

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Maisner, Matthias

Werkstoffe für Schlauchmembrane

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102594>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Maisner, Matthias (2007): Werkstoffe für Schlauchmembrane. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 91. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 31-46.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Werkstoffe für Schlauchmembrane

MATTHIAS MAISNER, BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, KARLSRUHE

1 Materialaufbau und Herstellung

Im Rahmen einer Bestandsaufnahme von handelsüblichen und in Deutschland eingebauten Schlauchmembranen aus Elastomer-Bahnen wurde zunächst der Materialaufbau makro- und stereomikroskopisch untersucht [1]. Für die Mikroskopie wurden hierzu Proben in den gesamten Dicken der Querschnitte ausgestanzt. Bild 1 zeigt beispielhaft die stereomikroskopische Aufnahme einer zweilagigen Schlauchmembran. Der Begriff "zweilagig" bezieht sich auf die Anzahl der Gewebelagen (Festigkeitsträger). In dem Verbundwerkstoff "gewebeverstärkte Elastomer-Bahn" übernimmt das Elastomer eine Dicht- und eine Schutzfunktion für den Festigkeitsträger. Die Dichtfunktion bezieht sich auf die Undurchlässigkeit der eingesetzten Füllmedien Wasser oder Luft. Der untere Festigkeitsträger 2 zeigt auf der Seite zum Füllmedium in Schussrichtung, d. h. quer zur Herstellrichtung des Gewebes, zwei Fäden. Der obere Festigkeitsträger 1 zeigt dagegen in Kette und Schuss nur jeweils einen Faden. Per Definition werden die Längsfäden in der Gewebeherstellrichtung als Kettfäden bezeichnet. Bedingt durch die verschiedenen Fertigungsschritte der Elastomer-Bahn sind in Bild 1 die Lagen Deckschicht, Festigkeitsträger 1 und Festigkeitsträger 2 erkennbar.

Bild 2 zeigt einen horizontalen Längsschnitt durch die Elastomer-Bahn mit der Gewebelage 1. Die Probe wurde mit einem rotierenden Messer durch gleichmäßiges Abspalten der Elastomer-Deckschicht gewonnen [2]. In dem horizontalen Schnitt ist zu erkennen, dass die Kett- und Schussfäden einen Winkel von 90° bilden. Durch die gegenseitige Umschlingung von Kett- und Schussfäden liegen die einzelnen Fäden in einer wellenartigen Form und nicht gerade gestreckt vor. Zwischen den rötlichen Fasern, die auf einen Haftvermittler in der äußeren Schicht des Gewebes hinweisen, ist das Elastomer der Deckschicht (schwarzes Gummi) zu sehen.

Schlauchmembrane sind gewebeverstärkte Elastomer-Bahnen, die in mehreren zeitlich versetzten Fertigungsabschnitten diskontinuierlich produziert werden. Zunächst wird eine plastische Kautschukmischung aus den verschiedenen Rohstoffen, wie Rohkautschuk, Füllstoffe, Weichmacher, Kleinchemikalien und Vernetzungsmitteln, hergestellt. Der nächste Fertigungsabschnitt erfolgt zeitversetzt auf dem Verarbeitungsgesamt "Kalander". Kautschukkalander bestehen aus zwei bis vier Walzen. In Bild 3 ist der gesamte Herstellungsprozess mit den verschiedenen Fertigungsabschnitten schematisch dargestellt. Der Vierwalzenkalander hat hier eine S-förmige Walzenanordnung. Mit dem Kalander erfolgt auch das Gummieren (Frikktionieren) des Gewebes. Dabei wird die noch nicht vernetzte und da-

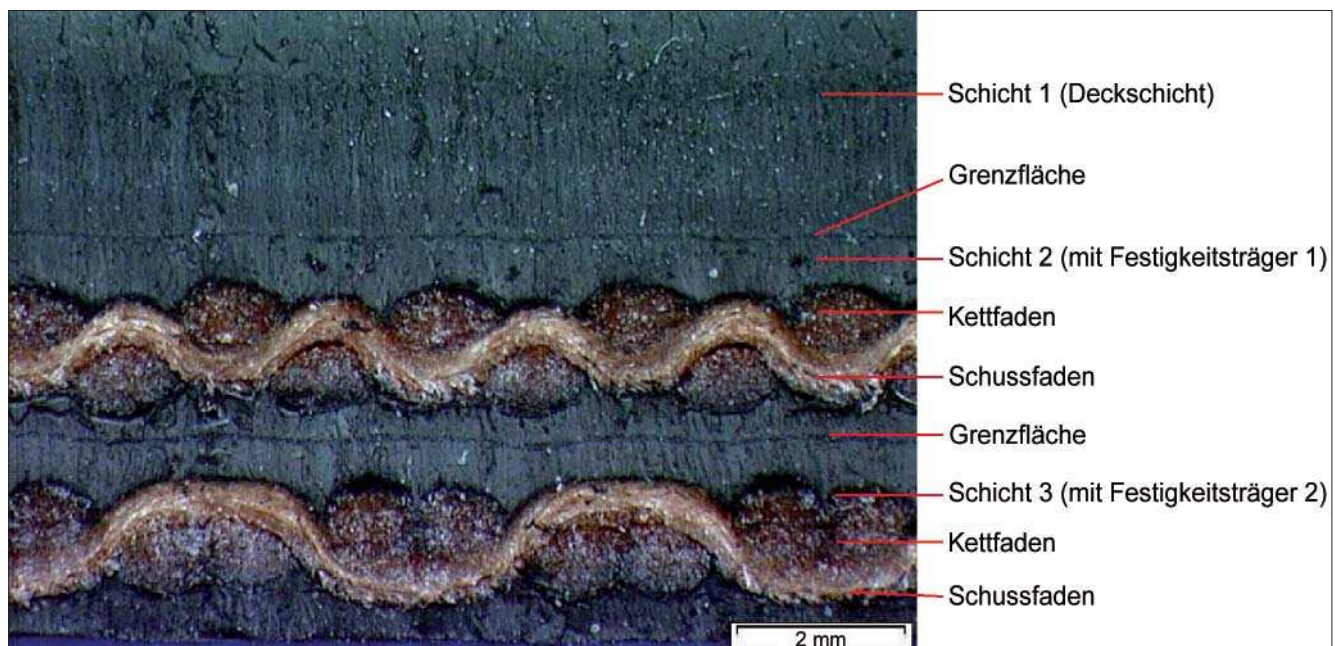


Bild 1: Stereomikroskopische Aufnahme des Querschnitts einer zweilagigen Schlauchmembran

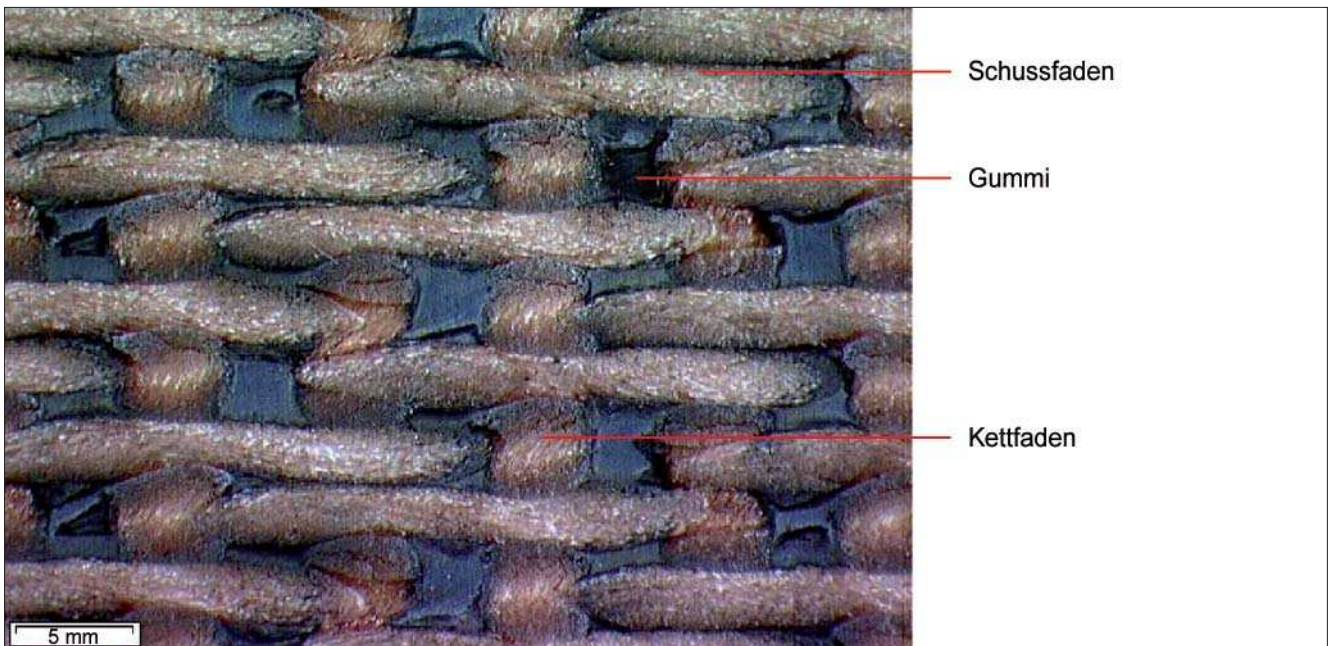


Bild 2: Stereomikroskopische Aufnahme, Längsschnitt durch den oberen Festigkeitsträger einer zweilagigen Schlauchmembran

her noch weiche und klebrige Kautschukmischung in das Gewebe eingerieben. Im mehreren Schritten wird das Gewebe danach mit dünnen Kautschukbahnen bis zur erforderlichen Gesamtdicke beidseitig belegt.

Die endgültige und irreversible Vernetzung wird als Vulkanisation bezeichnet und erfolgt bei etwa 160 °C. Wie in Bild 3 dargestellt, kann dieser thermische Prozess z. B. mit einer Vulkanisationspresse unter Druck erfolgen. Durch den Fertigungsabschnitt Vulkanisation wird die plastische Kautschukmischung in den gummielastischen Zustand "Elastomer" überführt. Die Fertigung der Elastomer-Bahnen erfolgt diskontinuierlich in Vulkanisationspressen und mit anschließender kontinuierlicher Aufwicklung oder in einem Arbeitsschritt kontinuierlich mit dem Rotations-Vulkanisationsverfahren.

Von einem Gummiersteller wird z. B. eine Vulkanisationspresse mit einer Pressbreite von 2,30 m und einer Länge von 4,00 m eingesetzt. Daher können mit dieser Presse Elastomer-Bahnen in beliebigen Längen aber nur mit einer Breite von 2,30 m hergestellt werden. Da aber die Schlauchmembranen den Abmessungen der Wehrfelder entsprechen müssen, ist eine Konfektion der endlos aufgewickelten Elastomer-Bahnen erforderlich. Für eine Wehranlage mit einer Stauhöhe von ca. 2,50 m ist beispielsweise eine Schlauchmembran von 8 m Breite erforderlich [3]. Um die erforderliche Breite zu erreichen, werden die Elastomer-Bahnen zunächst abgelängt und einseitig im Randbereich aufgetrennt. Anschließend werden die Gummiflächen aufgeraut, gereinigt, im Trennbereich überlappend mit neuer Mischung zusammengefügt und in der erforderlichen Breite auf einer 12 m langen Balken-Presse vulkanisiert [3] (s. Bilder 4 und 5). Wie auch bei Textil-Förder-

gurten üblich, werden die Überlappingsverbindungen mit definierten Verbindungslängen in Abhängigkeit der erforderlichen Mindestbruchkraft hergestellt.

Im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) des Herstellers werden die Eigenschaften der Kautschukmischung und der kalandrierten Elastomer-Bahn vor der Vulkanisation geprüft. Bis zur Freigabe durch die WPK verbleibt die kalandrierte Elastomer-Bahn im Zwischenlager. Weitere Prüfungen erfolgen im Rahmen der WPK vor der Auslieferung und endgültigen Konfektion der vulkanisierten Schlauchmembran.

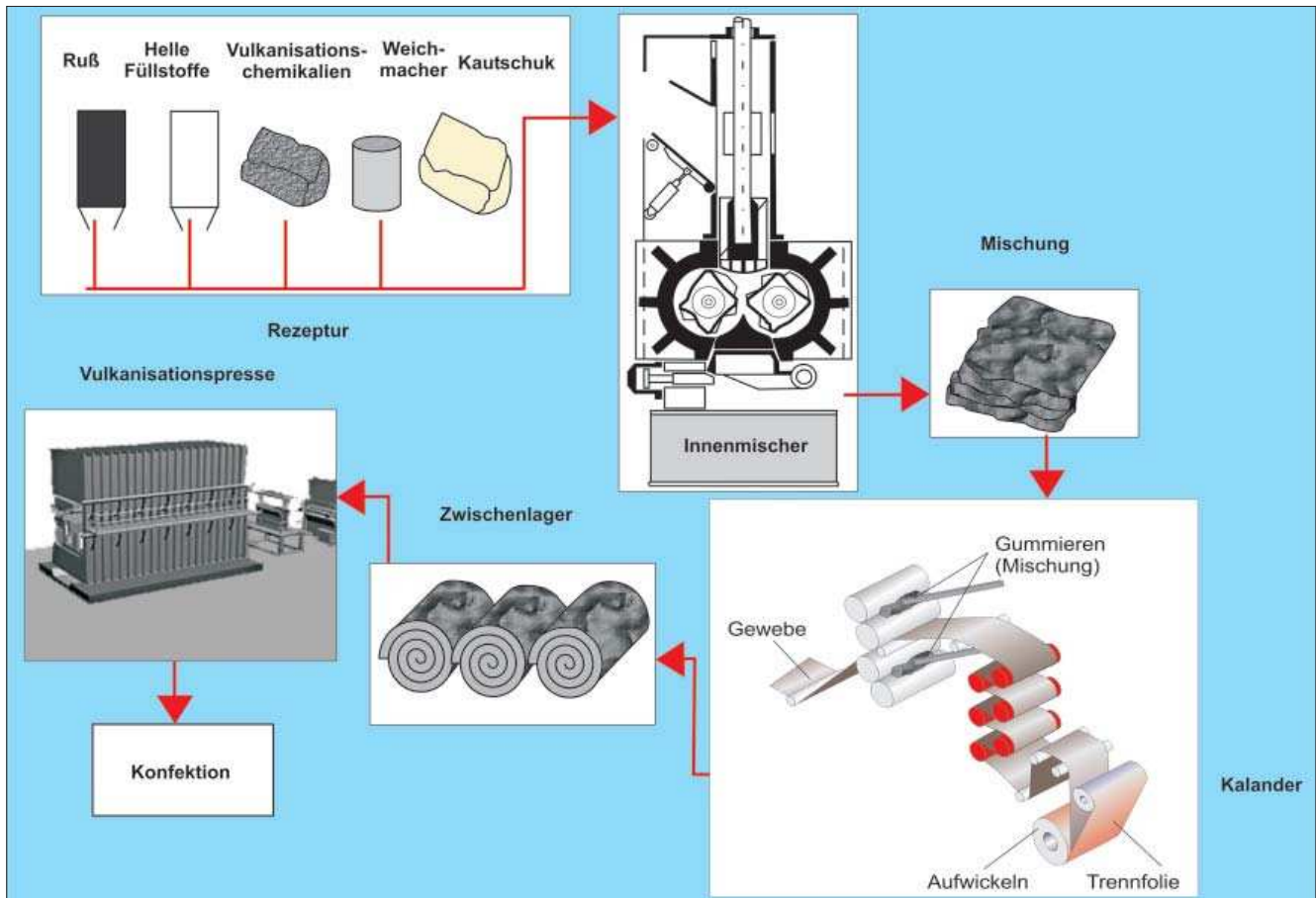


Bild 3: Schematische Darstellung des Herstellungsprozesses

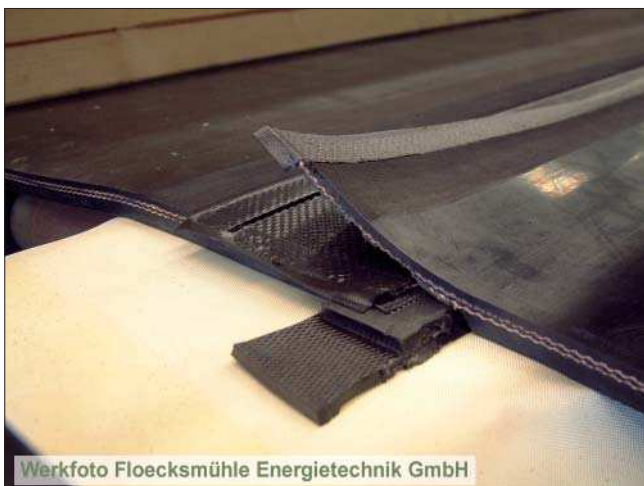


Bild 4: Herstellung einer Verbindungsnah



Bild 5: Vulkanisation einer Verbindungsnah

2 Werkstoffuntersuchungen an handelsüblichen Schlauchmembranen

2.0 Vorbemerkungen

Für die Werkstoffuntersuchungen wurden von verschiedenen nationalen und internationalen Herstellern, Baufirmen und deutschen Kraftwerksbetreibern Materialproben zur Verfügung gestellt, sodass eine repräsentative Auswahl an handelsüblichen Materialien vor-

lag. Auf Grund der verschiedenen Geometrien konnte an einigen Proben nur ein eingeschränktes Untersuchungsprogramm durchgeführt werden. Die in der BAW apparativ nicht durchführbaren Untersuchungen erfolgten beim Deutschen Institut für Kautschuktechnologie e. V. (DIK) in Hannover, bei den Forschungsdiensten Freudenberg KG in Weinheim und beim Institut für Textil- und Bekleidungstechnik der TU Dresden.

2.1 Chemisch analytische Untersuchungen

Für die dauerhafte Gebrauchstauglichkeit einer Schlauchmembran ist zunächst die der Bewitterung ausgesetzte äußere Elastomer-Deckschicht maßgeblich. Daher wurden zuerst Proben an verschiedenen oberflächennahen Stellen der äußeren Schicht entnommen. Ferner wurden die Festigkeitsträger und die dem Füllmedium zugewandten Deckschichten chemisch analysiert. Bei der dem Füllmedium zugewandten Deckschicht sollte auch festgestellt werden, ob der Rezepturaufbau mit der äußeren Schicht identisch ist.

Aus Tabelle 1 ist der Materialaufbau der fünf untersuchten Werkstoffkombinationen zu ersehen. Für die Elastomer Deckschichten wurden die Kurzzeichen nach DIN ISO 1629 [4] und für die Fasern der Festigkeitsträger die Gattungsnamen und Kurzzeichen nach DIN ISO 2076 [5] verwendet. Es zeigte sich, dass neben den Spezialkautschuken CR (Chloropren-Rubber) und EPDM (Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk) auch SBR (Styrol-Butadien-Rubber) und Verschnitte aus SBR und NR (Naturkautschuk) verwendet werden. Im Vergleich mit den Spezialkautschuken CR und EPDM zeigen SBR und NR allerdings eine schlechtere Wit-

terungs- und Ozonbeständigkeit auf. Die Gebrauchstauglichkeit von aus SBR bzw. SBR/NR Verschnitten hergestellten äußeren Deckschichten ist daher langfristig eingeschränkt. Für die in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) gebauten und zurzeit geplanten Anlagen wurde bislang der Spezialkautschuk CR gewählt. Der Werkstoff CR wurde bereits 1931 in den USA produziert und ist auch unter der Handelsbezeichnung Neopren bekannt. Bei der Faseridentifizierung der Festigkeitsträger durch Infrarot Spektroskopie (IR) wurden die Fasermaterialien PA (Polyamid) oder PES (Polyester) festgestellt. Das Fasermaterial PA ist u. a. durch die Löslichkeit in Ameisensäure leicht von PES zu unterscheiden. In Kett- und Schussrichtung wurden jeweils die identischen Fasermaterialien gefunden.

Die analytischen Untersuchungen wurden u. a. mit der IR durchgeführt. Das Analyseverfahren IR arbeitet im infraroten Wellenlängenbereich (800 – 500.000 nm). Das unbekannte Probematerial wird für die Aufzeichnung eines Spektrums zu Schwingungen angeregt. Für die Identifikation des Probematerials werden Vergleichsspektren bekannter Polymere bzw. Substanzen herangezogen. Mit der Ausnahme des Herstellers B waren die IR-Spektren der äußeren und der dem Füll-

Anzahl Gewebelagen	Materialdicke	Hersteller				
		B	C	R	S	T
1	4 – 7 mm					
2	8 – 11,6 mm					
3	9,2 mm					
	12 – 12,5 mm					
	15,5 mm					
Werkstoffe	Deckschicht	SBR/NR	CR	SBR	EPDM	CR
	Festigkeitsträger	PA	PES	PA	PA	PES

Tabelle 1: Materialaufbau der Proben und Ergebnisse der chemischen Untersuchungen

medium zugewandten inneren Deckschicht identisch. Für die Materialkombination des Herstellers B wurde eine zusätzliche Charakterisierung des Elastomers mittels Thermogravimetrie durchgeführt. In der der Bewitterung ausgesetzten äußeren Deckschicht wurde ein Verschnittverhältnis von etwa 65 SBR zu 35 phr (parts per hundred rubber) NR gefunden. Auf der Seite zum Füllmedium hin wurde dagegen ein Verschnitt von etwa 70 phr NR zu 35 phr SBR festgestellt. Das vom Hersteller in den technischen Unterlagen ausgewiesene Design Feature EPDM wurde in den Deckschichten nicht als alleinige Kautschukkomponente gefunden.

Ein sehr einfacher und auch auf Baustellen durchführbarer Nachweis für das im Werkstoff CR enthaltene Halogen Chlor ist der so genannte Beilsteintest. Hierzu wird mit einer Flamme ein Kupferdraht glühend erhitzt und leicht in die Oberfläche der Membran eingedrückt. Anschließend wird der mit Elastomer-Partikeln behaftete Kupferdraht erneut in die Flamme gehalten. Eine grün bis blaugrüne Flammfärbung ist dann der Nachweis für Chlor.

2.2 Dynamische Prüfungen

Im Betrieb der Schlauchwehranlagen können z. B. im Randbereich oder im Bereich der Befestigungsschienen Knickstellen und Falten auftreten. Für die Schlauchmembran bedeutet dies dann in lokalen Bereichen eine zusätzliche Biege- bzw. Knickbelastung. Um festzustellen, ob durch diese Beanspruchung eine Materialermüdung zu erwarten ist, wurden in Anlehnung an die DIN ISO 132 [6] Prüfungen mit dem Dauer-Knick-Versuch nach de Mattia durchgeführt. Mit dem Versuch nach [6] können die verschiedenen Werkstoffe hinsichtlich des Widerstandes gegen Bildung und Wachstum von Rissen verglichen werden. Der Dauer-Knick-Versuch nach [6] kann auch zur Abschätzung einer im Schlauchwehr maximal möglichen Einsatzzeit hinsichtlich des Ablegeverhaltens der Schlauchmembran herangezogen werden. Zur Bestimmung von Rissbildung und Risswachstum wurden die Proben in voller Materialstärke einer Dauer-Knickbeanspruchung ausgesetzt. Bei der Versuchsanordnung nach [6] wird eine periodische Biege-Zugbeanspruchung über ein Exzenter mit einer Frequenz von 5 Hz und einer Hublänge von 45 mm erzeugt. Abweichend von der genormten Versuchsdurchführung wurde aus den durch Stanzen hergestellten Probekörper (25 mm x 140 mm) jedoch nicht nachträglich eine Nut (Einkerbung) herausgeschnitten. Die Probekörper wurden vielmehr mit den Abmessungen 25 x 140 mm in voller Materialdicke aus den Schlauchmembranen ausgestanzt. Der Versuchsaufbau ist aus Bild 6 zu sehen. Nach dem Start des Antriebes wird nach [6] in bestimmten Zeitabständen das Risswachstum visuell bewertet.

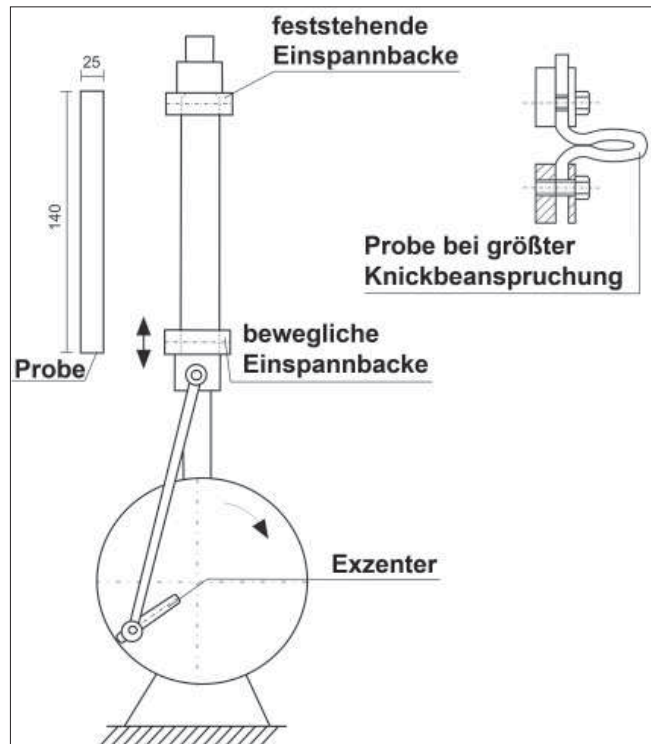


Bild 6: Versuchsaufbau Dauer-Knick-Versuch nach [3]

Bei den untersuchten Proben konnten erst nach 10.000 Knickungen die ersten Schädigungen durch Rissbildung oder eine beginnende Delaminierung festgestellt werden. Es ist aber davon auszugehen, dass diese Lastzahl in der Praxis bei den meisten Anlagen nicht ohne zusätzliche dynamische Einflüsse, wie z. B. bei Schwingungen, erreicht wird. Nach 500.000 Knickungen wurden die Versuche beendet. Das Schadensbild der einzelnen Werkstoffe ist im Endzustand, wie aus Bild 7 ersichtlich, allerdings sehr heterogen. Die dreilagigen Materialien R und B (Werkstoffkombination SBR bzw. SBR/NR und PA) zeigen eine vollständige Delaminierung der Gewebelagen. Dagegen zeigt das zweilagige Material C (Werkstoffkombination CR und PES) noch keine vollständige Ablösung der einzelnen Schichten. Das einlagige Material T zeigt im Endzustand keine Delaminierung. Mit dem Dauer-Knick Versuch nach de Mattia [6] konnte also hinsichtlich einer maximal möglichen Lastzahl (Knickungen) festgestellt werden, dass mit der Anzahl der Gewebelage das Dauer-Knick-Verhalten schlechter wird. Auf der Rückseite der Proben waren nach Versuchende zum Teil deutliche Ermüdungsrisse erkennbar.

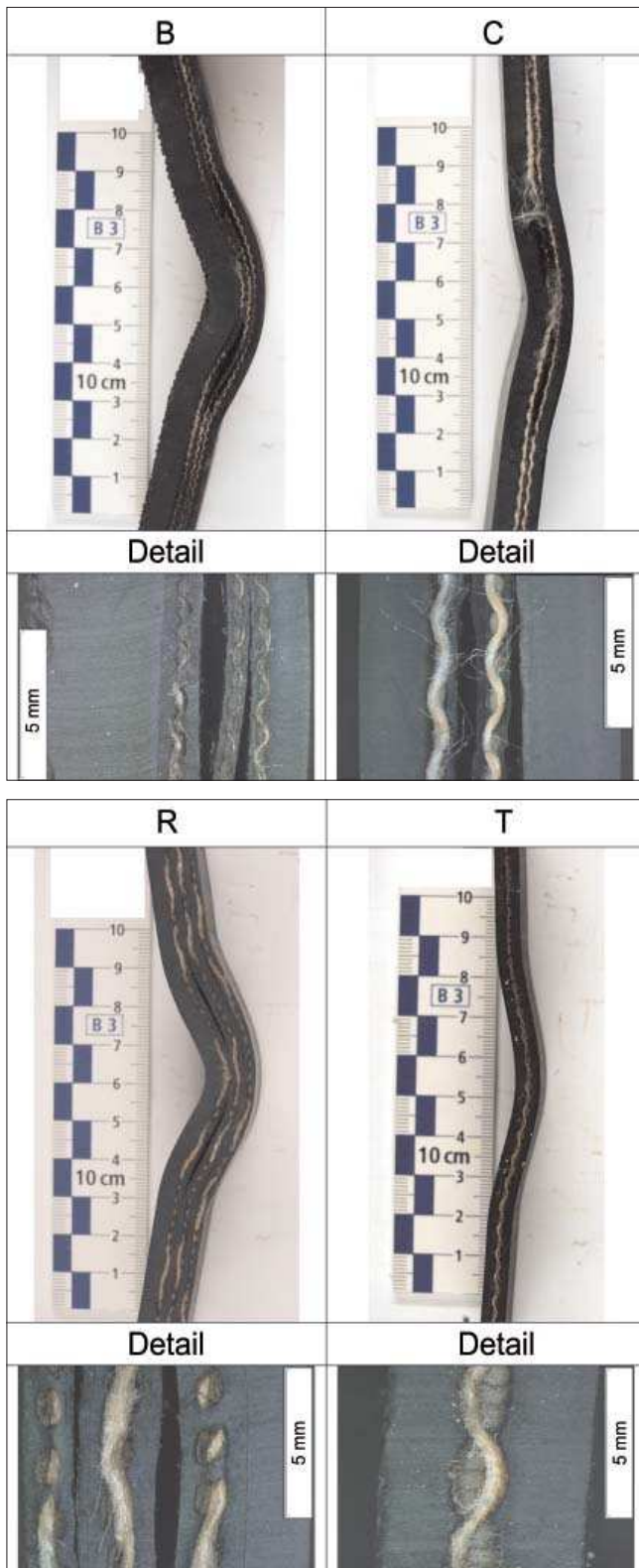


Bild 7: Endzustand der Proben bei Versuche nach 500.000 Knickungen

2.3 Statische Prüfungen an genormten Elastomer Probekörpern

Für die im Rahmen von statischen Prüfungen durchgeführten Werkstoffuntersuchungen wurden aus den Deckschichten der Elastomer-Bahnen 2 und 6 mm dicke Prüfplatten durch gleichmäßiges Abspalten nach DIN ISO 4661-1 [2] hergestellt. Aus diesen Prüfplatten wurden dann Normprüfkörper mit einem Stanzeisen ausgeschnitten. Für die Dichtebestimmung nach der Auftriebsmethode (Archimedes) wurden in Anlehnung an DIN 53479 [7] Normstäbe S2 nach DIN 53504 [8] hergestellt. Als Prüfflüssigkeit wurde destilliertes Wasser verwendet. Der Zugversuch nach [8] zur Bestimmung der Reißfestigkeit und Reißdehnung wurde an Proben von allen Herstellern mit einer Prüfgeschwindigkeit von 200 mm/s am Normstab S2 bei Raumtemperatur durchgeführt. Bei Proben des Herstellers C wurden zusätzliche Zugversuche bei $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ durchgeführt. Aus Bild 8 ist zu ersehen, dass im Temperaturbereich von $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ auf Grund der Reißfestigkeiten von mindestens 18 MPa und Reißdehnungen von mindestens 350 % ein ausreichendes Wertenniveau vorhanden ist.

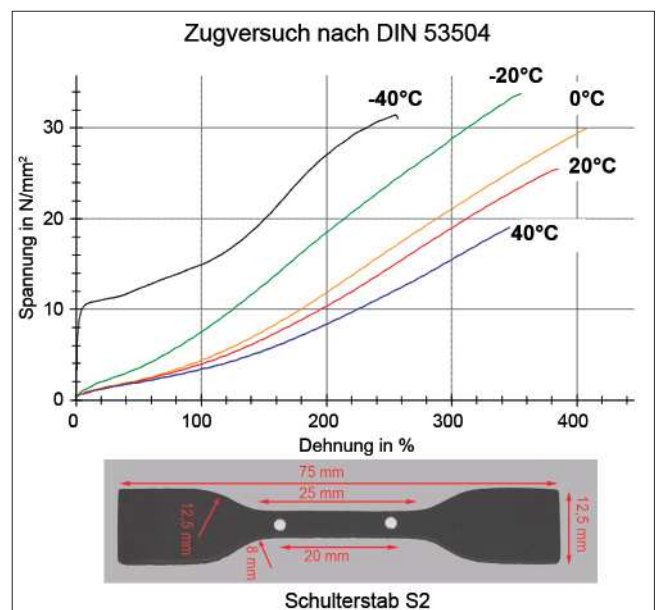


Bild 8: Zugversuche am genormten Probekörper S2 bei tiefen Temperaturen

Ein einfacher Screening-Test hinsichtlich des Kälteverhaltens ist die 24 h Lagerung von Proben bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ und die anschließende Härtemessung Shore A nach DIN 53505 [9]. Bei der Härteprüfung Shore A wird der Widerstand gegen das Eindringen einer Nadel in die Oberfläche des Probekörpers gemessen. Mit der Härteprüfung nach Shore A, DIN 53505 [9], erhält man einen Indexwert, der ein Maß für den gleichmäßigen Vernetzungsgrad der Fertigungseinheit darstellt. Große Streuungen in der Härte Shore A würden darauf hindeuten, dass möglicherweise auch andere Eigenschaften nicht die gewünschten Anforderungen er-

füllen. Der Weiterreißwiderstand wurde nach DIN ISO 34-1 [10] mit dem Streifenprobekörper, Methode A, bestimmt und wird als Quotient aus der Kraft und der Probendicke angegeben. Auf Grund der Baustellenbedingungen und im Hinblick auf mögliche Beschädigungen, wie z. B. durch den Baubetrieb oder durch Geschiebe verursachte Schnittverletzungen, ist auch der Weiterreißwiderstand eine Schlüsseleigenschaft für die Dauerhaftigkeit. Geprüft wird der Weiterreißwiderstand mit einer Streifenprobe, die eingeschnitten und wie ein Hosenträger in eine Prüfmaschine eingespannt wird. Es wird dann im Zugversuch die Kraft ermittelt, die aufgebracht werden muss, um ein Weiterreißen der Probe zu verursachen.

Das sogenannte Altern von Elastomeren ist meist mit einer Verschlechterung der Eigenschaften verbunden. Ausgelöst werden die Alterungsprozesse beispielsweise durch Sonnenlicht (UV-Strahlung), Wärme und Ozon. Bei Schädigungen durch eine natürliche Bewitterung ist Ozon ein ganz wesentlicher Faktor. Für die Bestimmung der Beständigkeit gegenüber Rissbildung unter Ozoneinwirkung wurde die DIN 53509-1 [11] herangezogen. Hierbei wurden Proben im gedehnten Zustand in einer Ozonkammer eine bestimmte Zeit einer definierten Ozonkonzentration ausgesetzt. Eine Ozonkonzentration von 50 ppm (ppm = parts per hundred million) bedeutet 1 Volumenteil Ozon auf 10^8 Volumenteile Luft oder 50 Ozonmoleküle auf 100 Millionen Sauerstoffmoleküle. Die Bewertung erfolgt am Ende der Lagerung durch die Einordnung in bestimmte Rissstufen. Rissstufe 1 bedeutet, dass visuell keine Risse in der Oberfläche der Proben festgestellt werden konnten. Mit dem Verfahren nach DIN 53508 [15] wurde eine künstliche Alterung durch Wärmelagerung bei 70 °C simuliert. Zur Beurteilung der Alterungsbeständigkeit wird, als Prüfung im Zeitraffer nach sieben Tagen [15], der Vergleich der Reißfestigkeit, Reißdehnung [7] und Härte Shore A [8] vor und nach der Wärmelagerung herangezogen.

Das Verfahren zur Bestimmung des Druckverformungsrestes nach DIN ISO 815 [12] mit dem Probekörper Typ B dient dazu, die elastischen Eigenschaften eines Elastomers nach einer längeren konstanten Druckbeanspruchung, wie z. B. in der Klemmkonstruktion der Schlauchmembran, zu beschreiben. Die Probekörper werden bei vorgegebenen Temperaturen mit einer konstanten Druckbeanspruchung gelagert. Nach der Lagerung wird im unbelasteten Zustand die Höhe der Probekörper gemessen. Der Druckverformungsrest beschreibt die Differenz zur Ausgangshöhe vor der Lagerung und gibt einen Hinweis auf das Materialverhalten in der Klemmkonstruktion. Ein niedriger Druckverformungsrest ist auch dann wichtig, wenn die eingebauten Schlauchmembranen zu einem späteren Zeitpunkt demontiert und erneut eingesetzt werden. Der möglicherweise in der Elastomeroberfläche verblei-

bende Abdruck der alten Befestigungskonstruktion könnte zu Umläufigkeiten führen.

Der Zugverformungsrest nach DIN ISO 2285 [13] beschreibt das Werkstoffverhalten von Elastomeren nach einer relativ kurzen (24 h) Zugbeanspruchung unter konstanter Dehnung. Durch diese Zugprüfung unter konstanter Dehnung soll festgestellt werden, ob das Elastomer über eine bestimmte Zeitdauer seine elastischen Eigenschaften beibehalten kann.

Schlauchmembranen können durch die Einwirkung von Geschiebe auch einer Abriebbeanspruchung ausgesetzt sein. Der Widerstand der Elastomer-Deckschicht gegen Abrieb wurde nach DIN ISO 4649 [14] mit dem Verfahren des nicht rotierenden Probekörpers bestimmt. Ein zylindrischer Elastomer-Probekörper gleitet über einen auf einer rotierenden zylindrischen Trommel gespannten Schmirgelbogen. Das Verfahren nach [14] liefert nach Abschluss der Prüfzyklen einen Indexwert für den Volumenverlust, der einen Vergleich der verschiedenen Materialien erlaubt.

Um die Lebensdauer einer Elastomer-Deckschicht abschätzen zu können, die am Standort der Wehranlage auch der Beanspruchung durch Meerwasser ausgesetzt ist, können Prüfungen der Meerwasserbeständigkeit nach DIN 86076 [16] durchgeführt werden. Bei der Prüfung nach [16] werden Probekörper in erhitztem künstlichem Meerwasser als beschleunigte Alterungsversuche gelagert. Nach 28 Tagen wurde die Änderung des Volumens [7], der Reißfestigkeit, der Reißdehnung [8] und der Härte Shore A [9] vor und nach der Meerwasserlagerung zur Beurteilung und zum Vergleich der verschiedenen Werkstoffkombinationen herangezogen. Aus der Tabelle 2 sind die Ergebnisse der statischen Prüfungen zu ersehen.

2.4 Migrationsprüfung

Unter Migration ist das Auswandern bzw. der Übergang von diffusionsfähigen Inhaltsstoffen der Membran-Werkstoffe, wie z. B. der Rezepturbestandteile Weichmacher oder Alterungsschutzmittel, aus der Deckschicht (Trägermaterial) in Kontaktmedien zu verstehen. Insgesamt wurden fünf verschiedene, ca. 7 cm² große Proben der aus Tabelle 1 ersichtlichen Werkstoffe ausgestanzt und auf ihren Widerstand gegen Migrationsprozesse hin untersucht. Als Kontaktmedium wurde eine Tafel aus Polyvinylchlorid (weichmacherfreies Hart PVC) eingesetzt. Die PVC-Tafel wurde vor einem nach Südwesten hin orientiertem Fenster zur Beobachtung einer Kontaktverfärbung bei Raumtemperatur gelagert. Bild 9 zeigt das Ergebnis der Kontaktverfärbung nach 925 Tagen Lagerung.

Eigenschaften	Prüfung nach	Einheit	R ₁₎	Hersteller				
				B	C	R	S	T
Shore-A-Härte (Median)	DIN 53505	Shore A		56	58	61	61	68
Reißfestigkeit	DIN 53504 (Normstab S2)	MPa	L	23,1 ± 0,6	21,4 ± 1,6	17,3 ± 1,1	16,8 ± 2,2	13,9 ± 0,7
		MPa	Q	22,0 ± 0,5	21,9 ± 1,3	16,8 ± 0,3	4)	14,2 ± 0,8
Reißdehnung	DIN 53504 (Normstab S2)	%	L	519 ± 9	430 ± 17	534 ± 33	710 ± 49	342 ± 9
		%	Q	517 ± 8	427 ± 22	594 ± 9	4)	372 ± 15
Druckverformungsrest 168 h/23 °C 24 h/70 °C	DIN ISO 815 (Probekörper Typ B)	%		17 ± 0,3	10 ± 1,5	22 ± 0,6	4)	4)
		%		21 ± 0,3	12 ± 0,0	21,4 ± 0,5	4)	4)
Weiterreißwiderstand	ISO 34-1 Methode A, Streifenprobekörper	kN/m	L	12 ± 1,2 ₂₎	8,5 ₃₎	8,6 ± 0,2 ₂₎	15,6 ± 0,7 ₂₎	9,9 ± 0,5 ₂₎
		kN/m	Q	8 ± 0,2	7,5	8,6 ± 0,3	4)	10,3 ± 1,0 ₄₎
Wärmealterung 7 d/70 °C	DIN 53508							
Härteänderung	DIN 53505	Shore A		58	59	65	4)	69
Reißfestigkeit	DIN 53504 (Normstab S2)	MPa	L	21,2 ± 0,2	21,5 ± 2,3	16,3 ± 0,4	4)	14,5 ± 0,4
		MPa	Q	19,6 ± 0,3	19,5 ± 2,4	15,6 ± 0,2	4)	15,4 ± 0,4
Reißdehnung	DIN 53504 (Normstab S2)	%	L	481 ± 4	412 ± 33	486 ± 11	4)	326 ± 7
		%	Q	464 ± 5	401 ± 38	524 ± 20	4)	380 ± 13
Kälteverhalten 24 h/-20 °C (Median)	DIN 53505	Shore A		67	67	83	69	77
Verhalten n. Ozonalterung 48 h, 40 °C, 50 pphm, 20 % Dehnung	DIN 53509 (Verfahren A)			keine Risse	keine Risse	keine Risse	keine Risse	keine Risse
Zugverformungsrest 24 h, 70 °C, 100 % Dehnung	DIN ISO 2285 (Streifenprobekörper, Messung bei RT, 30 min n. Entlastung)	%		9 ± 0,5	7 ± 0,8	12 ± 0,3	4)	17 ± 1,0
Abrieb	DIN ISO 4649	mm ³		128 ± 6	63 ± 3	158 ± 1	4)	179 ± 7
Dichte (Median)	DIN 53479 (Verfahren A, Normstab S2, Auftriebsmethode Archimedes)	g/cm ³		1,09	1,36	1,14	4)	1,49

1) R: Richtung: L = längs; Q = quer

2) Die Prüfung konnte auf Grund der Probengeometrie nicht durchgeführt werden.

3) Median aus 5 Einzelwerten

4) Mittelwert aus 3 Einzelwerten

Tabelle 2: Übersicht der Ergebnisse der statischen Prüfungen

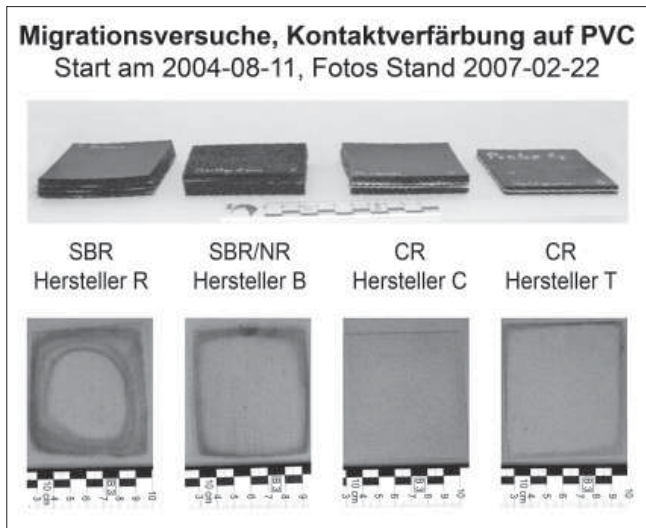


Bild 9: Migrationsprüfung, Kontaktverfärbung auf PVC

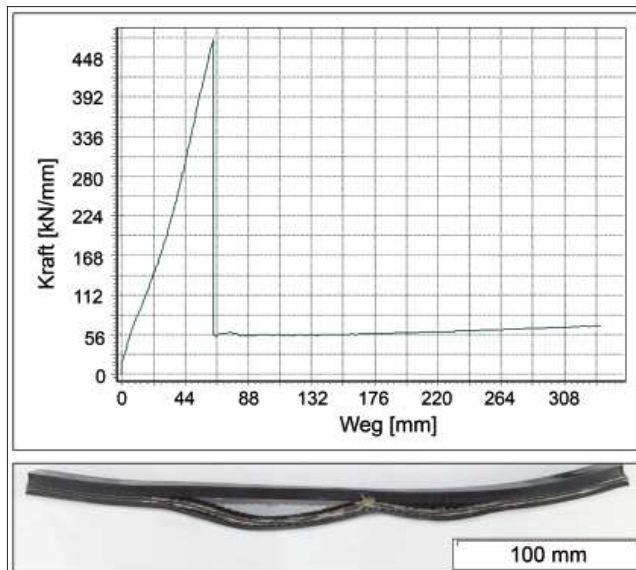


Bild 10: Kraft-Verlängerungs-Diagramm, Zugversuch in voller Materialdicke

2.5 Statische Prüfungen in voller Materialdicke

Statische Prüfungen in voller Materialdicke werden z. B. bei Textilfördergurten angewendet. Auf Grund der kleinsten Breite des Schulterstabes wurde in Anlehnung an die für Textilfördergurte üblichen Prüfungen der Probekörper A, DIN EN ISO 283-1 [17] für die Ermittlung der Zugeigenschaften gewählt. Mit einem Stanzeisen wurden die Proben in Längs- und Querrichtung aus den Schlauchmembranen ausgestanzt. In Anlehnung an [17] wurden anschließend Zugversuche in voller Materialdicke bis zur Zerstörung der Probe durchgeführt. Ermittelt wurden die Bruchfestigkeit, die

Bruchdehnung und die Dehnung bei der Bezugskraft. Bild 10 zeigt exemplarisch das Kraft-Verlängerungs-Diagramm einer Werkstoffkombination aus CR und dem Festigkeitsträger PES in Längsrichtung.

Aus Tabelle 3 sind die Ergebnisse aller in Längs- und Querrichtung durchgeführten Versuche ersichtlich. Die Bruchfestigkeiten lagen in der stärksten Richtung je nach Hersteller zwischen 104 N/mm (bei einer Gewebelage) und 607 N/mm.

Hersteller	B			C	R	T	
Gewebelagen	3			2	2	1	
Membrandicke (mm)	9	12	15	14	8	6	
Bruchfestigkeit (kN/m)	längs	593	338	425; 440	473; 390; 404	427; 487; 587; 594; 607	141; 113; 301; 278; 291
	quer	173	320	376; 400; 323	349; 332; 339	198; 198; 159; 228	125; 104
Dehnung bei der Bezugskraft 2500 N (%)	längs	6,8	17,7	11,2; 14,7	13; 14,8; 5,1	8,3; 8,7; 9,1; 6,9; 8,8	12,7; 34,8; 22; 21,3; 15,8
	quer	32,1	14,3	15,9; 15,4; 14,7	40,3; 40,5; 39,6	34,3; 33,9; 38,8; 34,5	17,9; 40,2
Bruchdehnung (%)	längs	16	38	27; 25	29; 37; 38	24; 26; 29; 20; 29	15; 41; 30; 36; 35
	quer	40	32	33; 33; 29	81; 81; 81	46; 46; 57; 58	19; 42
Anzahl der Probekörper	längs	1	1	2	3	5	5
	quer	1	1	3	3	4	2

Tabelle 3: Übersicht der Ergebnisse in Längs- und Querrichtung

2.6 Verbindungskräfte von gefügten Schlauchmembranen

Auf Grund der Fertigungsverfahren ist eine Konfektion der endlos aufgewickelten Elastomer-Bahnen erforderlich. Hierzu werden die Elastomer-Bahnen (wie oben beschrieben) abgelängt, einseitig im Randbereich aufgetrennt, zur erforderlichen Breite der Schlauchmembran zusammengesetzt und neu vulkanisiert. Die Verbindungskraft dieser Fugestellen wurde im Zugversuch in Anlehnung an DIN EN ISO 283-1 [17] mit dem Probekörper A geprüft (s. Bild 3). Die Probekörper wurden rechtwinklig zur Verbindungsnaht herausgestanzt. Diese Versuchsdurchführung kann auch für die Bewertung von Reparaturmaterialien herangezogen werden. Bild 11 zeigt exemplarisch das Kraft-Verlängerungs-Diagramm und das Bruchbild einer zerstörten Probe aus CR. Ferner findet sich in Bild 11 die Gegenüberstellung der Prüfwerte "gefügter" und "ungefügter" Bereich. Die hergestellten Verbindungen erreichen mindestens 50 % der Bruchfestigkeiten der ungefügten Bereiche.

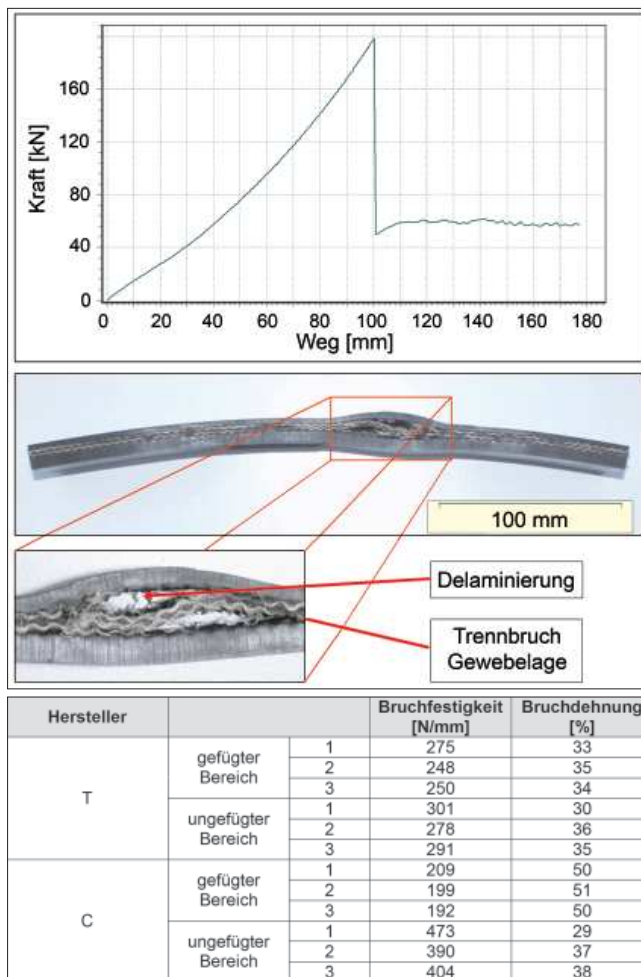


Bild 11: Kraft-Verlängerungs-Diagramm, Zugversuch Verbindungsprüfung

3 Lang- und Kurzzeitversuche

Statische Prüfverfahren basieren auf der Analyse des Werkstoffverhaltens nach einer sprunghaften Änderung der mechanischen Beanspruchung. Für die Abschätzung der Lebensdauer von Schlauchmembranen sind dagegen auch Werkstoffinformationen zum Verhalten unter Langzeiteinwirkung bei ruhender Beanspruchung erforderlich. Das Zeitstandverhalten von Elastomeren und Thermoplasten wird gekennzeichnet durch Retardation und Relaxation. Unter Relaxation versteht man die Abnahme der Spannung bei konstanter Verformung. Dagegen versteht man unter Retardation, auch Kriechen oder Nachfließen genannt, die Zunahme der Verformung bei einer konstanten Spannung. Anders als energieelastische Körper aus Metall, wo Verformungen durch das Hooksche Gesetz beschrieben werden, verhalten sich thermoplastische Kunststoffe viskoelastisch und Elastomere entropieelastisch. Dabei beruht dieses Verhalten auf einer molekularen Relaxation und wird durch verschiedene Modelle, wie z. B. das Maxwell-Modell, Reihenschaltung von Feder (Hook) und Dämpfungsglied (Newton), beschrieben [28]. Als Langzeitversuch zur Retardation wurde ein Bauteilversuch unter Zugbeanspruchung mit dem aus Bild 12 ersichtlichen Versuchsaufbau "Großer Versuchstand" gewählt. Es wurde eine dreilagige Schlauchmembran des Herstellers R mit dem aus Tabelle 1 ersichtlichen Querschnitt eingesetzt. Die beiden Hydraulikzylinder (max. Druck jeweils 700 bar) wurden so gewählt, dass die in einem Bauwerk mit einer Stauhöhe von 3 m zu erwartende Zugkraft auf die Elastomer-Bahn mit ausreichender Sicherheit aufgebracht werden kann. Die Verankerung der Elastomer-Bahn mit dem Betonfundament erfolgte mit einer handelsüblichen Befestigungsschiene. Der Bolzenabstand entsprach den Angaben des Herstellers. Für die Befestigung mit der Zugtraverse wurden zur spannungshaltenden Klemmung Tellerfedern verwendet. Der Versuch sollte zeigen, ob ein zeitabhängiges Kriechverhalten des Verbundwerkstoffes zu erwarten ist.

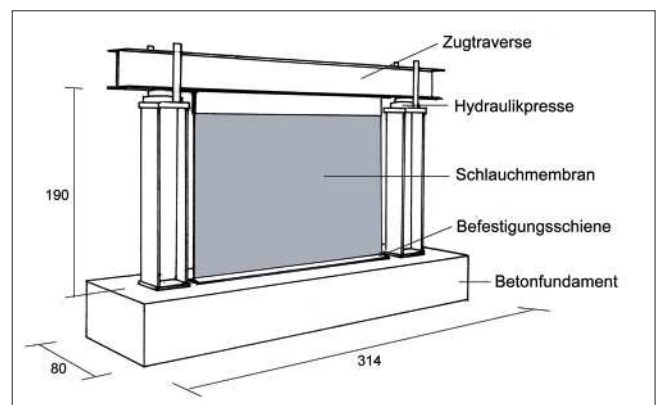


Bild 12: Langzeitversuch Skizze "Großer Versuchstand"

Aus applikationstechnischen Gründen konnten zum Messen keine Dehnungsmessstreifen eingesetzt werden. Daher wurde ein Messprinzip gewählt, das direkt auf die Oberfläche der Schlauchmembran aufgebrachte Markierungen nutzt. Auf der Gummioberfläche wurden die aus Bild 13 ersichtlichen Messfelder mit einem Silberstift angezeichnet. Vor die Schlauchmembran wurde ein in x- und y-Richtung bewegliches digitales Kamerasystem installiert. Das Kamerasystem konnte über eine Steuereinheit alle neun Messfelder einzeln anfahren. Mit einer Bildanalyse-Software wurden die einzelnen Messfotos dann später zur Dehnungsmessung ausgewertet. Aus Bild 14 ist die Auswertung für einen Zeitraum von 1198 Tagen zu sehen. Bei den einzelnen Messfeldern konnte keine signifikante Änderung festgestellt werden. Unter den gewählten Randbedingungen ist daher eine nennenswerte Retardation der Schlauchmembran nicht zu erwarten.



Bild 13: Großer Versuchstand Langzeitversuch mit Messfeld

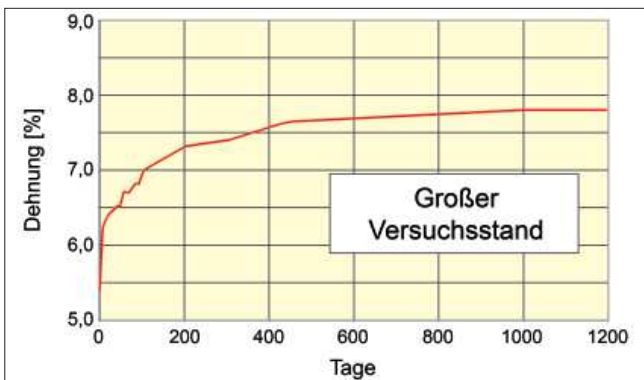


Bild 14: Großer Versuchstand Langzeitversuch, Auswertung und Diagramm

Um den Einfluss der einzelnen Gewebelagen bei den Kriechvorgängen abschätzen zu können, wurde zusätzlich aus der Rückstellprobe der in dem großen Versuchstand eingebauten Schlauchmembran eine 10 cm breite Gewebelage durch gleichmäßiges Abspalten nach [2] gewonnen. Für die Langzeituntersuchung die-

ser einzelnen Gewebeeinlage wurde der aus Bild 15 ersichtliche "Kleine Versuchsstand" konstruiert.



Bild 15: Kleiner Versuchsstand Langzeitversuch mit Probe und Messmarkierungen

Die 10 cm breite Gewebeprobe aus PA wurde, in Anlehnung an die umgerechnete Zugkraft des Langzeitversuchsstandes, mit einem freihängenden Gewicht von 265 kg auf Zug belastet. Untersucht wurde die Verlängerung der Gewebeprobe bei konstanter Zugkraft. Um den temperaturbedingten Einfluss während der beiden Langzeitversuche abschätzen zu können, wurde die Längenausdehnung nach DIN 53752 Verfahren A [18] einer einzelnen Gewebelage exemplarisch untersucht. Der thermische Längenausdehnungskoeffizient α oder lineare Wärmedehnzahl beschreibt, um wie viel sich die Länge eines Körpers verändert, wenn die Temperatur um 1 K erhöht wird. Über ein Sommer/Winter-Halbjahr schwankten die Temperaturen im Bereich des Versuchstandes um 5,2 °C. An einer einzelnen Gewebelage wurde nach [18] ein Längenausdehnungskoeffizient von $\alpha = 319 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ bestimmt. Damit beträgt beispielsweise die Wärmeausdehnung für die größte gemessene Temperaturdifferenz bei einer Ausgangslänge des Messfeldes von 52 mm:

$$\begin{aligned} \Delta l &= l_0 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 52 \text{ mm} \times 319 \times 10^{-6} \text{ 1/K} \times 5,2 \text{ K} = 0,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

Der Temperatureinfluss ist bei der Bewertung der Kriechvorgänge auf Grund der geringen Temperaturschwankung und der langen Versuchsdauer zu vernachlässigen.

Auf der gummierten Gewebeerfläche wurden Messmarkierungen angezeichnet. In bestimmten zeitlichen Abständen wurden die aus Bild 13 ersichtlichen Messmarkierungen digital fotografiert und mit der Software bildanalytisch vermessen. Aus Bild 16 ist die grafische Darstellung der Messwerte über einen Zeitraum von 838 Tagen zu sehen. Eine durch die Zugbelastung verursachte Längenänderung wurde nur in den ersten fünf Tagen gefunden. Danach konnten keine signifikanten Änderungen mehr und somit auch kein Kriechvorgang festgestellt werden.

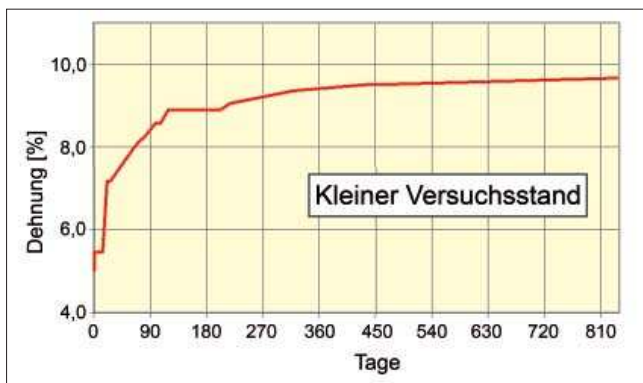


Bild 16: Kleiner Versuchsstand Langzeitversuch, Auswertung und Diagramm

4 Empfehlungen für zukünftige Bauprojekte

4.1. Werkstoffanforderungen an das Elastomer der Deckschicht

Die älteste dem Verfasser bekannte, noch im Einsatz befindliche Anwendung für ein Bauprodukt aus Elastomer im Bereich der WSV ist das Eidersperrwerk. Dort wurden bereits 1970 Elastomer-Fugenbänder aus Synthese-Kautschuk eingebaut. Die aufgesetzten Fugenbänder wurden hier seinerzeit, wie auch bei Schlauchmembranen, direkt der Bewitterung ausgesetzt. Auch nach mehr als 35 Jahren zeigen diese Fugenbänder keine Funktionsbeeinträchtigungen. Bei der Erstellung von Empfehlungen für die Werkstoffanforderungen an Schlauchmembranwerkstoffe wurden die Erfahrungen in der WSV mit Elastomer-Anwendungen und deren Regelwerke mit Materialanforderungen berücksichtigt. Für die Beschreibung der aus Tabelle 4 ersichtlichen Anforderungen an die Elastomer-Deckschichten der Schlauchmembrane wurden u. a. die Anforderungen und Prüfverfahren der folgenden Regelwerke herangezogen:

- E DIN 7865-2, Elastomer-Fugenbänder zur Abdichtung von Fugen in Beton [19],
- DIN 19 704-2, Stahlwasserbauten - Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung [20],
- DIN EN 1337-3, Lager im Bauwesen - Teil 3: Elastomerlager [21].

Die in Tabelle 4 genannten Anforderungen gelten für jeden Einzelwert einer Prüferie. Auch im Hinblick auf den zu erwartenden Klimawechsel und unter Berücksichtigung der Zunahme der Ozonkonzentrationen sollten für die äußere Deckschicht der Schlauchmembran nur Elastomere verwendet werden, die schon als Polymer eine gute Beständigkeit gegenüber einem Witterungs- und Ozonangriff aufzeigen. Daneben ist auch ein gutes mechanisches Eigenschaftsniveau erforderlich. Daher sind für die äußere Deckschicht Elastomere aus EPDM oder CR zu empfehlen.

4.2. Hinweise für Bauprojekte

Für die äußere Elastomer-Deckschicht sollten in der Regel nur die Spezialkautschuke EPDM oder CR verwendet werden. Wenn andere Polymere oder Polymerverschnitte angeboten werden, sollte hierzu eine Stellungnahme der BAW eingeholt werden. Bei der Festlegung der Anzahl der Festigkeitsträger sollte bereits bei der Baubeschreibung berücksichtigt werden, dass ein vollständiges Ablegen der Schlauchmembran aus geometrischen Gründen in den meisten Fällen nicht mit mehr als zwei Gewebelagen erreicht werden kann. Eine einzelne Gewebelage ist aus Sicherheitsgründen im Hinblick auf möglichen Vandalismus nicht sinnvoll.

Eine wichtige Kenngröße bezüglich der Dauerhaftigkeit ist, wie die Dauer-Knickversuche [6] gezeigt haben, die Trennfestigkeit zwischen Elastomer und Gewebe. Bezüglich der Formulierung einer Anforderung an die Trennkraft der einzelnen Gewebelagen gibt es aber in der WSV zurzeit noch keine ausreichenden Erfahrungswerte. Daher sollte vom Bieter hierzu bei der Angebotsabgabe eine Angabe nach DIN EN ISO 252-1 [23] für die Längs- und Querrichtung gemacht werden, die dann bei der technischen Wertung der Angebote berücksichtigt wird. Mindestens sollte jedoch in Anlehnung an die DIN 22109-2, Anforderungen für Fördergurte mit zwei Einlagen [27], ein Trennwiderstand von 4,5 N/mm als Mittelwert erfüllt werden.

Da mit dem Dauer-Knick Versuch nach de Mattia [6] auch ein Zusammenhang hinsichtlich der maximal möglichen Lastzahl und der Anzahl der Gewebelagen ein Zusammenhang festgestellt wurde, sind als Kompromiss zwischen Sicherheit gegen Vandalismus und Knickbeständigkeit zweilagige Schlauchmembrane für zukünftige Anlagen der WSV zu empfehlen.

Eigenschaften	Prüfung nach	Anforderung an Einzelwerte
Shore-A-Härte	DIN 53505	Herstellerangabe ± 5
Reißfestigkeit	DIN 53504 (Normstab S2)	≥ 15 MPa
Reißdehnung	DIN 53504 (Normstab S2)	≥ 300 %
Druckverformungsrest 168h/23°C 24h/70°C	DIN ISO 815 (Probekörper Typ B)	≤ 20 % ≤ 25 %
Weiterreißwiderstand	DIN ISO 34-1 Methode A, Streifenprobekörper	≥ 8 kN/m
Wärmealterung 7d/70°C Shore-A-Härte-Änderung Reißfestigkeit Reißdehnung	DIN 53508 DIN 53505 DIN 53504 (Normstab S2) DIN 53504 (Normstab S2)	$\leq +8$ ≥ 10 MPA ≥ 300 %
Kälteverhalten 24h/-20°C Shore-A-Härte-Änderung	DIN 53505	≤ 35 Shore A
Verhalten nach Ozonalterung 48 h, 40° C, 50 pphm, 20 % Dehnung	DIN 53509 Verfahren A	Keine Risse
Zugverformungsrest 24h, 70°C, 100% Dehnung	DIN ISO 2285 (Streifenprobekörper, Messung bei RT, 30 min nach Entlastung)	≤ 20 %
Meerwasserbeständigkeit 28d/50C° Härteänderung Volumenänderung Reißfestigkeit Reißdehnung	DIN 86076 DIN 53505 DIN 53479 (Verfahren A, Normstab S2) DIN 53504 (Normstab S2) DIN 53504 (Normstab S2)	< 5 Shore A < 10 % ≥ 10 MPA ≥ 300 %
Abrieb	DIN ISO 4649	≤ 160 mm ³
Dichte	DIN 53479 (Verfahren A, Normstab S2)	Nennwert des Herstellers $\pm 0,02$ g/cm ³

Tabelle 4: Empfehlung für Werkstoffanforderungen an die Elastomer-Deckschicht

Zwischen den einzelnen Gewebelagen sollte eine Zwischenschicht von mindestens 1,5 mm vorhanden sein.

Als Faserrohstoffe der Festigkeitsträger sind Polyester und/oder Polyamid in Längs- und Querrichtung der Gewebe vom Auftragnehmer zu wählen.

Bei der Angebotsabgabe ist das Erfüllen der Material-

anforderungen durch entsprechende Prüfzeugnisse nachzuweisen. Da Elastomer-Bahnen in der Regel nicht in den für Schlauchmembranen erforderlichen Geometrien hergestellt werden können, ist das Konfektionieren durch Verbindungsprüfungen in Anlehnung an DIN EN ISO 283 [6] nachzuweisen. Bei der Angebotsabgabe sollte vom Bieter hierzu ein Musterstück vorgelegt werden.

Die Gesamtdicke der Schlauchmembran sollte an allen Messstellen mindestens 11 mm betragen. Zur Überprüfung der Dicke kann eine Messuhr nach [26] (Messflächendurchmesser 20 mm und 1 N Messkraft) oder eine bildanalytische Messung herangezogen werden. In Abhängigkeit der erforderlichen Stauhöhe sollte eine Nenn-Bruchfestigkeit der Schlauchmembran in der Baubeschreibung vorgegeben werden.

Die hinsichtlich Abrieb und Migration durchgeführten Werkstoffuntersuchungen haben gezeigt, dass eine Emission von Inhaltstoffen aus der Elastomer-Deckschicht nicht auszuschließen ist. An technischen Gummierzeugnissen, Fördergurtdeckplatten und PKW-Reifen wurden in der Vergangenheit Untersuchungen zur ökologischen Belastung der Umwelt durchgeführt [24]. Das Eluat von verschiedenen Mischungen wurde hier auf Fischtoxizität untersucht, und es wurde ein Zusammenhang bezüglich der verwendeten Rezepturbestandteile und der Fischtoxizität festgestellt. Elastomere werden aber auch ökologisch unbedenklich in der Medizintechnik, in der Nahrungsmittelindustrie oder als Trinkwasserdichtungen eingesetzt. Hieraus wird deutlich, dass den Ausgangsstoffen und dem Rezepturaufbau der Deckschichten eine besondere Bedeutung bei Schlauchmembranen zukommt. Mit der Angebotsabgabe sollten vom Bieter auch Sicherheitsdatenblätter nach 91/155/EWG bzw. ISO 11014-1 [25] vorgelegt werden. Aus den Angaben zur Ökologie in Abschnitt 12 der Sicherheitsdatenblätter muss ersichtlich sein, dass keine Auswirkungen auf die Umwelt zu erwarten sind.

5 Baubegleitende Qualitätssicherung

Der baubegleitenden Qualitätssicherung des Auftraggebers WSV kommt eine besondere Bedeutung für die Erstellung dauerhafter Schlauchwehnanlagen zu. Unmittelbar nach Produktionsbeginn sollte daher eine Einsicht in die Unterlagen der werkseigenen Produktionskontrolle (WPK) erfolgen. Der Prüfumfang der nach den Grundsätzen der DIN 18200 [22] durchzuführenden WPK sollte bei Produktionsbeginn alle aus Tabelle 4 ersichtlichen Materialanforderungen an die Elastomer-Deckschicht umfassen. Ferner sollte die Gesamtdicke und die Bruchfestigkeit der Schlauchmembran geprüft werden. Die Proben für die stichprobenartige Kontrollprüfungen sollten direkt im Herstellwerk durch einen Vertreter des Auftraggebers im Beisein eines Vertreters des Auftragnehmers entnommen werden. Über die Probenahme sollte zur Gegenzeichnung vom Auftragnehmer eine Niederschrift angefertigt werden. Im Falle einer Produktionsunterbrechung sollte eine erneute Kontrollprüfung erfolgen. Der Auftragnehmer sollte die für die Kontrollprüfung entstandenen Kosten der WSV tragen, wenn die Kontrollprüfungen die Nichteignung der hergestellten Schlauchmembran und/oder der hergestellten Verbindungen ergeben.

Grundsätzlich sollten im Bereich der WSV nur Baustoffe und Bauprodukte verwendet werden, deren Brauchbarkeit nachgewiesen ist und auch entsprechend in der jeweils aktuellen Bauregelliste aufgeführt sind und/oder Übereinstimmungsnachweise nach DIN 18200 [22] tragen. Für Schlauchmembrane gibt es aber zurzeit noch keine entsprechenden nationalen oder internationalen Regelungen. Daher sollte im Sinne einer Abnahmeprüfung des Auftraggebers einem Einbau der Schlauchmembran nur zugestimmt werden, wenn die aus Tabelle 4 ersichtlichen Materialanforderungen und auch die projektbezogenen Forderungen im Rahmen der WPK bei Produktionsbeginn nachgewiesen und durch die Kontrollprüfung bestätigt worden sind. Der Umfang der Kontrollprüfungen sollte vom Auftraggeber WSV projektbezogen festgelegt werden.

6 Literatur

- [1] Maisner, M.; Gebhardt, M.; Gabrys, M.: Schlauchwehre aus Elastomer-Bahnen für den Verkehrswasserbau, KGK - Kautschuk Gummi Kunststoffe, 12/2003
- [2] DIN ISO 4661-1, Elastomere – Herstellung von Proben und Probekörpern – Teil 1: Physikalische Prüfungen, Ausgabe 1995-08
- [3] Wasserkraft – der emissionsfreie Stromlieferant, ContiTech initiativ, Ausgabe 03/2006
- [4] DIN ISO 1629 Kautschuk und Latices – Einteilung, Kurzzeichen, Ausgabe 2004-11
- [5] DIN ISO 2076 Textilien – Chemiefasern – Gattungsnamen und Kurzzeichen, 2001-05
- [6] DIN ISO 132 Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung von Rissbildung und Risswachstum bei Dauer-Knickbeanspruchung (De Mattia), Ausgabe 2004-05
- [7] DIN 53479 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung der Dichte, 1976-07
- [8] DIN 53504 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren; Bestimmung von Reißfestigkeit, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Spannungswerten im Zugversuch, 1994-05
- [9] DIN 53505 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren – Härteprüfung nach Shore A und Shore D, 2000-08
- [10] DIN ISO 34-1 Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung des Weiterreißwiderstandes – Teil 1: Streifen-, winkel- und bogenförmige Probekörper, 2004-07

- [11] DIN 53509-1 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren – Bestimmung der Beständigkeit gegen Rissbildung unter Ozonwirkung – Teil 1: Statische Beanspruchung, 2001-01
- [12] DIN ISO 815 Elastomere – Bestimmung des Druckverformungsrestes bei Umgebungs-, erhöhten oder niedrigen Temperaturen, 2000-03
- [13] DIN ISO 2285 Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung des Zugverformungsrestes unter konstanter Dehnung und des Zugverformungsrestes, der Dehnung und des Fließens unter konstanter Zugbelastung, 2003-07
- [14] DIN ISO 4649 Elastomere – Bestimmung des Abriebwiderstandes mit einem Gerät mit rotierender Zylindertrommel, 2006-11
- [15] DIN 53508 Prüfung von Kautschuk und Elastomeren – Künstliche Alterung, 2000-03
- [16] DIN 86076 Elastomer-Dichtungsplatten – meerwasserbeständig, ölbeständig, Maße, Anforderungen, Prüfung, 1988-04
- [17] DIN EN ISO 283-1 Textilfördergurte – Zugversuch bei voller Gurtdicke – Teil 1: Bestimmung der Bruchfestigkeit, Bruchdehnung und der Dehnung bei Bezugskraft, 2001-01
- [18] DIN 53752 Prüfung von Kunststoffen; Bestimmung des thermischen Längenausdehnungskoeffizienten, Ausgabe 1980-12
- [19] E DIN 7865-2, Elastomer-Fugenbänder zur Abdichtung in Beton – Teil 2: Werkstoff-Anforderungen und Prüfung, 2006-06
- [20] DIN 19 704-2, Stahlwasserbauten – Teil 2: Bau-liche Durchbildung und Herstellung, 1998-05
- [21] DIN EN 1337-3, Lager im Bauwesen – Teil 3: Elastomerlager; 2005-07
- [22] DIN 18200, Übereinstimmungsnachweis für Bauprodukte – Werkseigene Produktionskontrolle, Fremdüberwachung und Zertifizierung von Produkten, 2000-05
- [23] DIN EN ISO 252-1, Textilfördergurte – Haftfestigkeit zwischen den Bestandteilen – Teil 1: Prüfverfahren, 1999-10
- [24] R. Büttner, S. Rakus, E. Träger, Untersuchungen zur ökologischen Belastung der Umwelt durch technische Gummierzeugnisse, GAK, 7/2000
- [25] ISO 11014-1, Sicherheitsdatenblatt für chemische Produkte – Teil 1: Inhalt und Gliederung, 1994-03
- [26] DIN 878, Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Mechanische Messuhren – Grenzwerte für messtechnische Merkmale, 2006-06
- [27] DIN 22109-2, Textil-Fördergurte für den Steinkohlenbergbau – Teil 2: Gummi-Fördergurte mit zwei Einlagen für unter Tage; Maße, Anforderungen, 2000-07
- [28] Elias, H.-G., Makromoleküle, Seite 918 bis 945, Band 1, Hüthig und Wepf, Basel Heidelberg New York, 1990

