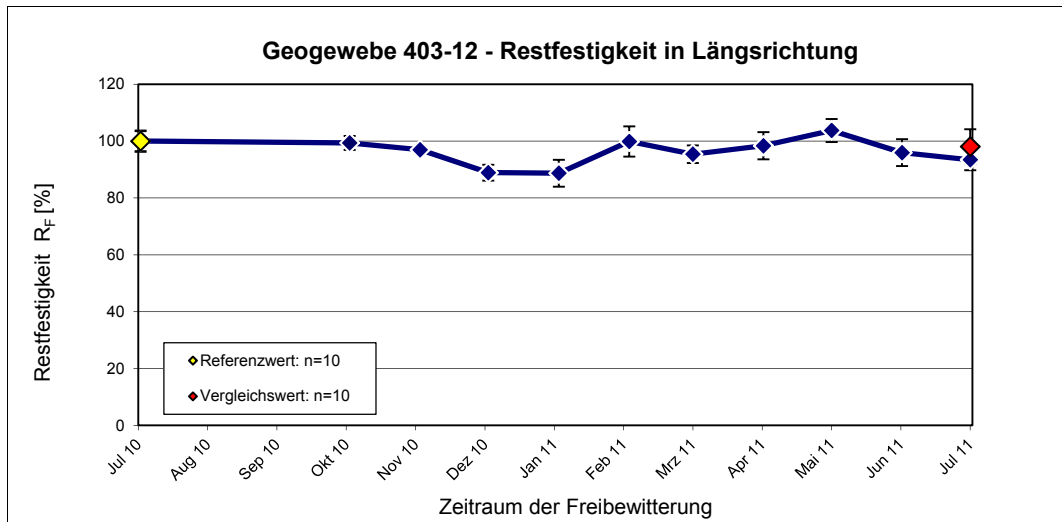


Abb. 5.57 Entwicklung der Restfestigkeit in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

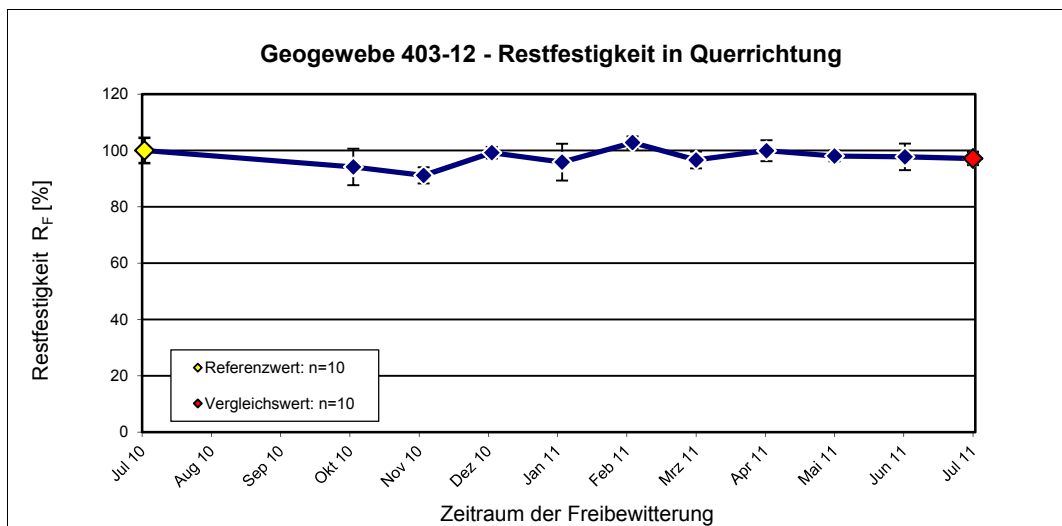


Abb. 5.58 Entwicklung der Restfestigkeit in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

Änderung der Restdehnung (R ϵ) bei Höchstzugkraft

Geovlies 403-01

Tab. 5.59 Messergebnisse nach Freibewitterung: Dehnung bei Höchstzugkraft ϵ_e und Standardabweichung s, Restdehnung R ϵ und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
	ϵ_e [%]	s [%]	R ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R ϵ [%]	s [%]
0	68	9	100	13	70	4	100	6	69	7	100.0	9
3	71	5	105	7	56	2	79	3	63	3	91.7	5
4	72	5	107	7	59	9	84	13	66	7	95.3	10
5	68	7	100	11	63	5	89	7	65	6	94.7	9
6	65	8	96	11	50	5	72	7	58	6	83.4	9
7	68	5	101	8	63	3	89	5	65	4	94.8	6
8	70	3	104	4	52	1	75	2	61	2	89.1	3
9	66	8	97	12	58	7	82	10	62	7	89.5	11
10	60	5	88	7	58	3	82	5	59	4	85.1	6
11	58	3	86	5	45	2	64	3	52	3	74.8	4
12	60	4	89	6	50	5	71	8	55	5	79.8	7
00	78	8	116	11	66	5	94	7	72	6	104.4	9

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.60, Abb. 5.61, Abb. 5.62) zeigen die Änderung der Dehnung bei Höchstlast während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Dehnung bei Höchstlast des unbewitterten Geovlies.

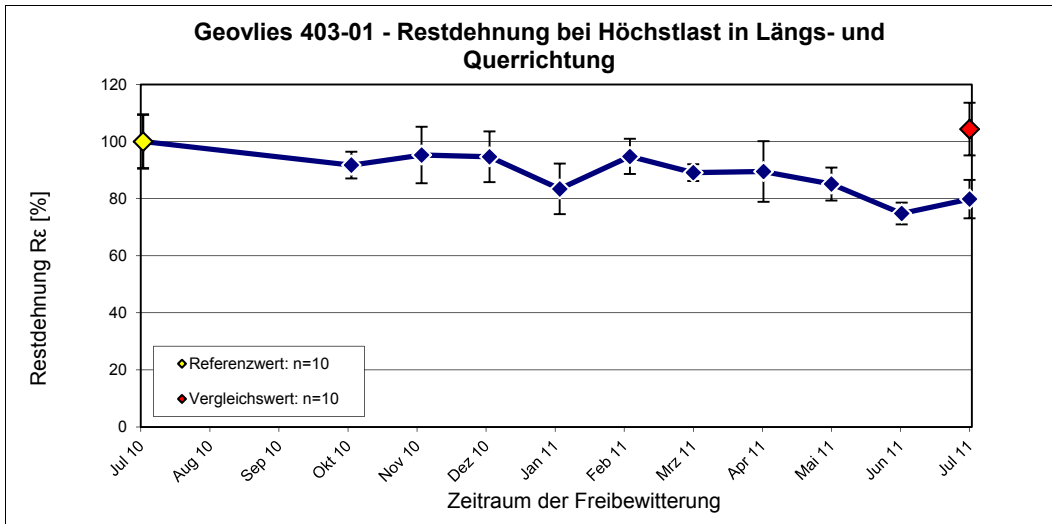


Abb. 5.60 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

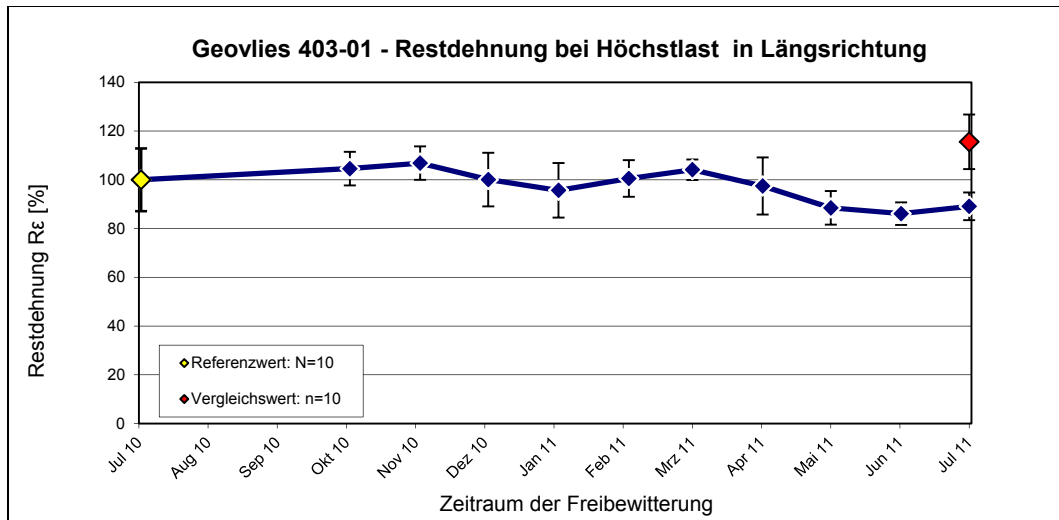


Abb. 5.61 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

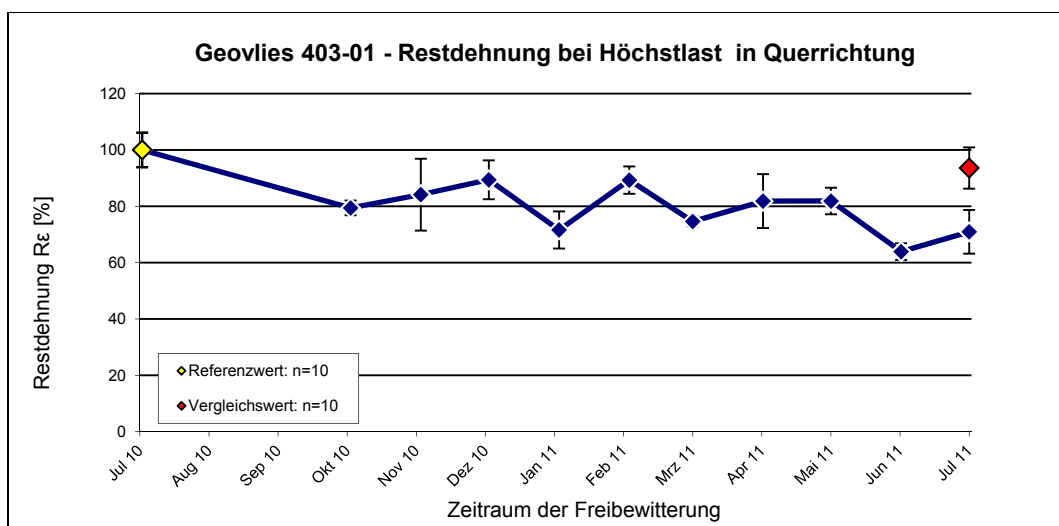


Abb. 5.62 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

Geovlies 403-02

Tab. 5.63 Messergebnisse nach Freibewitterung: Dehnung bei Höchstzugkraft ϵ_e und Standardabweichung s , Restdehnung R_ϵ und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]
0	68	9	100	13	65	4	100	6	66	4	100.0	7
3	71	5	105	7	59	6	92	9	66	6	98.9	9
4	72	5	107	7	59	3	90	5	62	4	94.2	6
5	68	7	100	11	62	5	95	8	66	5	98.9	8
6	65	8	96	11	49	2	76	3	59	3	88.9	5
7	68	5	101	8	62	2	95	3	65	3	98.0	4
8	70	3	104	4	57	3	87	4	62	4	93.1	6
9	66	8	97	12	54	3	84	4	58	3	86.9	4
10	60	5	88	7	51	5	79	8	56	5	84.6	8
11	64	6	94	9	54	5	84	8	59	6	89.1	9
12	62	5	92	7	58	3	89	5	60	4	90.6	6
00	74	5	110	7	62	5	96	8	68	5	103.1	8

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.64, Abb. 5.65, Abb. 5.66) zeigen die Änderung der Dehnung bei Höchstlast während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Dehnung bei Höchstlast des unbewitterten Geovlies.

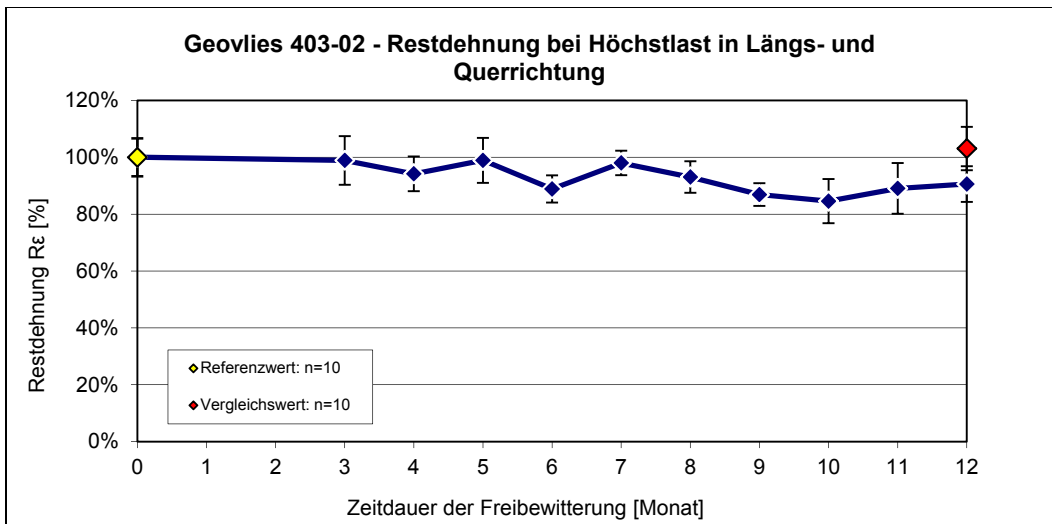


Abb. 5.64 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

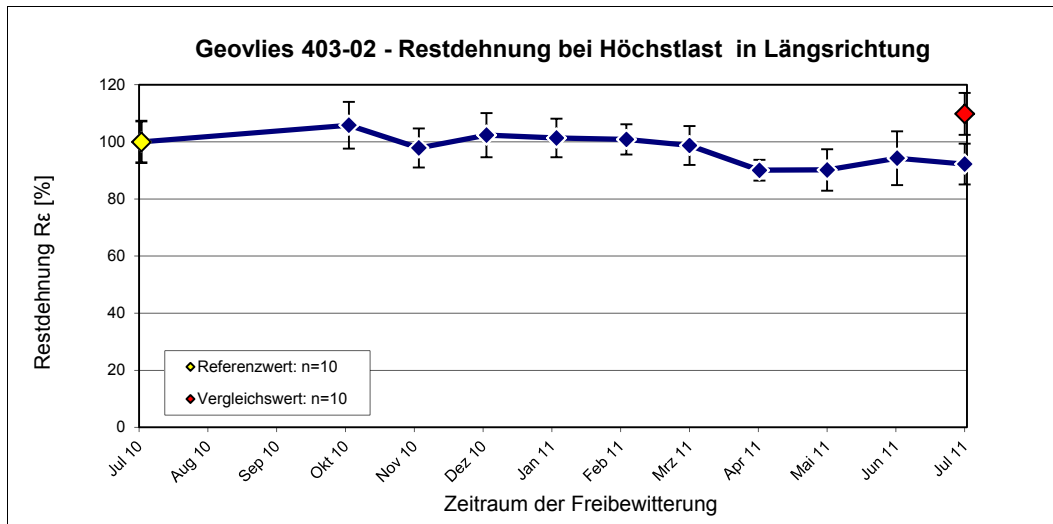


Abb. 5.65 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

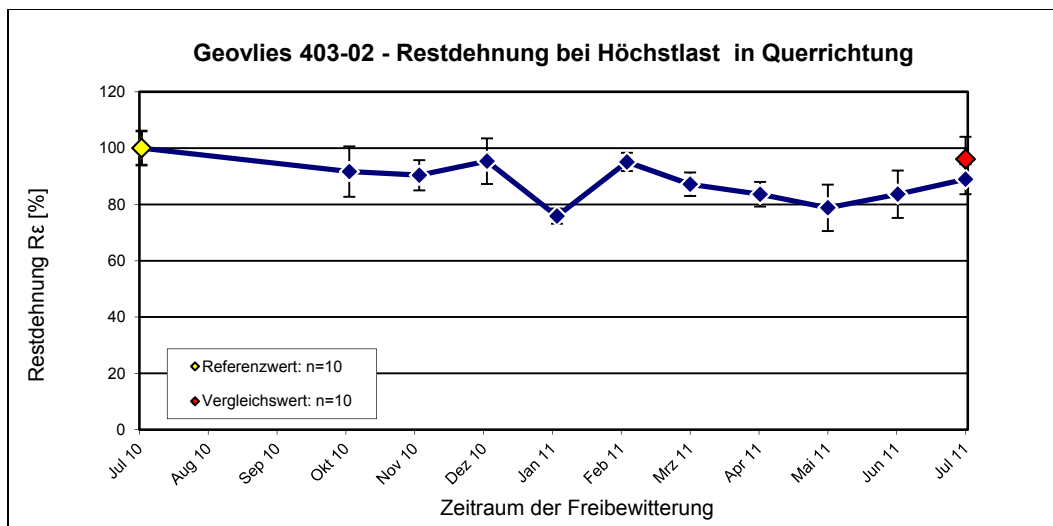


Abb. 5.66 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

Geovlies 403-03

Tab. 5.67 Messergebnisse nach Freibewitterung: Dehnung bei Höchstzugkraft ϵ_e und Standardabweichung s , Restdehnung R_ϵ und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]
0	88	9	100	11	54	7	100	13	71	8	100.0	12
3	67	7	76	8	35	2	65	3	51	4	71.9	6
4	78	4	89	5	34	4	63	7	56	4	79.4	6
5	70	10	80	12	37	2	70	4	54	6	76.2	9
6	65	3	74	4	42	4	79	7	54	4	75.9	5
7	63	5	72	5	34	2	64	3	49	3	69.3	5
8	67	7	77	9	32	1	60	3	50	4	70.7	6
9	70	4	80	4	37	3	70	6	54	3	76.1	5
10	68	8	78	9	32	2	61	4	50	5	71.1	7
11	60	7	69	8	32	1	61	2	46	4	65.6	6
12	58	6	67	7	36	3	68	5	47	4	67.0	6
00	91	8	104	9	52	7	98	13	72	7	101.6	10

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.68, Abb. 5.69, Abb. 5.70) zeigen die Änderung der Dehnung bei Höchstlast während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Dehnung bei Höchstlast des unbewitterten Geovlies.

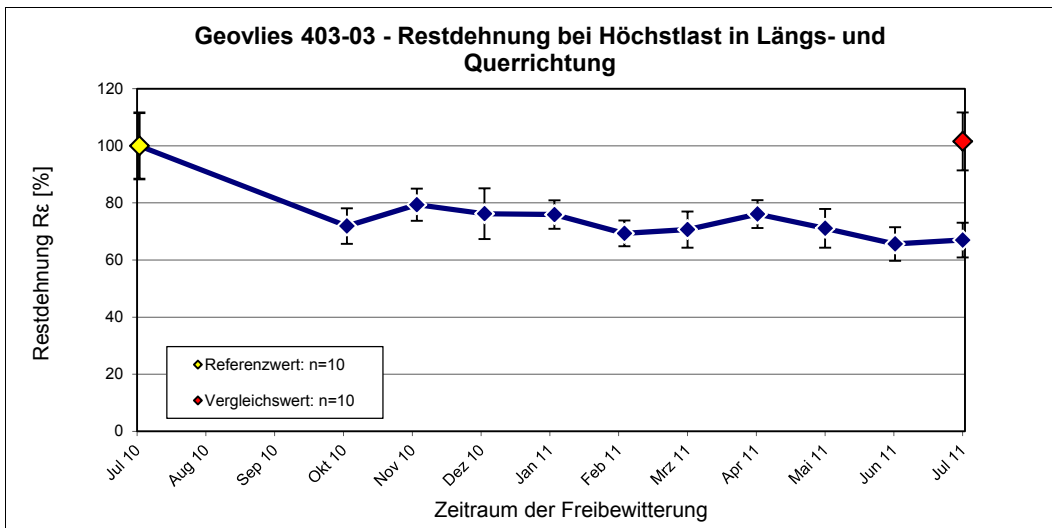


Abb. 5.68 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

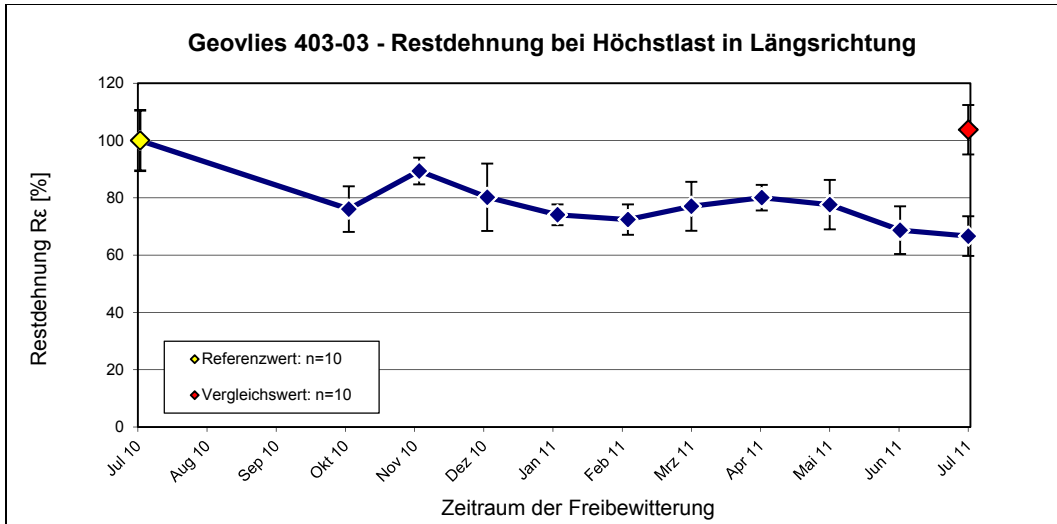


Abb. 5.69 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

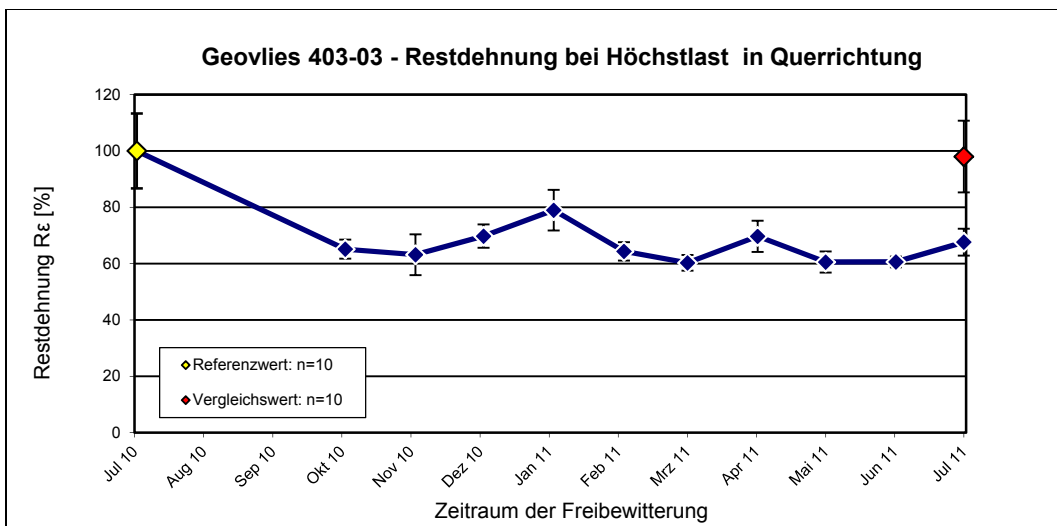


Abb. 5.70 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

Geovlies 403-12

Tab. 5.71 Messergebnisse nach Freibewitterung: Dehnung bei Höchstzugkraft ϵ_e und Standardabweichung s , Restdehnung R_ϵ und Standardabweichung s

Zeit [Mte]	längs				quer				Mittelwerte längs und quer			
	Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung		Dehnung		Restdehnung	
	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]	ϵ_e [%]	s [%]	R_ϵ [%]	s [%]
0	28	2	100	7	33	2	100	6	30	2	100.0	6
3	27	2	96	6	29	2	89	7	28	2	92.5	6
4	28	1	100	5	29	1	87	4	28	1	92.9	4
5	24	1	87	5	32	2	97	5	28	2	92.5	5
6	32	2	113	9	32	2	98	6	32	2	104.7	7
7	25	2	91	7	31	2	95	6	28	2	93.1	6
8	27	2	98	7	33	1	100	3	30	1	98.9	5
9	28	2	101	7	35	1	106	4	31	2	103.6	5
10	30	1	106	4	35	1	106	4	32	1	105.8	4
11	28	1	99	3	34	2	103	7	31	2	101.1	5
12	25	1	88	5	29	0	89	1	27	1	88.7	3
00	31	4	112	13	35	3	107	8	33	3	109.1	10

0 Referenzwert: Messung des Geokunststoffs im Anlieferungszustand
 00 Vergleichswert: Messung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monate lichtgeschützter Lagerung in einem trockenen, unbeheizten Raum

Die Diagramme (Abb. 5.72, Abb. 5.73, Abb. 5.74) zeigen die Änderung der Dehnung bei Höchstlast während eines Jahres Freibewitterung im Verhältnis zur Dehnung bei Höchstlast des unbewitterten Geogewebes.

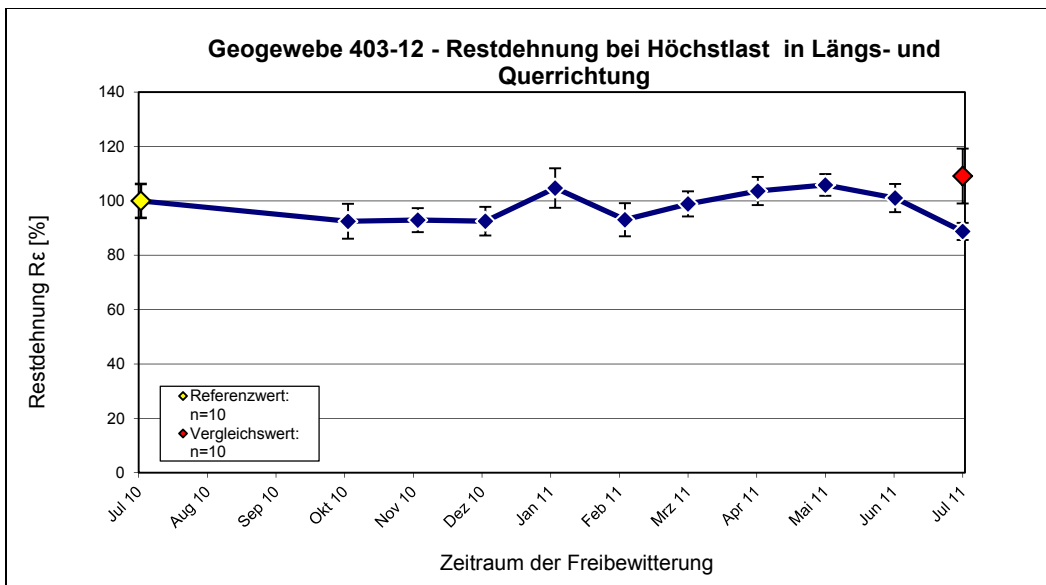


Abb. 5.72 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast aus den Mittelwerten der Längs- und Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

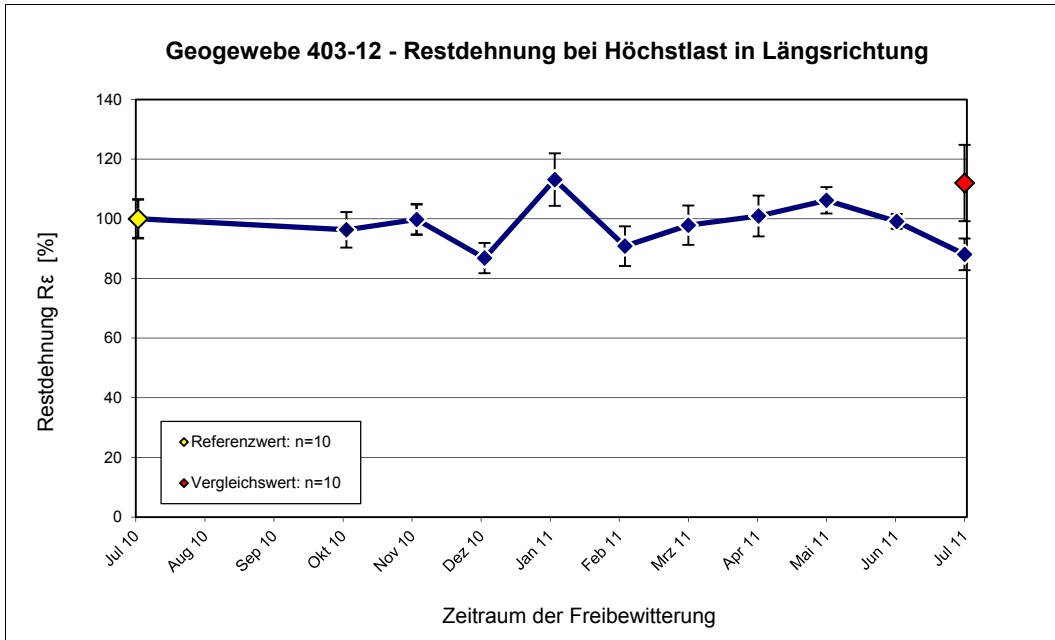


Abb. 5.73 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Längsrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

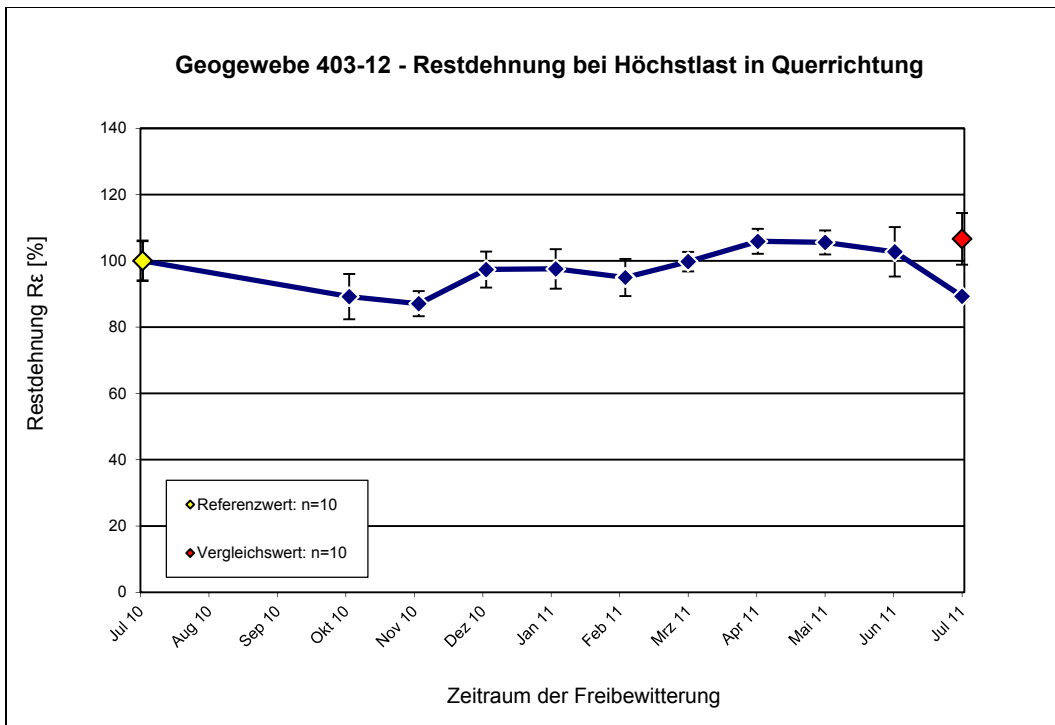


Abb. 5.74 Entwicklung der Restdehnung bei Höchstlast in Querrichtung. Der Vergleichswert (roter Punkt) entspricht dem Resultat der Prüfung des unbewitterten Geokunststoffs nach 12 Monaten lichtgeschützter Lagerung.

6 Auswertung der Messergebnisse Witterungsbeständigkeit

6.1 Anforderungswerte

Änderung der Zugfestigkeit: EN 12226:2012

Es werden der Mittelwert (5 Proben vom selben bewitterten Prüfkörper) der Zugfestigkeit der bewitterten Prüfkörper F_e und seine Standardabweichung s berechnet. Zusätzlich werden der Mittelwert (5 Proben vom selben unbewitterten Prüfkörper) der Zugfestigkeit der Kontrollprobekörper (unbewitterte Prüfkörper = Referenzwert) F_c und seine Standardabweichung s berechnet.

Es wird die Restfestigkeit R_F in Prozent auf eine Kommastelle nach folgender Gleichung berechnet:

$$R_F = \frac{F_e}{F_c} \times 100\%$$

Änderung der Dehnung bei Höchstlast: EN 12226:2012

Es werden der Mittelwert (5 Proben vom selben bewitterten Prüfkörper) der Dehnung bei Höchstlast der bewitterten Probekörper ε_e und seine Standardabweichung berechnet. Ferner werden der Mittelwert (5 Proben vom selben unbewitterten Prüfkörper) der Dehnung bei Höchstlast der Kontrollkörper (unbewitterte Prüfkörper = Referenzwert) ε_c und seine Standardabweichung s berechnet.

Es wird die Restdehnung bei Höchstlast R_ε in Prozent auf eine Kommastelle nach folgender Gleichung berechnet:

$$R_\varepsilon = \frac{\varepsilon_e}{\varepsilon_c} \times 100\%$$

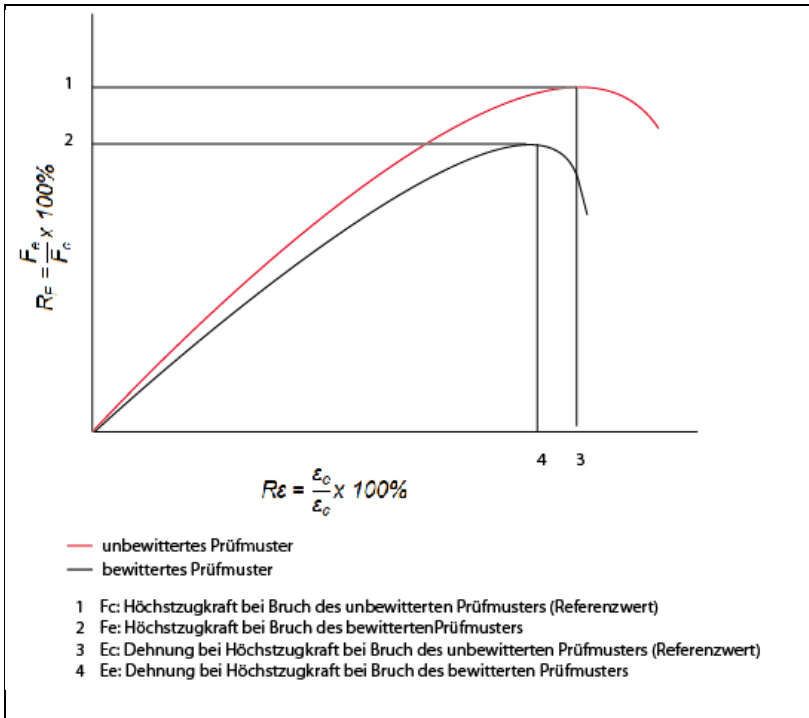


Abb. 6.75 Die schematische Abbildung zeigt auf der y-Achse die Restfestigkeit R_F und auf der x-Achse die Dehnung bei Höchstlast R_ϵ . Die rote Linie gibt die Referenzwerte F_c und ϵ_c , die schwarze Linie die Werte F_e und ϵ_e nach der Bewitterung.

Bisher: Anforderungswert nach SN 670 241

Die Norm SN 670 241 sagt, dass ein Geokunststoff für permanente Anwendungen einen Restfestigkeitswert von 95% nach 60 Stunden Bewitterung aufweisen muss. Bei temporärem Einsatz wird ein Restfestigkeitswert von 75% verlangt (Tab. 6.76).

Tab. 6.76 Anforderungswerte der Restfestigkeit nach SN 670 241

Funktionsdauer des Geokunststoffs	Temporär (≤ 2 Jahre)	Permanent (≥ 2 Jahre)
Restfestigkeit R_F	$\geq 75\%$	$\geq 95\%$

Neu: Höchstzulässige Freiliegedauer nach EN 13249:2000/A1 / SN 670249b-NA

Die Norm schreibt vor, dass sämtliche Geotextilien und geotextilverwandte Produkte einer künstlichen Prüfung der Wetterbeständigkeit nach EN 12224 zu unterziehen sind, es sei denn, sie werden noch am Tag ihres Einbaus bedeckt. Die Zeitdauer, in der ein Geokunststoff ungeschützt auf der Baustelle verbleiben darf, wird durch die Restfestigkeit des Produkts mit der jeweiligen Anwendung des Produkts bestimmt, siehe Tab. 6.77.

Tab. 6.77 Höchstzulässige Freiliegedauer nach EN 13249:2000/A1 / SN 670249b-NA

Anwendung	Restfestigkeit	Höchstzulässige Freiliegedauer nach Einbau
Bewehrung oder andere Anwendungen, bei denen die Langzeitfestigkeit ein bestimmender Parameter ist	> 80 %	1 Monat ^a
	60 % bis 80 %	2 Wochen
	< 60 %	1 Tag
weitere Anwendungen	> 60 %	1 Monat ^a
	20 % bis 60 %	2 Wochen
	< 20 %	1 Tag

^a Freilage bis zu 4 Monaten kann in Abhängigkeit von der Jahreszeit und dem Einbauort in Europa zulässig sein.

6.2 Berechnungsmethode: Basierend auf minimaler Restfestigkeit

Vorbemerkung

Für die Berechnung des neuen Anforderungswerts der Restfestigkeit, der durch die Anpassung an die EN 12224 verlangt ist, wurden verschiedene Berechnungsmethoden angewendet.

Der zur Verfügung stehende Datensatz von 11 geprüften Geokunststoffen ist sehr klein. Die folgenden Berechnungsmethoden, die bei grossen Datenmengen eingesetzt werden, sind sie für den kleinen Datensatz nicht geeignet.

Deshalb wurden die folgenden Berechnungsmethoden verworfen:

- Gauss-Verteilung mit Proportionalitätsbetrachtung
- Gauss-Verteilung mit Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
- Student-t-Verteilung (Wahrscheinlichkeitsverteilung)

Diese Berechnungsmethoden wurden trotzdem durchgerechnet. Sie ergaben nicht signifikant andere Resultate, als die im Folgenden beschriebene Methode.

Basierend auf minimaler Restfestigkeit

Die ausgewählte Methode basiert auf einer nicht statistischen Verteilung. Sie schlägt den minimal bestimmten Wert der Restfestigkeit als Anforderungswert vor. Das heisst, der tiefste Wert, der den Anforderungswert $\geq 95\%$ nach 60 Stunden Bewitterung noch erfüllt, entspricht auch dem tiefsten Anforderungswert nach 420 Stunden Bewitterung.

6.3 Auswertung der Laborbewitterung

Die Auswertung erfolgte gemäss Kapitel 6.2 nach dem Prinzip der geringsten Restfestigkeit. Tab. 6.78 und Tab. 6.79 zeigen die Zusammenstellung der Resultate der Restfestigkeit R_F aus den Laborbewitterungsversuchen 60 Stunden und 420 Stunden.

Tab. 6.78 Zusammenstellung der Messergebnisse der Restfestigkeit R_F nach 60 Stunden Bewitterung

Test Nr.	R_F längs [%]	R_F quer [%]	R_F Mittelwert längs und quer [%]
403-01 V	175.6	104.8	135.5
403-02 V	109.8	109.0	109.4
403-03 V	96.6	113.3	105.4
403-04 V	107.8	77.0	91.0
403-05 V	99.0	95.5	97.4
403-06 V	100.7	101.6	101.1
403-07 V	102.7	102.4	102.6
403-08 G	101.8	99.1	100.6
403-09 G	125.0	110.8	117.5
403-11 G	98.6	98.1	98.4
403-12 G	96.0	97.4	96.6
Mittelwert	110.3	100.8	105
Standardabweichung	23.1	9.8	12.3

Tab. 6.79 Zusammenstellung der Messergebnisse der Restfestigkeit R_F nach 420 Stunden Bewitterung

Test Nr.	R_F längs [%]	R_F quer [%]	R_F Mittelwert längs und quer [%]
403-01 V	89.6	56.2	70.7
403-02 V	112.1	96.0	103.8
403-03 V	117.8	80.0	97.9
403-04 V	40.7	38.5	39.5
403-05 V	52.6	68.5	60.1
403-06 V	57.5	63.3	60.3
403-07 V	65.7	90.3	77.6
403-08 G	72.2	87.6	79.2
403-09 G	114.1	110.1	112.0
403-11 G	98.5	100.0	99.0
403-12 G	92.2	93.4	92.8
Mittelwert	83.0	80.4	81.2
Standardabweichung	26.8	21.4	22.2

Tab. 6.80 Ermittlung des neuen Anforderungswerts basierend auf dem Prinzip der minimalsten Restfestigkeit nach 420 Stunden Bewitterung

Test Nr.	R_F Mittelwert längs und quer [%]
403-01 V	70.7
403-02 V	103.8
403-03 V	97.9
403-04 V	39.5
403-05 V	60.1 = niedrigster Wert
403-06 V	60.3
403-07 V	77.6
403-08 G	79.2
403-09 G	112.0
403-11 G	99.0
403-12 G	92.8

Die Daten der 60-Stunden-Bewitterung zeigen, dass das Produkt 403-04 den Anforderungswert von 95 % Restfestigkeit nach SN 670 240 nicht erfüllt. Es kann nun davon ausgegangen werden, dass dieses Produkt die Anforderungen nach 420 Stunden Bewitterung ebenfalls nicht erfüllt. Aus diesem Grund wird der Datensatz 403-04 für die Auswertung nicht berücksichtigt. Es wird das Produkt gewählt, das die niedrigste Restfestigkeit aufweist, und dennoch den Anforderungswert 95 % erfüllt, siehe Tab. 6.80.

Das Geovlies 403-05V war mit $R_F = 97.4\%$ nach SN 670 240 bezüglich Witterungsbeständigkeit Normkonform. Deswegen kann die Restfestigkeit von $R_F \cong 60\%$ als neuer Anforderungswert nach EN 12224 bezeichnet werden.

Fazit

Nach Schweizer Norm SN 670 240 würde der neue Anforderungswert für 420 Stunden Bewitterung bei 60 % liegen.

6.4 Zusammenhang zwischen Labor- und Freibewitterung

Laborbewitterung

Insgesamt sind 11 Geokunststoffe nach SN 670 240 (60 Stunden) und EN 12224 (420 Stunden) bewittert worden. Nach 60 Stunden Bewitterung liegt die Restfestigkeit im Bereich von 135% bis 91% Bei 420 Stunden Bewitterung liegt die Restfestigkeit im Bereich von 112% bis 40% Restfestigkeitswerte >100% sind auf die Inhomogenität der Prüfmuster (Abb. 5.30, Seite 39) zurückzuführen.

Freibewitterung

Es wurden 3 Geovliese und 1 Geogewebe während 12 Monaten frei bewittert. Der Bereich der Restfestigkeit liegt zwischen 102% und 68% (Streubereich 32%). In Tab. 6.81 sind die Restfestigkeiten nach Ende der Frei- und Laborbewitterung derselben Geokunststoffe gegenübergestellt.

Tab. 6.81 Gegenüberstellung der Restfestigkeiten nach der Freibewitterung (12 Monate) und der Laborbewitterung (420 Stunden)

Test Nr.	Freibewitterung R_F Mittelwert längs und quer [%]	Laborbewitterung R_F Mittelwert längs und quer [%]	Abweichung R_F - Abnahme + Zunahme
403-01 V	86.8	70.7	-18.6
403-02 V	102.0	103.8	+1.8
403-03 V	67.8	97.9	+40.4
403-12 G	95.2	92.8	-2.5
Mittelwert	88.0	91.3	+3.8

Vergleich Freibewitterung – Laborbewitterung

Die Freibewitterung nach 12 Monaten wurde mit der Laborbewitterung nach EN 12224 nach 420 Stunden verglichen (Tab 6.82).

Die beiden Verfahren ergeben trotz unterschiedlichen Bestrahlungsmengen sehr ähnliche Resultate. Nach 420 Stunden Laborbewitterung, ergibt sich eine Restfestigkeit von durchschnittlich 91.3 %. Die Restfestigkeit nach 12 Monaten Freibewitterung beträgt durchschnittlich 88.0 %. Die Restfestigkeit nach der Laborbewitterung ist leicht höher als bei der Freibewitterung. Die verschiedenen Einflüsse scheinen sich auszugleichen.

Einfluss der Bestrahlungsenergie

Die geschätzte Bestrahlungsmenge von 334 MJ/m² in 366 Tagen im Freien ist signifikant höher als diejenige der Laborbewitterung mit nur 50 MJ/m².

Einfluss des Niederschlags

Die Niederschlagsmenge im Freien (890 Liter/m²) ist signifikant tiefer als die Niederschlagsmenge bei der Laborbewitterung (42'000 Liter/m²). Der Chemismus des Regenwassers bei der Freibewitterung wurde nicht analysiert.

Einfluss der Temperaturschwankung

Die maximale Temperaturschwankung von 18.8° innerhalb eines Tages im Freien ist kleiner als die Temperaturschwankung von 25° in einem Bewitterungszyklus im Labor.

Tab. 6.82 Gegenüberstellung der Restfestigkeit, Bestrahlungsmenge, Niederschlagsmenge und max. Tagestemperaturschwankung nach 12 Monaten Freibewitterung und 420 Stunden Laborbewitterung

Dauer	Restfestigkeit [%]	Strahlungsmenge [MJ/m ²]	Niederschlagsmenge [l/m ²]	maximale Temperaturschwankung [°C]
12 Monate	88.0	334	890	18.8
420 Stunden	91.3	50	42'000	25

6.5 Grenzen der Aussagen

Die Auswertungen basieren auf einer sehr kleinen Datenmenge. Die Laborversuche wurden mit 11 Geotextilien und die Felsversuche mit 4 Geotextilien durchgeführt. Neben der kleinen Datenmenge ist die Inhomogenität der Geotextilien ein mitentscheidender Faktor, dass die gewonnenen Erkenntnisse nur als Trend (Indexwerte) zu verstehen sind. Die Inhomogenität der Geovliese begründet die grossen Standardabweichungen der Referenzwerte von 4 % bis maximal 23 %, siehe Abb. 5.30. Aufgrund dieser hohen Standardabweichungen kann die Messunsicherheit der Prüfanlagen vernachlässigt werden. Die Reproduzierbarkeit der Resultate in den beiden Bewitterungsgeräten wurde im Testlauf Nr. 3 gezeigt. Die Standardabweichung beträgt maximal 5 % innerhalb desselben Prüfgerätes und maximal 9 % im direkten Vergleich der beiden Geräte.

6.6 Schlussfolgerungen: Bewitterungsversuche

Freibewitterung versus Laborbewitterung

Trotz grösserer Strahlungsmenge während 12 Monaten Freibewitterung und kleinerer Niederschlagsmenge ist der Abfall der Restfestigkeit nach 12 Monaten Freibewitterung nur 3 % grösser als nach 420 Stunden Laborbewitterung. Die wichtigsten Einflussfaktoren sind:

- Strahlungsmenge
- Schwankungen der Tagestemperatur
- Regenmenge
- Regenwasserzusammensetzung

Laborbewitterung: neuer Anforderungswert

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass vom heute gültigen Anforderungswert von 95 % Restfestigkeit nach 60 Stunden Bewitterung ein neuer Anforderungswert von 60 % Restfestigkeit nach 420 Stunden Bewitterung hergeleitet werden kann. Dieser Wert entspricht einer maximalen Freiliegedauer von 1 Monat nach EN 13249.

Die untersuchten Geokunststoffe können nach EN 13249 wie folgt eingesetzt werden:

- 5 Produkte haben eine zulässige Freiliegedauer von 1 Monat
- 5 Produkte haben eine zulässige Freiliegedauer von 2 Wochen
- 1 Produkt hat eine zulässige Freiliegedauer von 1 Tag

7 Durchdrückverhalten

7.1 Aufgabenstellung

Die Robustheit eines Geotextils wird durch dessen Durchdrückverhalten beschrieben. In der Norm SN 670 241a sind für Geokunststoffe Anforderungen an das Durchdrückverhalten nach EN ISO 13433 gestellt, nicht aber an die Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236.

Erfahrungen aus Laborversuchen zeigen, dass die Resultate der Stempeldurchdrückkraft bedeutend kleinere Messunsicherheiten aufweisen als die Resultate des Durchschlagwiderstandes, welcher das Durchdrückverhalten beschreibt.

Zwischen den beiden Eigenschaften soll nun ein allfälliger Zusammenhang bestimmt werden. Kann ein Zusammenhang nachgewiesen werden, sollen bei der Überarbeitung der Norm SN 670 241a Anforderungen an die mechanische Eigenschaft Stempeldurchdrückkraft für die Funktionen Trennen und Filtern definiert werden.

7.2 Vorgehen

Um diesen Zusammenhang nachzuweisen, wurde wie folgt vorgegangen:

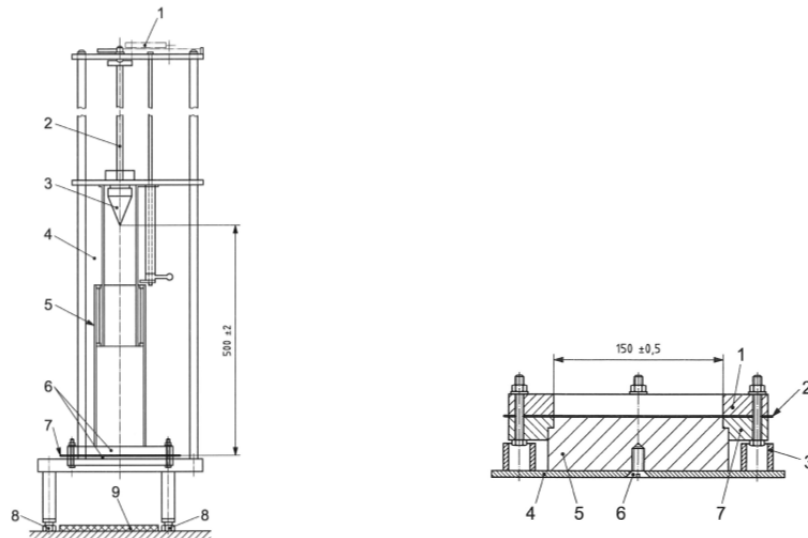
- Alle Produzenten der im Produktkatalog des SVG (Schweizerische Vereinigung für Geokunststoffe www.geotex.ch) aufgeführten Produkte wurden aufgerufen, entsprechende CE-Datenblätter, die auf der werkseigenen Produktionskontrolle beruhen, einzureichen.
- Die in diesen CE-Datenblättern enthaltenen Werte des Durchschlagwiderstands und der Stempeldurchdrückkraft wurden einander gegenübergestellt.
- Die angewendete Methode zur Herleitung des Zusammenhangs ist in Abschnitt 7.5 beschrieben.

7.3 Beschreibung Durchschlagwiderstand nach EN ISO 13433

Bei diesem Prüfverfahren wird der Widerstand von Geokunststoffen gegen das Durchdringen eines Stahlkegels festgelegt, der aus einer bestimmten Höhe fallen gelassen wird. Der Grad der Durchdringung ist ein Hinweis auf das Verhalten des Geokunststoffes, wenn scharfkantige Objekte auf seine Oberfläche fallen.

Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Einspannvorrichtung, einem Rahmen und einem Kegel. Zusätzlich benötigt man bei der Versuchsdurchführung eine Wasserwaage sowie Stellschrauben um sicher zu gehen, dass die Messprobe horizontal und die Kegelachse vertikal angeordnet sind. Für das Ausmessen des Lochdurchmessers benötigt man einen Messkonus. In Abb. 7.83 ist die gesamte Prüfeinrichtung und die Einspannvorrichtung detailliert aufgeführt.

**Legende**

- 1 Kopfteil/Auslösemechanismus
- 2 Führungsstange
- 3 Kegel
- 4 Metallschirm
- 5 Schirm
- 6 Einspannplatten
- 7 Messprobe
- 8 Stellschraube
- 9 Schutzschicht für Kegel

Legende

- 1 oberer Einspannring
- 2 Messprobe
- 3 Rohr
- 4 Einspannhilfe
- 5 Einbaulehre
- 6 Schraube
- 7 unterer Einspannring

Abb. 7.83 Links: schematische Darstellung der Versuchsanordnung zur Bestimmung des Durchschlagwiderstands, rechts: Detail der Einspannvorrichtung

Durchführung

Die Probe ist ohne Durchhang zwischen den Einspannringen mit Hilfe der Einbaulehre zu befestigen und in die Prüfeinrichtung einzusetzen. Der Kegel ist so auszulösen, dass er aus einer Höhe von 500 ± 2 mm erschütterungsfrei auf den Mittelpunkt der Oberfläche der Messprobe fällt. Danach ist der Kegel zu entfernen und der Messkonus ist sofort vorsichtig auf das Loch einzusetzen. Nach einer Wartezeit von 10 s ist der Durchmesser des Lochs auf den Millimeter genau zu messen. Wenn das Material in Längs- und Querrichtung unterschiedliche Eigenschaften hat, ist der grössere Lochdurchmesser zu bestimmen.

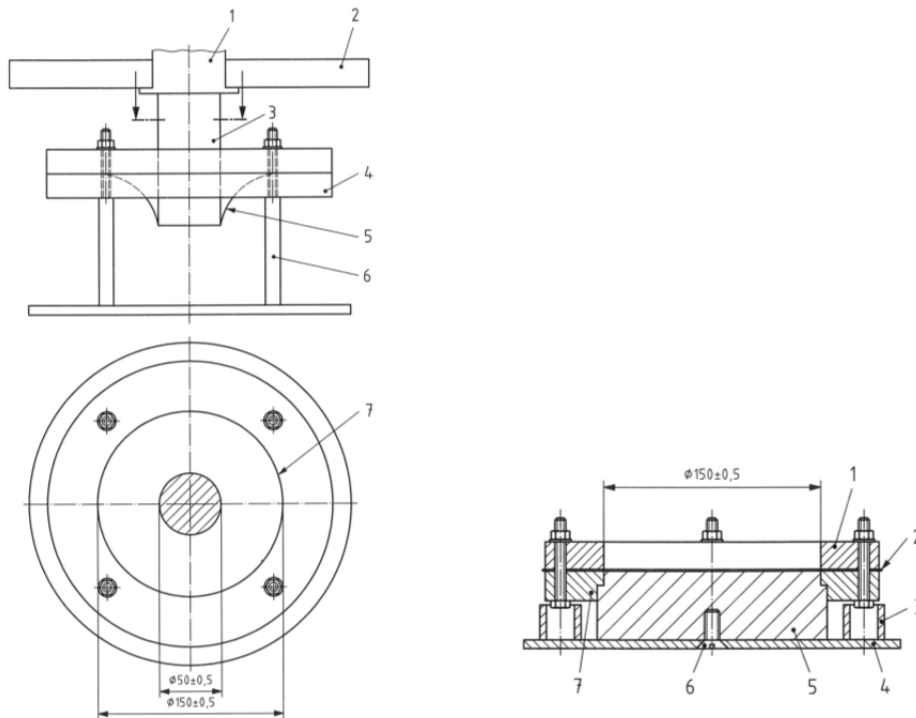
Der Mittelwert von fünf durchgeführten Prüfungen desselben Prüfmusters ist zu berechnen und das Ergebnis ist in Millimeter [mm] anzugeben. Der Durchschlagwiderstand wird als O_d angegeben.

7.4 Beschreibung Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236

Bei diesem Prüfverfahren wird der Durchdrückwiderstand durch Messung der benötigten Kraft beim Durchdrücken eines stumpfen Stempels durch Geokunststoffe festgelegt.

Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung besteht aus einer Prüfmaschine, einer Klemmvorrichtung und einem Druckstempel. Die Prüfmaschine muss der Klasse 1 oder 0 nach EN ISO 7500-1 entsprechen und den Vorschub mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 ± 5 mm/min ausführen. Die Kraft und der Vorschub müssen grafisch aufgezeichnet werden. In Abb. 7.84 ist die Prüfeinrichtung detailliert aufgeführt.



Legende

- 1 Kraftmessdose
- 2 Querhaupt
- 3 Druckstempel
- 4 Klemmringe
- 5 Messprobe
- 6 Stützrahmen oder CBR-Form
- 7 innere Kanten gerundet

Legende

- 1 oberer Klemmring
- 2 Messprobe
- 3 Rohr
- 4 Klemmhilfe
- 5 Einbaulehre
- 6 Schraube
- 7 unterer Klemmring

Abb. 7.84 Links: schematische Darstellung der Versuchsanordnung zur Bestimmung der Stempeldurchdrückkraft, rechts: Detail der Einspannvorrichtung. Diese entspricht der in Abb. 7.82 gezeigten Vorrichtung.

Durchführung

Die Probe ist ohne Durchhang zwischen den Klemmringsen, mit Hilfe der Einbaulehre, zu befestigen und in die Prüfmaschine einzusetzen. Der Druckstempel ist auf und durch die Messprobe mit einer Geschwindigkeit von 50 ± 5 mm/min zu bewegen. Mit der Aufzeichnung des Vorschubs ist bei einer Vorbelastung von 20 N zu beginnen.

Berechnung

Der Mittelwert von fünf durchgeführten Prüfungen ist zu berechnen und das Ergebnis ist in Kilonewton [kN] anzugeben. Der Stempeldurchdrückkraft wird als F_p angegeben.

7.5 Anforderungen nach SN 670 241a

In der Norm SN 670 241a sind für die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften sowie die Beständigkeit von Geokunststoffen, jeweils Mindest- bzw. Höchstwerte aufgeführt. Unter den mechanischen Eigenschaften sind unter anderem die Grenzwerte des Durchschlagwiderstands definiert. Je nach Funktion des Geokunststoffes und Wahl des Schütt- bzw. Sickermaterials sind verschiedene Mindestanforderungen vorgegeben. Die Werte für Geokunststoffe mit Trennfunktion, Trennfunktion in Bahnkörpern sowie Filterfunktion, sind in Tab. 7.85 bis Tab. 7.87 dargestellt.

Tab. 7.85 Mindestanforderungen Durchschlagwiderstand O_d an Geokunststoffe mit Trennfunktion

Nr.	Geokunststoffe mit Trennfunktion	Mindestanforderung O_d [mm]
A	Kiessand rund, $d \leq 150$ mm	$O_d < 35$
B	Kiessand gebrochen, $d \leq 150$ mm	$O_d < 30$
C	Übrige Schüttmaterialien rund oder gebrochen	$O_d < 25$

Tab. 7.86 Mindestanforderungen Durchschlagwiderstand O_d an Geokunststoffe mit Trennfunktion in Bahnkörpern

Nr.	Geokunststoffe mit Trennfunktion in Bahnkörpern	Mindestanforderung O_d [mm]
A	Kiessand rund, $d \leq 150$ mm	$O_d < 20$
B	Kiessand gebrochen, $d \leq 150$ mm	$O_d < 20$
C	Übrige Schüttmaterialien rund oder gebrochen	$O_d < 20$

Tab. 7.87 Mindestanforderungen Durchschlagwiderstand O_d an Geokunststoffe mit Filterfunktion

Nr.	Geokunststoffe mit Filterfunktion	Mindestanforderung O_d [mm]
A	Sickermaterial rund	$O_d < 40$
B	Sickermaterial gebrochen	$O_d < 35$

In der SN 670 241a werden für Geokunststoffe keine Grenzwerte in Bezug auf die Stempeldurchdrückkraft F_p festgelegt.

7.6 Auswertung von CE-Datenblättern

Um eine mögliche Korrelation zwischen der Eigenschaft Durchschlagwiderstand und der Eigenschaft Stempeldurchdrückkraft nachzuweisen, sind die CE-Datenblätter der Produkte aus dem SVG-Produktkatalog 2010 ausgewertet worden. Die Auswertung umfasst insgesamt 45 Geovliese und 29 Geogewebe. Praxiserfahrungen zeigen bei der Eigenschaft Durchschlagwiderstand nach EN ISO 13433 grössere Schwankungen als bei der Eigenschaft Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236.

Abgrenzung

Bei einigen Produkten war es nicht möglich, die CE-Datenblätter fristgerecht zu erhalten. Diese Produkte wurden in der Auswertung nicht berücksichtigt. Die Liste sämtlicher verwendeter Produkte ist in Anhang VII (auf beigelegter CD) zu finden.

Vorgehen

Die statistische Datenauswertung und Regressionsrechnung wurde mit der Software R ausgeführt. R ist ein weltweit verbreitetes Statistikprogramm mit einer eigenen Programmiersprache. Die Software unterstützt eine Vielzahl verschiedener Methoden zur statistischen Datenauswertung, wie die lineare und nichtlineare Modellierung sowie klassische SPC Tests zur Prozesskontrolle. Verwendet wurde die Version R 2.13.1 für Windows, bereitgestellt von der ETH Zürich.

Das Vorgehen bei der statistischen Datenauswertung bedarf einer klaren Struktur. In einem ersten Schritt werden die beiden Eingangswerte Durchschlagwiderstand und Stempeldurchdrückkraft transformiert und die daraus entstehenden Variablen wurden miteinander verglichen. In einer Übersicht werden erste Korrelationen zwischen den einzelnen Variablen sichtbar.

In einem zweiten Schritt werden mit mehreren C_p -Plots (siehe Abb. 7.90) sämtliche mögliche Modelle dargestellt. Die Modelle, die das C_p -Kriterium am besten erfüllten, wurden bestimmt und zur Weiterbearbeitung ausgewählt. Die Modelle mit den grössten C_p -Werten und ungeeigneten, resp. nicht signifikanten Variablen wurden ausgeschlossen.

Als Nächstes werden für die ausgewählten Modelle Residuen-Analysen (siehe Abb. 7.91) durchgeführt. Mittels der Residuen-Analyse werden die Modelle auf ihre Glaubwürdigkeit geprüft um das am besten geeignete Modell zu bestimmen. Dieses Modell erfüllt die Anforderungen an den Erwartungswert, die Normalverteilung, die Varianz und die Hebelpunkte am besten.

In einem letzten Schritt wird für das am besten geeignete Modell die Regressionsberechnung durchgeführt und das Prognoseband sowie das Vertrauensband berechnet (siehe Abb. 7.93). Nach der Interpretation der Resultate wird eine Empfehlung zur Überarbeitung der Norm abgegeben.

Transformation der Eingangswerte

Der Durchschlagwiderstand wird als *CD* (Cone Drop) und die Stempeldurchdrückkraft als *CBR* (California Bearing Ratio) eingeführt. Die beiden Eingangswerte werden zudem transformiert. Die daraus entstandenen insgesamt acht Variablen sind in Tab. 7.88 aufgeführt. Durch die Transformationen wird sichergestellt, dass möglichst viele Kombinationen der Variablen analysiert werden.

Tab. 7.88 Transformation der Eingangswerte, Auflistung der möglichen Variablen

Bezeichnung	Beschreibung	Formel
CBR	Stempeldurchdrückkraft F_p [kN]	
ICBR1	Logarithmierte Stempeldurchdrückkraft F_p	$ICBR1 = \log_{10}(CBR)$
CBR1	Radizierte Stempeldurchdrückkraft F_p	$CBR1 = \sqrt{CBR}$
CBR2	Quadrierte Stempeldurchdrückkraft F_p	$CBR2 = (CBR)^2$
CD	Durchschlagwiderstand O_d [mm]	
ICD1	Logarithmierte Durchschlagwiderstand O_d	$ICD1 = \log_{10}(CD)$
CD1	Radizierter Durchschlagwiderstand O_d	$CD1 = \sqrt{CD}$
CD2	Quadrierter Durchschlagwiderstand O_d	$CD2 = (CD)^2$

Ergänzend ist festzuhalten, dass auf eine Transformation der Werte mit dem Logarithmus naturalis verzichtet wurde. Die Unterschiede zwischen dem natürlichen Logarithmus und dem gewählten dekadischen Logarithmus sind für die Modellwahl und die Regressionsrechnung nicht signifikant.

Variablenselektion und Modellbildung mit grafischer Übersicht

Um die am besten geeigneten Variablen zu finden und damit die bestmögliche Regression zu bestimmen, wird mit der folgenden Übersicht eine erste grafische Variablenselektion durchgeführt. In Abb. 7.89 werden alle Variablen miteinander verglichen. Jede Zeile und jede Spalte in der Grafik zeigt den Zusammenhang einer Variablen zu den restlichen sieben Variablen. Somit werden alle relevanten Variablen berücksichtigt. Die horizontalen Achsenbeschriftungen der Diagramme befinden sich oberhalb und unterhalb der Spalten und gelten jeweils für die ganze Spalte. Dasselbe gilt für die vertikalen Achsenbeschriftungen am linken und rechten Zeilenrand, welche jeweils die ganze Zeile betreffen.

Durch den direkten Vergleich ist es möglich zu erkennen, ob Zusammenhänge zwischen den einzelnen Variablen bestehen. Die grau hinterlegten Felder können vernachlässigt werden, da diese keine Zusammenhänge zwischen Variablen beider Eingangsgrößen aufzeigen. Die grün hinterlegten Felder zeigen Variablenkombinationen mit visuell ersichtlichem Zusammenhang.

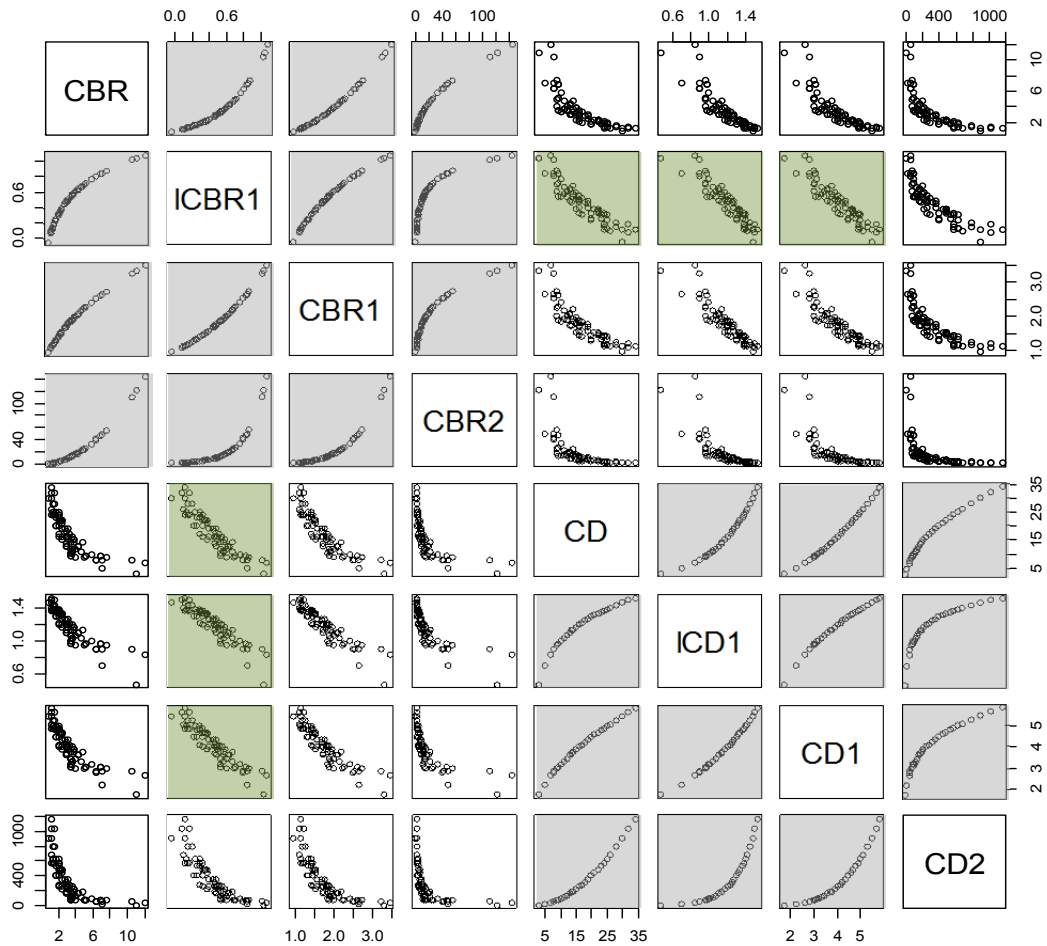


Abb. 7.89 Variablenselektion: Übersicht zur grafischen Auswertung (Datengrundlage: CE-Datenblätter)

Diese erste einfache grafische Auswertung zeigt auf, dass eine Korrelation zwischen den beiden Eingangswerten besteht. Die Auswertung in Abb. 7.89 lässt zudem vermuten, dass das Logarithmieren des Eingangswerts Stempeldurchdrückkraft eine Verbesserung der linearen Zusammenhänge zur Folge hat. Dieser Anhaltspunkt muss aber durch weitere Analysen, mit dem C_p -Kriterium und der Residuen-Analyse, bestätigt werden.

Variablenselektion und Modellbildung mit C_p -Plot

Um die Variablenselektion zu vertiefen und weitere Hinweise zur Modellwahl zu erhalten resp. um ungeeignete Variablen auszuschliessen, werden für sämtliche Variablen C_p -Plots erstellt. Mit dem C_p -Kriterium ist es durch eine grafische Auswertung möglich zu entscheiden, welche Variablenkombinationen am stärksten korrelieren und somit bei der Modellwahl berücksichtigt werden sollen.

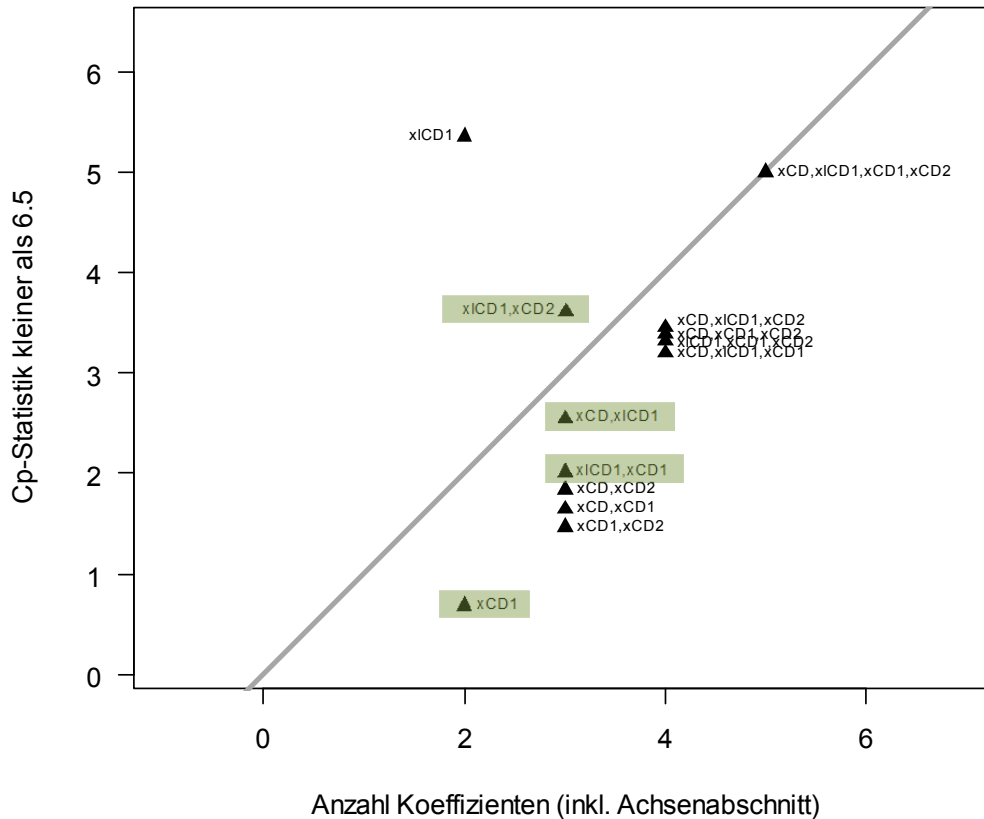


Abb. 7.90 Variablenselektion: C_p -Plot mit der logarithmierten Stempeldurchdrückkraft als Zielvariable zur grafischen Auswertung (Datengrundlage: CE-Datenblätter)

Die Abb. 7.90 zeigt als Beispiel den C_p -Plot mit der logarithmierten Stempeldurchdrückkraft als Zielvariable. Insgesamt werden für alle möglichen Zielvariablen C_p -Plots erstellt und ausgewertet.

Die in Frage kommenden Modelle müssen gemäss den Eigenschaften des C_p -Kriteriums um die Winkelhalbierende streuen. Jeder der Punkte zeigt ein mögliches Modell, mit einer jeweils unterschiedlichen Auswahl von Variablen. Die Modelle, die der Winkelhalbierenden am nächsten sind und möglichst wenige Variablen beinhalten, sind zu prüfen. Alle anderen Modelle können ausgeschlossen werden.

Im Beispiel des C_p -Plots für die logarithmierte Stempeldurchdrückkraft sind die grün markierten Modelle weiter zu prüfen. Die anderen Modelle führen trotz einer grösseren Anzahl beschreibender Variablen zu keiner Verbesserung der Übereinstimmung. Für insgesamt 10 mögliche Modelle werden zur Prüfung der Modelleignung Residuen-Analysen durchgeführt. Mit den Residuen-Analysen wird die am besten geeignete Regression bestimmt.

Residuen-Analyse

Sämtliche anhand der C_p -Plots ausgewählten Modelle werden mit einer Residuen-Analysen ausgewertet und einander gegenübergestellt. Die Diagramme des besten Modells (ICBR1~CD1) sind in Abb. 7.91 dargestellt. Der Erwartungswert, die Normalverteilung, die Varianz und mögliche Hebelpunkte werden mit den Diagrammen analysiert. Das Signifikanzniveau der Koeffizienten und das Bestimmtheitsmass werden mittels R-Output ergänzt.

Residuals vs Fitted: Erwartungswert

Gemäss Abb. 7.91 streut der Erwartungswert um Null. Die Gerade verläuft ohne grosse Abweichungen und ist ziemlich glatt. Punkte 67 und 68 müssen auf eine mögliche Hebelwirkung untersucht werden. Es sind keine deutlichen Ausreisser vorhanden [6].

Normal Q-Q: Normalverteilung

Wie in Abb. 7.91 zu sehen, sind im Normalverteilungsdiagramm keine groben Abweichungen zu einer Normalverteilung erkennbar. Es ist eine leichte und somit unbedeutende Kurzschwänzigkeit vorhanden. Es sind keine Ausreisser ersichtlich [6].

Scale-Location: Varianz

In Abb. 7.91 ist ersichtlich, dass die Varianz auf einem konstanten Level verläuft. Eine leichte Erhöhung ist auf die Punkte 67 und 68 zurückzuführen. Diese Punkte liegen etwas höher als die anderen Werte und müssen auf eine mögliche Hebelwirkung untersucht werden. Es sind keine deutlichen Ausreisser vorhanden [6].

Residuals vs Leverage: Hebelpunkte

Gemäss Abb. 7.91 liegen sämtliche Werte im Leverage-Bereich kleiner 0.1 und sind somit unbedenklich. Auch die Cook's Distance von 0.5 wird mit keinem der Punkte überschritten. Die beim Erwartungswert und der Varianz auffälligen Punkte 67 und 68 bewirken keine gefährliche Hebelwirkung. Es sind keine deutlichen Ausreisser vorhanden [6].

F-Test: Signifikanz der Variablen

Der F-Test überprüft die Nullhypothese. Ist der zugehörige P-Wert unter der Grenze von 0.05, so bedeutet dies, dass mindestens einer der Koeffizienten auf dem 5%-Niveau einen signifikanten Einfluss auf das angepasste Modell besitzt. Wie in Tab. 7.92 aufgeführt, liegt der P-Wert in unserem Fall deutlich unter der 0.05-Marke. Die Variablen sind signifikant [6].

Multiple R-Squared: Bestimmtheitsmass

Der Multiple R-Squared ist das Quadrat der sogenannten multiplen Korrelation und wird auch Bestimmtheitsmass genannt. Der Wert entspricht der Korrelation zwischen den realen Beobachtungen und den durch das Modell angepassten Werten. Werte nahe bei 1 sind erstrebenswert. Gemäss Tab. 7.92 liegt das Bestimmtheitsmass in unserem Fall mit 0.8492 in einem akzeptablen Rahmen [6].

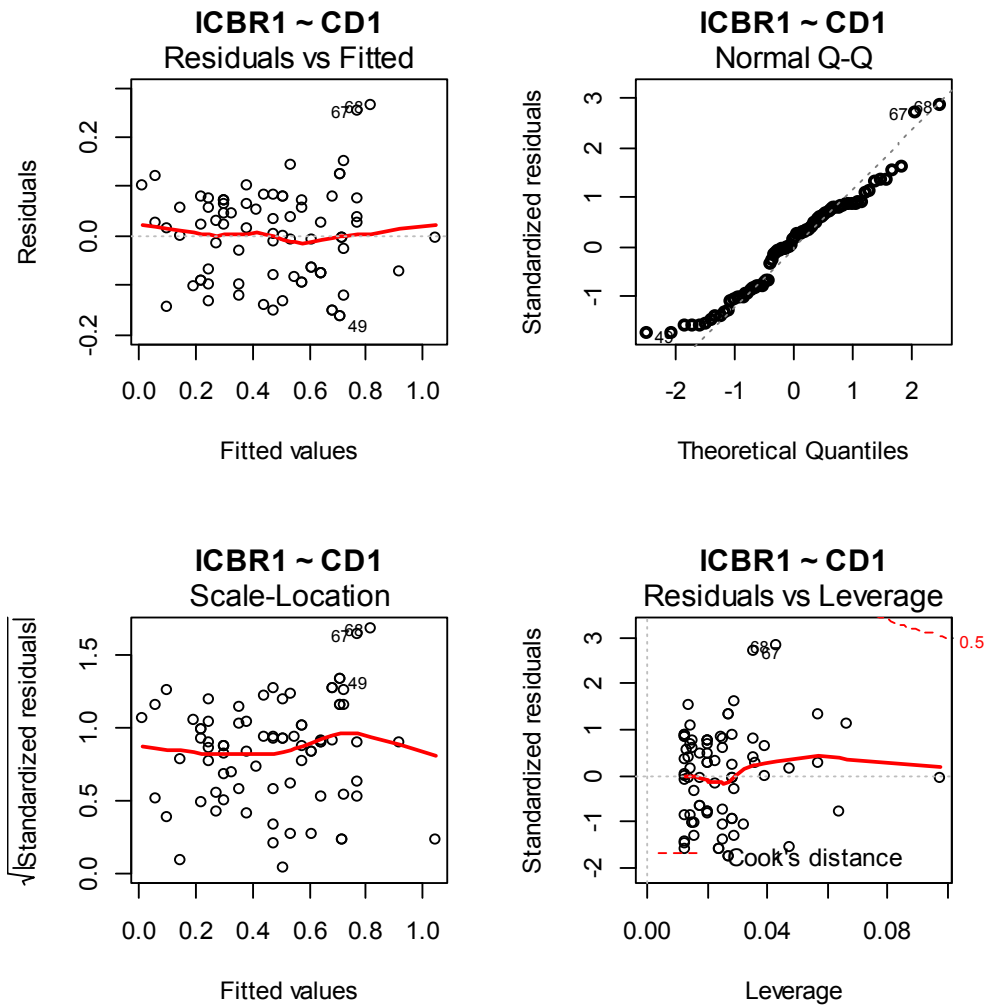


Abb. 7.91 R-Output zur Residuen-Analyse, Diagrams (Datengrundlage: CE-Datenblätter)

Tab. 7.92 R-Output zum Modell $ICBR1 \sim CD1$, Summary Output (Datengrundlage: CE-Datenblätter)

```

Call:
lm(formula = lCBR1 ~ CD1, data = geok, subset = c(1:79))

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.16511 -0.07905  0.01403  0.07149  0.26383

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.48386    0.04982   29.78  <2e-16 ***
CD1          -0.25267    0.01213  -20.82  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.09487 on 77 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8492,    Adjusted R-squared:  0.8472
F-statistic: 433.6 on 1 and 77 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Regression, Vertrauensbereich und Prognosebereich

In Abb. 7.93 ist die Regression des besten Modells in den transformierten Einheiten dargestellt. Die Regression wird mit folgender Formel beschrieben:

$$\log_{10}(CBR) = \beta_0 + \beta_1 \cdot \sqrt{CD} \Rightarrow \log_{10}(CBR) = 1.48386 - 0.25267 \cdot \sqrt{CD}$$

In rücktransformierten Einheiten:

$$CBR = 10^{\beta_0} \cdot 10^{\beta_1 \cdot \sqrt{CD}} \Rightarrow CBR = 10^{1.48386} \cdot 10^{-0.25267 \cdot \sqrt{CD}}$$

In Abb. 7.93 sind zudem das Vertrauensband und das Prognoseband auf dem 90%-Niveau eingetragen. Im Prognoseband liegen 90% aller Werte, wobei die untere Linie den 5%-Fraktilewert und die obere Linie den 95%-Fraktilewert darstellt.

Der 5%-Fraktilewert des Prognosebands wird mit folgender Formel beschrieben:

$$\log_{10}(CBR_{pre}) = a_0 + a_1 \cdot \sqrt{CD} + a_2 \cdot \sqrt{CD^2}$$

In rücktransformierten Einheiten:

$$CBR_{pre} = 10^{a_0} \cdot 10^{a_1 \cdot \sqrt{CD}} \cdot 10^{a_2 \cdot \sqrt{CD^2}} = 10^{1.30463} \cdot 10^{-0.24256 \cdot \sqrt{CD}} \cdot 10^{-1.26115 \cdot 10^{-3} \cdot CD}$$

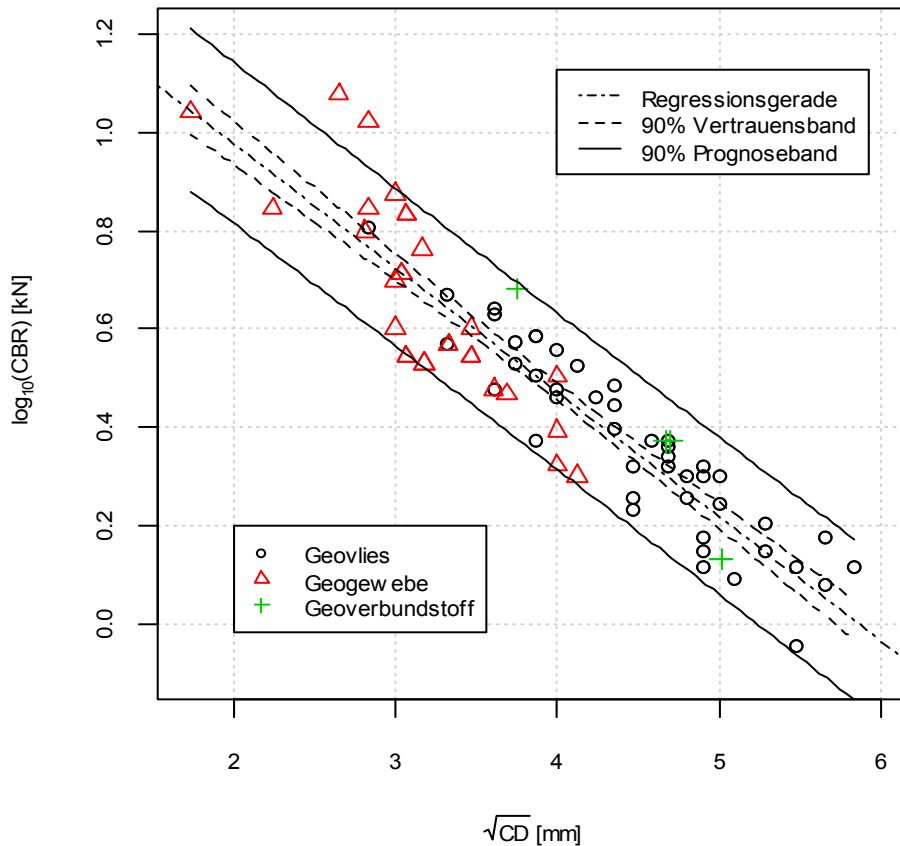
Korrelation von Stempeldurchdrückkraft und Lochdurchmesser

Abb. 7.93 Diagramm Korrelation zwischen Stempeldurchdrückkraft und Durchschlagwiderstand mit transformierten Eingangswerten (Datengrundlage: CE-Datenblätter)

In Abb. 7.94 ist die Regression des besten Modells in den ursprünglichen Einheiten dargestellt. Zudem ist der 5%-Fraktilewert des Prognosebands eingezeichnet. 95% aller Werte liegen demnach oberhalb der Prognoselinie.

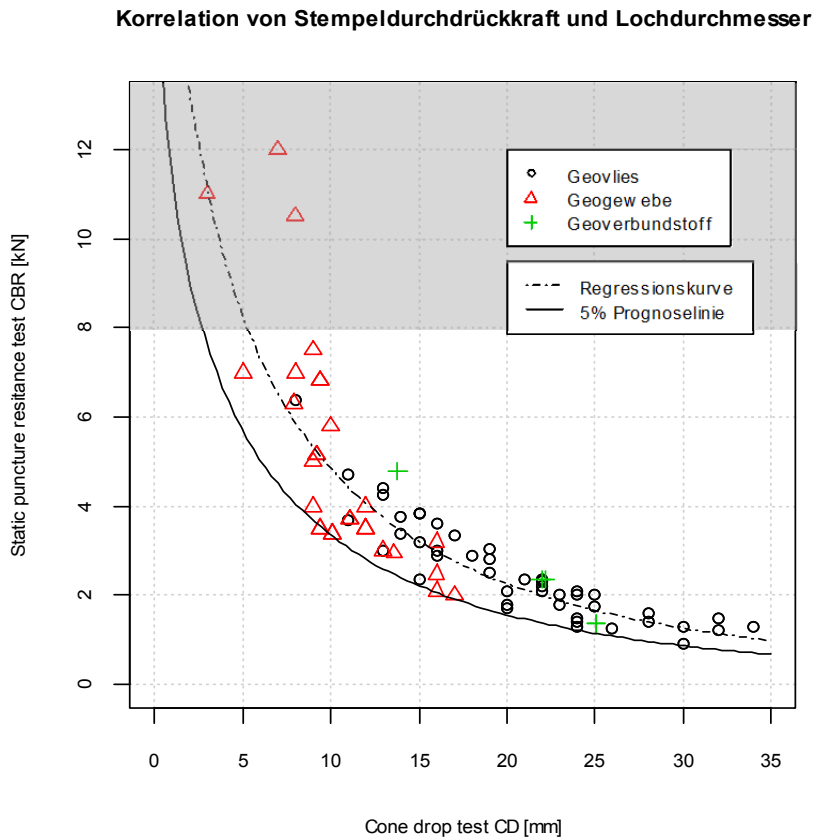


Abb. 7.94 Diagramm Korrelation zwischen Stempeldurchdrückkraft und Durchschlagwiderstand mit Eingangswerten nicht transformiert (Datengrundlage: CE-Datenblätter)

Obwohl bei der Residuen-Analyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Produkttypen festzustellen sind, kann man die Punktwolke der Geovliesprodukte deutlich von der Punktwolke der Geogewebeprodukte unterscheiden. Dies liegt jedoch nicht an ihrem unterschiedlichen physikalischen Verhalten, sondern vielmehr an ihren unterschiedlichen Wertebereichen. Die Geoverbundstoffe finden sich in beiden Wertebereichen wieder.

Im Wertebereich mit einer Stempeldurchdrückkraft von 2-4 kN, resp. einem Lochdurchmesser von 10-15 mm überschneiden sich die Werte der Geovliese und Geogewebe mit einer hohen Übereinstimmung. Beide Produkttypen weisen somit dasselbe physikalische Verhalten auf. Ein grosser Teil der Werte beider Produkttypen bewegen sich jedoch in unterschiedlichen Wertebereichen. Die Punktwolke der Geovliesprodukte deckt den Wertebereich mit einer Stempeldurchdrückkraft von 1-2 kN resp. einem Lochdurchmesser von 20-35 mm ab, wobei in diesem Bereich keine Werte von Geogewebe vorhanden sind. Die Punktwolke der Geogewebe deckt hingegen den Wertebereich von 4-8 kN resp. einem Lochdurchmesser von 5-10 mm ab, wobei in diesem Bereich nur einzelne Werte von Geovliesen einen direkten Vergleich zulassen.

Die Residuen-Analyse und die grafische Auswertung der Diagramme zeigen somit, dass die drei Produkttypen mit einer einzigen Regression beschrieben werden können. Einzig im Wertebereich mit einer Stempeldurchdrückkraft von mehr als 8 kN sind nur sehr wenige Daten vorhanden. Dieser Bereich ist grau hinterlegt. Die Regression verliert in diesem Wertebereich deutlich an Aussagekraft und ist nicht repräsentativ.

7.7 Schlussfolgerungen: Korrelation Stempeldurchdrückkraft und Durchschlagwiderstand

Die statistische Auswertung der CE-Datenblätter zeigt auf, dass zwischen den beiden physikalischen Eigenschaften ein verlässlicher Zusammenhang besteht. Durch die nachgewiesene Korrelation können bei der Überarbeitung der Norm SN 670 241a Anforderungen an die mechanische Eigenschaft Stempeldurchdrückkraft für die Funktionen Trennen und Filtern gestellt werden.

Für die mechanischen und hydraulischen Eigenschaften sowie die Beständigkeit von Geokunststoffen, sind in der Norm jeweils Mindest- bzw. Höchstwerte aufgeführt. Je nach Funktion des Geokunststoffes und Wahl des Schütt- bzw. Sickermaterials sind verschiedene Mindestwerte vorgegeben. Durch die nachgewiesene Korrelation können die Mindestanforderungen an die Stempeldurchdrückkraft berechnet werden. Dazu wird folgende Formel verwendet:

$$CBR = 10^{1.48386} \cdot 10^{-0.25267 \cdot \sqrt{CD}}$$

Wobei in der Formel CBR für die Stempeldurchdrückkraft F_p und CD für den Durchschlagwiderstand O_d steht.

Die vorgeschlagenen Werte für Geokunststoffe mit Trennfunktion, Trennfunktion in Bahnkörpern sowie Filterfunktion, sind in Tab. 7.95 bis Tab. 7.97 dargestellt. Die grün hinterlegten Felder zeigen die berechneten Erwartungswerte für die Mindestanforderungen der Stempeldurchdrückkraft F_p in Kilonewton [kN]. Die Werte sind auf 0.1 kN gerundet, wobei zur Ergänzung die exakten Werte (in Klammer) aufgeführt sind.

Tab. 7.95 Vorschlag Mindestanforderungen Durchschlagwiderstand O_d und Stempeldurchdrückkraft F_p an Geokunststoffe mit Trennfunktion

Nr.	Geokunststoffe mit Trennfunktion	O_d [mm]	F_p [kN]
A	Kiessand rund, $d \leq 150$ mm	$O_d < 35$	$F_p > 1.0$ (0.9751)
B	Kiessand gebrochen, $d \leq 150$ mm	$O_d < 30$	$F_p > 1.3$ (1.2587)
C	Übrige Schüttmaterialien rund oder gebrochen	$O_d < 25$	$F_p > 1.7$ (1.6615)

Tab. 7.96 Mindestanforderungen Durchschlagwiderstand O_d und Stempeldurchdrückkraft F_p an Geokunststoffe mit Trennfunktion in Bahnkörpern

Nr.	Geokunststoffe mit Trennfunktion in Bahnkörpern	O_d [mm]	F_p [kN]
A	Kiessand rund, $d \leq 150$ mm	$O_d < 20$	$F_p > 2.3$ (2.2588)
B	Kiessand gebrochen, $d \leq 150$ mm	$O_d < 20$	$F_p > 2.3$ (2.2588)
C	Übrige Schüttmaterialien rund oder gebrochen	$O_d < 20$	$F_p > 2.3$ (2.2588)

Tab. 7.97 Mindestanforderungen Durchschlagwiderstand O_d und Stempeldurchdrückkraft F_p an Geokunststoffe mit Filterfunktion

Nr.	Geokunststoffe mit Filterfunktion	O_d [mm]	F_p [kN]
A	Sickermaterial rund	$O_d < 40$	$F_p > 0.8$ (0.7688)
B	Sickermaterial gebrochen	$O_d < 35$	$F_p > 1.0$ (0.9751)

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
BFH	Berner Fachhochschule, Architektur, Holz und Bau, 3400 Burgdorf
CBR	California Bearing Ratio (Stempeldurchdrückkraft F_p)
CBR1	Radizierte Stempeldurchdrückkraft F_p
CBR2	Quadrierte Stempeldurchdrückkraft F_p
CD	Cone Drop (Durchschlagwiderstand O_d)
CD1	Radizierter Durchschlagwiderstand O_d
CD2	Quadrierter Durchschlagwiderstand O_d
CE	Conformité Européenne (Europäische Konformität)
DATEC	Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni
DETEC	Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
F_c	Zugfestigkeit der unbewitterten Prüfkörper=Referenzwert: Mittelwert von 5 durchgeführten Prüfungen
F_e	Zugfestigkeit der bewitterten Prüfkörper: Mittelwert von 5 durchgeführten Prüfungen
F_p	Stempeldurchdrückkraft: Mittelwert von 5 durchgeführten Prüfungen
IDAWEB	Das Datenportal des Bundesamtes für Meterologie und Klimatologie für Lehre und Forschung
ISO	International Organization for Standardization
ICBR1	Logarithmierte Stempeldurchdrückkraft F_p
ICD1	Logarithmierte Durchschlagwiderstand O_d
O_d	Durchschlagwiderstand
PE-HD	Polyethylen - High Density
QUV	Laborbewitterungsgerät, Accelerated Weathering Tester Model QUV/Spray with Solar Eye Irradiance Control
Rf	Restfestigkeit in Prozent
R_ϵ	Restdehnung bei Höchstlast in Prozent
SN	Schweizer Norm
SVG	Schweizer Verband für Geokunststoffe
TT	Tecnotest AG, Baustoffprüflabor, 8803 Rüslikon
UV	Ultraviolette Strahlung
UVEK	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VSS	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
ϵ_c	Dehnung bei Höchstlast der unbewitterten Prüfkörper=Referenzwert: Mittelwert von 5 durchgeführten Prüfungen
ϵ_e	Dehnung bei Höchstlast der bewitterten Prüfkörper: Mittelwert von 5 durchgeführten Prüfungen

Literaturverzeichnis

-
- [1] Heindl, M./Zanziger, H./Schönlein, A.: Alterung von Geotextilien aus Polypropylen bei natürlicher und künstlicher Bewitterung, *Geotechnik* 3/2009
-
- [2] Müller W.: Handbuch der PE-HD Dichtungsbahnen in der Geotechnik, Birkhäuser Verlag, Basel/Boston/Berlin 2001
-
- [3] Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau http://www.gb.bv.tum.de/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=73&lang=de (Version 30.08.2010)
-
- [4] Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Tunnelbau http://www.gb.bv.tum.de/index.php?option=com_content&task=view&id=162&Itemid=73&lang=de (Version 30.08.2010)
-
- [5] Lodi, P. C./Bueno, B. S./Vilar, O. M./Correia, N. S.: *Weathering Degradation of Polyester and Polypropylene Geotextiles, Part 1*, Springer Verlag, 2009
-
- [6] Stahel, W. A.: *Statistische Datenanalyse: Eine Einführung für Naturwissenschaftler*, 5. Auflage, Vieweg+Teubner, Wiesbaden 2008
-

Weiterführende Literatur

Robert Koerner (1989): *Durability and Ageing of Geosynthetics*. Elsevier Applied Science

J. KUWANO & J. KOSEKI (2008) *Geosynthetics (8ICG)*, [Volume 1-4]

PROF. MÜLLER ROCHHOLZ (2007): *Geokunststoffe im Erd- und Verkehrswegebau*. Bücher Werner Verlag ISBN 978-3-8041-4343-2 2. Auflage vom Kap. 5.3, 5.4 und 8.5]

RILEM (1988): *Durability of Geotextiles*. Routledge; 1 edition

Crawley, M.J. (2005). *Statistics: An introduction using R*. John Wiley and sons, ltd.

Ireton-Jones, C., Gotthlich, M. (1998). *Practice-Oriented Nutrition Research: An Outcomes Measurement Approach*. Jones & Bartlett publisher.


Taylor, J. (1997). *An Introduction to Error Analysis*, 2nd Ed., University Science Books, Sausalito.

Johnson, R., Kuby, P. (2007). *Elementary statistics*. Duxbury.

Rüegger, R. & Hufenus, R. (2003). *Bauen mit Geokunststoffen – Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender*. Schweizerischer Verband für Geokunststoffe.

Projektabschluss

Formular 3 ARAMIS SBT als PDF (Das Formular einscannen, dann das PDF öffnen und dann mit dem Schnappschuss-Werkzeug (Fotoapparat) die Seiten markieren und dann hier einfügen).

	Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra	Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK Bundesamt für Strassen ASTRA
FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK		Strassen, Brücken, Tunnel
Formular Nr. 3: Projektabschluss		
erstellt / geändert am: 03. September 2012		
Grunddaten		
Projekt-Nr.:	VSS 2008/403	
Projekttitel:	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	
Enddatum:	30. November 2012	
Texte		
Zusammenfassung der Projektergebnisse:		
<p>Die im Jahre 1997 eingeführte Norm SN 670 241 "Geotextilien; Anforderungen an die Funktionen Trennen, Filtern und Drainieren" wurde 2007 redaktionell, jedoch fachlich nicht überarbeitet. Aufgrund der europäischen Normung soll nun die SN 670 241a fachlich revidiert werden, um technische Handelshemmnisse abzuschaffen. Zwecks der fachlichen Revision der SN 670 241a wurden zwei Forschungsprojekte (VSS 2008/402 und VSS 2008/403) initiiert. Im Forschungsprojekt VSS 2008/403 wurden neue Anforderungswerte zu folgenden zwei Eigenschaften gesucht: Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten.</p>		
<p>1. Witterungsbeständigkeit nach EN 12224 Die SN 670 241a bedient sich dem heute ungültigen Prüfverfahren nach SN 670 240 (ab 2009 ausser Kraft gesetzt). In diesem Prüfverfahren ist eine Bestrahlungsdauer von 60 Stunden vorgesehen. Die Witterungsbeständigkeit nach EN 12224 sieht hingegen eine sieben Mal längere Bestrahlungsdauer von 430 Stunden vor. Nach der EN 12226 wird dann ein Prüfverfahren zwecks Vergleich des bewitterten mit dem unbewitterten Probekörper angewandt. Meistens - auch in der Schweiz - werden Zugversuche am schmalen Streifen an den bewitterten und unbewitterten Probekörper für Geovliese nach EN 29073-3 und für Geogewebe nach EN ISO 13934-1 durchgeführt, um die Restfestigkeit zu ermitteln.</p>		
<p>Zu den Eigenschaften mit der längeren Laborbewitterung nach EN 12224 lagen in der Schweiz bis zum vorliegenden Forschungsprojekt keine Erfahrungen vor. Im Projekt werden insgesamt 11 Geotextilien – darunter 7 Geovliese und 4 Geogewebe – nach beiden Verfahren geprüft und die Ergebnisse miteinander verglichen, um ein Vorschlag für neue Anforderungswerte zu unterbreiten.</p>		
<p>Die mittlere Restfestigkeit der untersuchten normkonformen Produkte wird nach 420 Stunden Laborbewitterung zu 60 % Restfestigkeit ermittelt. Dies entspricht einer zulässigen Freiliegedauer von 1 Monat nach EN 13249:2005. Auf Grund dieser Übereinstimmung können die Anforderungskataloge gemäss Anhang B der EN 13249, EN 13257 und der EN 13265 bestätigt werden.</p>		
<p>Gleichzeitig wird der Zusammenhang zwischen der neuen Laborbewitterung (EN 12224) und einer Freibewitterung von bis zu 12 Monaten gesucht. Dazu wurden 4 Geotextilien – darunter 3 Geovliese und 1 Geogewebe – in Burgdorf freibewittert. Es zeigt sich, dass trotz grösserer Bestrahlungsmenge im Freien, die Restfestigkeit gegenüber der laborbewitterten Produkte nicht geringer ist. Diese Erkenntnis rechtfertigt den zukünftigen Gebrauch des Verfahrens nach der EN 12224.</p>		
<p>2. Durchdrückverhalten In der SN 670 241 werden Anforderungen an den Durchschlagwiderstand (Kegelfallversuch) nach EN ISO 13433 gestellt, nicht jedoch an die Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236. Erfahrungen aus Laboratorien zeigen hingegen, dass die Messresultate der Stempeldurchdrückkraft nach EN ISO 12236 bedeutend geringere Messgenauigkeiten aufweisen, als Messresultate des Durchschlagwiderstands nach EN ISO 13433. Zwischen den beiden Eigenschaften Durchdrückverhalten und Durchschlagwiderstand, welche auf die Robustheit eines Geokunststoffs schliessen lassen, soll ein allfälliger Zusammenhang bestimmt werden. Aufgrund dessen sollen bei der Überarbeitung der SN 670 241a neue Anforderungen an die mechanische Eigenschaft Stempeldurchdrückkraft für die Funktionen Trennen und Filtern gestellt werden.</p>		
<p>Die statistische Auswertung der CE-Datenblätter von 74 Produkten zeigt auf, dass zwischen Stempeldurchdrückkraft und Durchschlagwiderstand ein klarer Zusammenhang besteht. Durch die nachgewiesene Korrelation werden neue Anforderungswerte an die Stempeldurchdrückkraft bei der Überarbeitung der Norm SN 670 241a für die Funktionen Trennen und Filtern vorgeschlagen. Im Weiteren sind die gewonnenen Erkenntnisse ebenso bei den Geokunststofffunktionen Schützen, Drainieren und Bewehren anwendbar.</p>		
Forschung im Strassenwesen des UVEK: Formular 3		Seite 1 / 3



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Witterungsbeständigkeit

Das Primärziel, die Anforderungswerte nach dem bisher angewandten Prüfverfahren SN 670 240 (seit 2009 ausser Kraft) mit Anforderungswerten nach dem neuen Prüfverfahren nach EN 12224 zu ersetzen konnte erreicht werden. Die mittlere Restfestigkeit der untersuchten normkonformen Produkte wurde nach 420 Stunden Laborwitterung zu 60 % ermittelt, was der geforderten Restfestigkeit gemäss Kategorie der zulässigen Freiliegedauer von 1 Monat in der EN 13249 Anhang B entspricht. Auf Grund dieser Übereinstimmung können die Anforderungskataloge gemäss Anhang B der EN 13249 EN 13257 und der EN 13265 bestätigt werden.

Das Sekundärziel, einen Zusammenhang zwischen der neuen Laborwitterung (EN 12224) und einer Freibewitterung von bis zu 12 Monaten nachzuweisen, konnte nicht vollständig erreicht werden. Es wurden 4 Geotextilien – darunter 3 Geovliese und 1 Geogewebe – in Burgdorf freibewittert. Es zeigt sich, dass trotz grösserer Bestrahlungsmenge im Freien, die Restfestigkeit gegenüber der laborbewitterten Produkte sogar um 4 % geringer ist.

Durchdrückverhalten

Eine Korrelation zwischen Stempeldurchdrückkraft und Durchschlagwiderstand wurde gefunden. Somit ist es bei der Revision der SN 670 241a möglich, Anforderungswerte an die Stempeldurchdrückkraft - anstelle an den Durchschlagwiderstand - festzulegen.

Folgerungen und Empfehlungen:

Witterungsbeständigkeit

Der Vergleich der Labor- und Freibewitterung zeigt, dass trotz grösserer Bestrahlungsmenge im Freien, die Restfestigkeit gegenüber der laborbewitterten Produkte sogar um 4 % geringer ist. Es ist jedoch zu erwähnen, dass dieses Ergebnis nur auf 4 Datenätzen basiert. Es kann festgestellt werden, dass somit die auf den CE-Datenblättern vermerkte zulässige Freiliegedauer von 1 Monat für Schweizer Verhältnisse deutlich auf der sicheren Seite liegt. Zur Bestätigung dieser Erkenntnis wird empfohlen, einen Langzeitversuch von bis zu 5 Jahren mit einer grossen Anzahl Prüfkörpern auszuführen.

Heute wird die Witterungsbeständigkeit mit dem Zugversuch am schmalen Streifen bestimmt. Die Stempeldurchdrückkraft, die eine geringere Messunsicherheit als der Zugversuch am schmalen Streifen aufweist, wird nur für die Qualitätssicherung von unbewitterten Produkten eingesetzt. Ein Prüfverfahren zur Witterungsbeständigkeit mit der Stempeldurchdrückkraft wäre zu entwickeln und zu testen.

Zugversuche: Es wurde beobachtet, dass die Prüfkörper öfters am unteren Backenrand reissen.

Wir empfehlen, nach der Ursache dieses Phänomens zu suchen und allenfalls die Versuchsanordnung zu ändern oder zu optimieren.

Publikationen:

M. Stolz, A. Carrera, F. Nyffenegger, N. Imhof & L. Schneider: Accelerated weathering of geotextiles: comparison between Swiss and European Norms, Eurogeo5 - 5th European Geosynthetics Conference, 16 - 19. September 2012

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Stolz

Vorname: Martin

Amt, Firma, Institut: Berner Fachhochschule, Architektur, Bau und Holz, 3400 Burgdorf

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation U
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK Strassen, Brücken, Tunnel

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Witterungsbeständigkeit:

Das Primärziel des Projektes, die Anforderungswerte nach dem bisherigen Prüfverfahren SN 670 240 mit Anforderungswerten nach dem neuen Prüfverfahren nach EN 12224 zu ersetzen, wurden erfüllt. Die Bewitterungsversuche nach SN 670 240 (alt) mit 60 Stunden und nach EN ISO 12224 mit 4 Stunden wurden durchgeführt. Eine Gegenüberstellung und ein Vergleich der beiden Methoden konnte angestellt werden. Ein Vorschlag für die Anforderungen an die Witterungsbeständigkeit zur Revision der SN 670 241, die sich neu auf die EN ISO 12224 beziehen wird, liegt vor.

Das Sekundärziel, die Freibewitterung mit der Laborbewitterung zu vergleichen, wurde ebenfalls erfüllt. Es war aufgrund der begrenzten Anzahl Resultate und der nur 12 Monate dauernden Freibewitterung jedoch nicht möglich, eine wissenschaftlich fundierte Korrelation zwischen der Frei- und Laborbewitterung zu finden. Als weiterer Nutzen erweisen sich die festgestellten Unterschiede zwischen den Bewitterungsgeräten beider Forschungsstandorte.

Korrelation Stempeldurchdrückkraft / Durchschlagwiderstand:

Die beiden Prüfverfahren wurden anhand einer statistischen Auswertung der Produktdaten gegenübergestellt. Eine statistisch gesicherte Korrelation der Eigenschaften konnte festgestellt werden. Eine "Umrrechnung" des Durchschlagwiderstandes auf die Stempeldurchdrückkraft ist aufgezeigt. Ein Vorschlag an die Anforderungswerte der Stempeldurchdrückkraft für die neue SN 670 241 liegt vor.

Der Terminplan wurde eingehalten.

Umsetzung:

Die Vorschläge aus der Forschungsarbeit werden in die Norm SN 670 241 aufgenommen und umgesetzt.

weitergehender Forschungsbedarf:

Für die Witterungsbeständigkeit ist weiterer Forschungsbedarf erforderlich.

1. Das betrifft insbesondere die über einen Monat lang nicht überdeckten Geokunststoffe als Schutz der Abdichtung bei Tagbautunneln
2. Die Freibewitterung hat gezeigt, dass vermutlich nicht nur die UV-Strahlung sondern auch andere Faktoren zur Zersetzung massgebend beitragen (z.B. Temperaturbereich, Wassermenge, Tau-Frost, Wind etc.). Eine weitere Untersuchung hierzu ist sinnvoll.

Einfluss auf Normenwerk:

Die Erkenntnisse und Resultate der Forschungsarbeit fliessen in die Revision der Norm SN 670 241 ein.

Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Fonyo

Vorname: Balazs

Amt, Firma, Institut: Bundesamt für Strassen ASTRA, 3003 Bern.

Ort, Datum: Ittigen, 03.09.2012

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:

Balazs Fonyo

M. Hugener
FK4 Dr. M. Hugener

Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen <i>Functional requirements for traffic collection systems relating to traffic lights</i> <i>Exigences fonctionnelles en matière de systèmes de détection du trafic en rapport avec les installations de feux de circulation</i>	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen <i>Profil géométrique type pour tous les types de véhicules</i> <i>Standard profile of cross sections for all vehicle types</i>	2010
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts <i>Validierung des CRS-Oedometers mittels intakter Proben</i> <i>Validation of Constant Rate of Strain oedometer on intact samples</i>	2010
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit <i>Coûts horaires du trafic des personnes:</i> <i>Dépendance de la perception et de la distance</i> <i>Willingness to pay in passenger transportation:</i> <i>Perception and distance dependence</i>	2008
1286	VSS 2000/338	Verkehrssqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung <i>Niveau de service et capacité pour les routes à deux voies sans séparation des sens de circulation</i> <i>Level of Service and capacity for undivided two-lane streets</i>	2010
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure: ponts à culées intégrales <i>Tragwerk-Baugrund Interaktion:</i> <i>Brücken mit Integralen Widerlagern</i> <i>Soil-Structure interaction:</i> <i>bridges with integral abutments</i>	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz <i>La circulation du point de vue des enfants:</i> <i>Les trajets scolaires des élèves du primaire en Suisse</i> <i>Traffic and children: Primary school children's routes to school in Switzerland</i>	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement <i>Coordination entre information de trafic individuelle et gestion de trafic</i> <i>Coordination between individual traffic information and traffic management</i>	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen <i>Essais de gonflement de longue durée sur roches anhydrites</i> <i>Long-term swelling tests on anhydritic rock</i>	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet <i>Entretien des infrastructures routières dans les zones bâties: caractéristiques et conséquences</i> <i>Special features and consequences of road facility maintenance in built-over areas</i>	2009
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme <i>Control of effectiveness of road restraint systems</i> <i>Contrôle de l'efficacité des dispositifs de retenue de véhicules</i>	2011
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel <i>Détection d'incidents dans les tunnels routiers</i> <i>Incident Detection in Road Tunnels</i>	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen <i>Prévision de gel et de brouillard pour les routes</i> <i>Prediction of frost and fog for roads</i>	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten <i>Principes pour la quantification des effets des déficits de la sécurité</i> <i>Basis for the quantification of the effects of safety deficits</i>	2011
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen <i>Alternatives aux passages pour piétons dans les zones 30</i> <i>Alternatives to zebra crossings in 30km/h zones</i>	2010
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln; Systemevaluation <i>Energy extraction from urban tunnels, evaluation of systems</i> <i>Extraction d'énergie géothermique de tunnels urbains; évaluation de systèmes</i>	2010
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau <i>Analyse inverse pour la construction routière</i> <i>Inverse analysis in Road Geotechnics</i>	2011
1311	VSS 2000/543	Viabilite des projets et des Installations annexes <i>Kontrolle der Befahrbarkeit von Strassen und Nebenanlagen</i> <i>Viability of road projects and secondary facilities</i>	2010
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement <i>Standardisation des données de trafic pour gestion intermodale du trafic</i> <i>Standardised traffic data for intermodal traffic management</i>	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum <i>Standards for mobility supply in peripheral regions</i> <i>Standards pour l'offre de mobilité dans l'espace périphérique</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an ? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen <i>Transports de l'avenir ?</i> <i>Moteurs et carburants pour la mobilité de demain</i> <i>What drives us on ?</i> <i>Drives and fuels for the mobility of tomorrow</i>	2011
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im labormasstab <i>Désenrobage des enrobés peu bruyants des couches de roulement sous sollicitation de roulement en laboratoire</i> <i>Stripping of Low Noise Surface Courses during Laboratory Scaled Wheel Tracking</i>	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors <i>SPIN-ALP: Abschätzung des Potentials des Intermodalen Verkehrs auf Alpenkorridoren</i> <i>SPIN-ALP: Estimation du potentiel du transport intermodal sur les axes transalpins</i>	2010
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten <i>Fonctions de résistance pour des tronçons routiers urbains en dehors de la zone d'influence de carrefours</i> <i>Capacity restraint functions for urban road sections not affected by intersection delays</i>	2010
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-Vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes. <i>Die charakteristischen Indikatoren einer Velostadt. Evaluationsmethode der Velopolitiken anhand von 8 Indikatorgruppen für kleine und mittlere Gemeinden</i> <i>Characteristic indices of a Bike City. Method of evaluation of cycling policies in 8 indices for small and medium-sized communes</i>	2010
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology <i>Temps de parcours en réseau urbain</i> <i>Methodologie für Fahrzeitbewertung in städtischen Strassennetz</i>	2011
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit <i>Modèles d'impact d'équipements de véhicules pour améliorer la sécurité routière</i> <i>Modelling of the impact of in-vehicle equipment for the enhancement of traffic safety</i>	2009
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground <i>Entscheidungsgrundlagen und Hilfsmittel für die Planung von TBM-Vortrieben in druckhaftem Gebirge</i> <i>Critères de décision et outils pour la planification de l'avancement au tunnelier dans des conditions de roches poussantes</i>	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Datum
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr <i>Basic technologies for detecting intermodal traveling passengers</i> <i>Les technologies de base pour l'enregistrement automatique des usagers de moyens de transports</i>	2011

