

Elastische Vielfalt – Mit diesen Prüfverfahren erkennt man die entscheidenden Unterschiede

Autoren: Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner
Dipl.-Ing. Bernhard Richter
Stand der Information: **06/2024**

Die Standardprüfungen, wie z.B. Härte, Zugversuch, Druckverformungsrest u.ä. lassen sich an Normprobekörpern aus Prüfplatten von allen elastomeren Dichtungswerkstoffen durchführen. Manche Dichtungswerkstoffe haben aber Besonderheiten im Polymer oder der Mischung, die nur für sie charakteristisch sind. Meist gibt es dann zwei oder mehr Variationen dieses Parameters (*Spalten „Parameter“ und „Eigenschaft des Parameters“*) und dadurch entstehende Sondereigenschaften (*Spalte „Effekt des Parameters“*) des Werkstoffs.

Inhalt

NBR und NBR/PVC	Acrylnitril (ACN)-Gehalt, Weichmachergehalt, Ozonschutzmittel, Vernetzungssystem, PVC-Gehalt bei NBR/PVC-Blends	S. 2-3
HNBR	Hydrierung, kristalliner oder amorpher Polymertyp, ACN-Gehalt	S. 4
EPDM	Vernetzungssystem, Ethylengehalt im Polymer, Dienegehalt im Polymer, Weichmachergehalt	S. 5-6
FKM	Vernetzungssystem, Fluorgehalt	S. 7
VMQ	Hitzestabilisator, ausreichende Temperung nach Verarbeitung, Polymerblend, Calciumcarbonat gefüllte Mischung	S. 8-9
PU (AU oder EU) und TPE-U	Vorherrschende Polyolart im Polymer Temperung nach Verarbeitung	S. 10

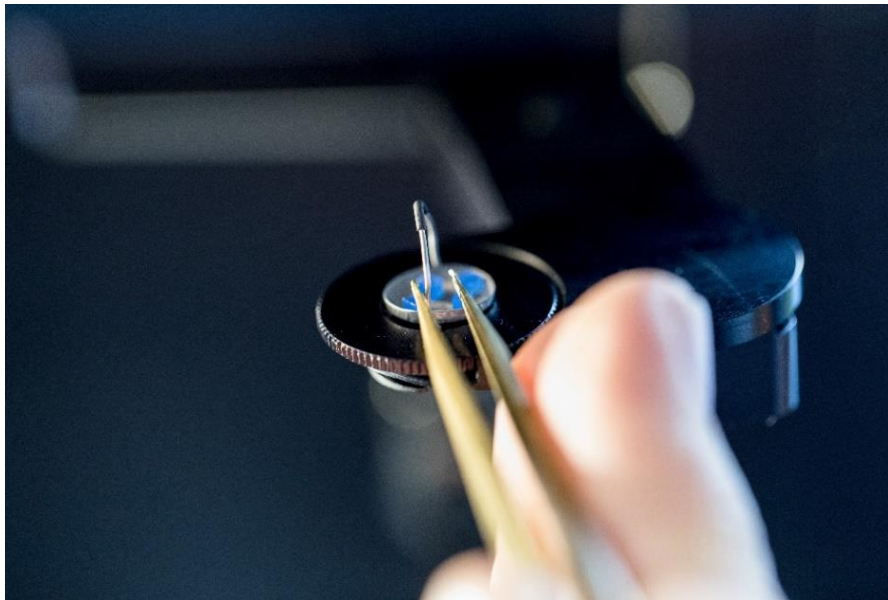
Hinweis für den Anwender:

Über die Spalte Werkstoff können Sie mit jeder Zeile neu in der Tabelle einsteigen. Sie ist so aufgebaut, dass Sie das Wissen aus vorhergehenden Zeilen nicht benötigen, da alles in der jeweiligen Zeile nochmal erklärt wird.

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
NBR	ACN-Gehalt	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Geringe Kälteflexibilität • Gute Öl- und Kohlenwasserstoff-Beständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DSC (Differential Scanning Calorimetry – Bestimmung der Glasübergangstemperatur) ➤ TR 10 –Test (ASTM D 1329/ ISO 2921 Test zur Ermittlung der Kälteflexibilität) ➤ Einlagerungsversuche (zur Bestimmung der Öl- und Kohlenwasserstoff-Beständigkeit)
		niedrig	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Kälteflexibilität • Geringe Öl- und Kohlenwasserstoff-Beständigkeit 	
NBR	Weichmachergehalt	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Starker Schwund in Öl auf Paraffinbasis 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ IRM 901-Prüfung (IRM 901 ist ein paraffinisches Öl, das den Weichmacher aus dem Compound löst.) ➤ TGA (Thermogravimetrische Analyse = Bestimmung der Mischungsbestandteile, u.a. auch des Weichmacheranteiles) ➤ GC-MS (Aufklärung des eingesetzten Weichmachers bzw. der Weichmacherguppe)
NBR	Einsatz von Ozonschutzmitteln (Wachse oder PVC-Anteil)	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Verzögerte Rissbildung (Ozonrisse treten in geringerem Umfang auf, wenn die Dichtung verspannt der Umgebungsluft ausgesetzt ist.) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ozonprüfung (Nach Einlagerung in Ozon wird die Schädigung anhand von Referenzbildern bewertet, siehe ISO 1431, DIN 53509) ➤ TGA (Thermogravimetrische Analyse = Bestimmung der Mischungsbestandteile, u.a. auch als PVC-Nachweis eingesetzt (Chlorabspaltung) Durch einen PVC-Anteil im Compound kann der Ozonschutz verbessert werden.) ➤ GC-MS (Nachweis der Art der Ozonschutzmittel meist möglich)
NBR	Vernetzungssystem	Schwefel	<ul style="list-style-type: none"> • Standardvernetzung 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DVR (= Druckverformungsrestprüfung, gibt einen indirekten Hinweis über die Vernetzung)
		Peroxid	<ul style="list-style-type: none"> • Besserer DVR 	

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
NBR / PVC-Blends	PVC-Gehalt	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserte Kohlenwasserstoffbeständigkeit • Geringere Kälteflexibilität • Schlechtere Langzeit-Dichtungswirkung (Setzverhalten) • Verbesserte Ozonbeständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ TGA (Thermogravimetrische Analyse = Bestimmung der Mischungsbestandteile, u.a auch als PVC-Nachweis (Chlorabspaltung) eingesetzt) ➤ DVR (= Druckverformungsrestprüfung, gibt eine Aussage über das Setzverhalten bei Langzeit- und/oder Hochtemperaturbelastung) ➤ Einlagerungsversuche in stark quellenden Medien (z.B. IRM 903)

Abb.1: Für Materialanalysen mit Hilfe einer TGA genügen bereits kleinste Materialproben: Bei NBR können so die Weichmacheranteile bestimmt werden (Bild: Tobias Ehmer)



Weiterführende Informationen zu den unter NBR genannten Prüfmethoden:

- DSC (Differential Scanning Calorimetry): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- DVR-Prüfung (Druckverformungsrestprüfung) (siehe **Abb. 3**): [mehr \(Kurzinfor\)](#) / [mehr \(Langversion\)](#) / [Kurzvideo](#)
- Einlagerungsversuche: [Kurzvideo](#)
- Heißluftalterung: [mehr \(allgemein\)](#) / [mehr \(zur historischen Entwicklung des Verfahrens\)](#) / [Kurzvideo](#)
- GC-MS (Gaschromatographie mit Massenspektrometer) Analyse: [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- TGA (Thermogravimetrische Analyse) (siehe **Abb. 1**): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- TR10-Test (Prüfung des Kälteverhaltens): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- Ozonprüfung (siehe **Abb. 2**): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
HNBR	Hydrierung	teilhydriert	<ul style="list-style-type: none"> Mäßige Heißluft- und Ozonbeständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> Ozonprüfung (Nach Einlagerung in Ozon wird die Schädigung anhand von Referenzbildern bewertet.) Heißluftalterung (Härteänderung nach Einlagerung in Heißluft)
		vollhydriert	<ul style="list-style-type: none"> Verbesserte Heißluft- und Ozonbeständigkeit 	
HNBR	Kristalliner oder amorpher Polymertyp	kristallin	<ul style="list-style-type: none"> Schlechtes Kälteverhalten trotz guten DSC-Wertes 	<ul style="list-style-type: none"> Druckverformungsrest bei -15°C durchführen
HNBR	ACN-Gehalt	hoch	<ul style="list-style-type: none"> Geringe Kälteflexibilität Gute Öl- und Kohlenwasserstoff-Beständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> DSC (Differential Scanning Calorimetry – Bestimmung der Glasübergangstemperatur) TR 10 –Test (ASTM D 1329/ ISO 2921 Test zur Ermittlung der Kälteflexibilität) Einlagerungsversuche (zur Bestimmung der Öl- und Kohlenwasserstoff-Beständigkeit)
		niedrig	<ul style="list-style-type: none"> Gute Kälteflexibilität Geringe Öl- und Kohlenwasserstoff-Beständigkeit 	



Abb. 2: Einsetzen eines Probekörpers in einen Ozonprüfschrank: Nicht jeder HNBR hat eine gute Ozonbeständigkeit (Bild: Tobias Ehmer)

Weiterführende Informationen zu den unter HNBR genannten Prüfmethoden:

- DSC (Differential Scanning Calorimetry) (siehe **Abb. 4**): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- DVR-Prüfung (Druckverformungsrestprüfung) (siehe **Abb. 3**): [mehr \(Kurzinfor\)](#) / [mehr \(Langversion\)](#) / [Kurzvideo](#)
- Einlagerungsversuche: [Kurzvideo](#)
- Heißluftalterung: [mehr \(allgemein\)](#) / [mehr \(zur historischen Entwicklung des Verfahrens\)](#) / [Kurzvideo](#)
- TR10-Test (Prüfung des Kälteverhaltens): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- Ozonprüfung (siehe **Abb. 2**): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
EPDM	Vernetzungssystem	Schwefel	<ul style="list-style-type: none"> • Schlechter DVR bei 24h / 150°C • Relativ hohe Reißdehnung • Besserer Weiterreißwiderstand 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DVR (= Druckverformungsrestprüfung 24h bei 150°C: Schwefelvernetzte Mischungen liegen hier bei einem DVR >50% auch nach idealer Vulkanisation.) ➤ Zugversuch (zur Ermittlung der Reißdehnung) ➤ Weiterreißwiderstand (Eine Elastomerprobe wird unter definierten Bedingungen eingerissen und der Widerstand, den sie dagegen aufbringt gemessen.)
		Peroxid	<ul style="list-style-type: none"> • Guter DVR bei 24h / 150°C • Schlechterer Weiterreißwiderstand 	
EPDM	Ethylengehalt im Polymer	hoch (d.h. >60 – 65%)	<ul style="list-style-type: none"> • Hohe Festigkeit • Schlechte Kälteflexibilität • Guter Weiterreißwiderstand 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ TR 10 –Test (ASTM D 1329/ ISO 2921 Test zur Ermittlung der Kälteflexibilität) ➤ DVR bei tiefen Temperaturen (Der Druckverformungsrest bei tiefen Temperaturen ermittelt die Rückfederung eines verpressten Werkstoffes in der Kälte.) ➤ Vergleich DVR, Entspannungsmethoden A+B (nach ISO 815) (Mit der Methode B erhält man bedeutend schlechtere Werte als mit Methode A, da das Polymer bei Raumtemperatur schon teilweise eingefroren ist.)
EPDM	Dienegehalt im Polymer	hoch (d.h. >6%)	<ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Alterungsbeständigkeit • Schlechter Langzeit-DVR 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Heißluftalterung (Nach Einlagerung in Heißluft werden die Probekörper mechanischen Prüfungen unterzogen. Die Ergebnisse werden mit dem Ausgangszustand verglichen.) Schon nach 70h bei 150°C können sich erhebliche Unterschiede zeigen. ➤ Langzeit-DVR (Druckverformungsrestprüfung über einen Zeitraum von mindestens 168h/150°C bei Compounds mit peroxidischer Vernetzung)
EPDM	Weichmachergehalt	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Alterungsbeständigkeit • Schwund in Silikonöl, Aceton, Bremsflüssigkeit oder Wasser 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Volumenänderung nach Heißluftalterung (70h bei 150°C) ➤ TGA (Thermogravimetrische Analyse = Bestimmung der Mischungsbestandteile) Es zeigt

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
			<ul style="list-style-type: none"> • Schwund in Heißluft (in Abhängigkeit des Weichmachertyps) 	<p>sich hoher Anteil flüchtiger Bestandteile, geringer Anteil pyrolysierbarer Bestandteile.</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Negative Volumenänderung (=Schrumpfung) nach Lagerung in Silikonöl, Aceton, Bremsflüssigkeit oder Wasser ➤ GC-MS (Aufklärung des eingesetzten Weichmachers bzw. der Weichmachergruppe)

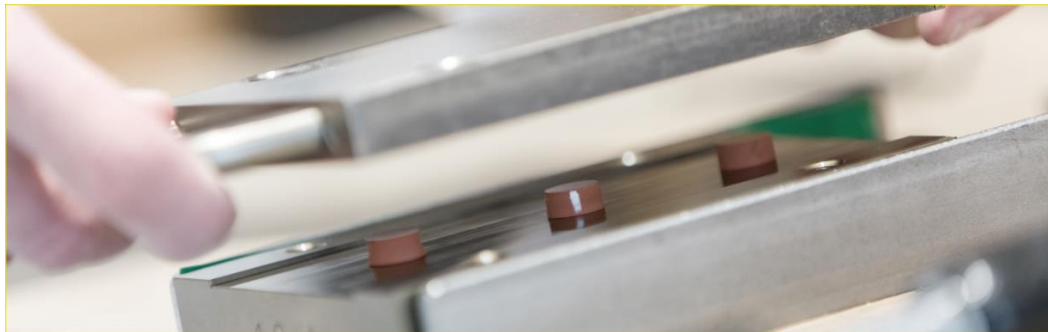


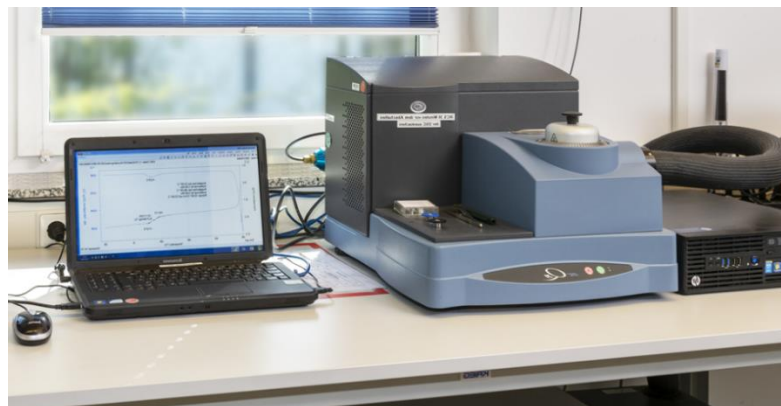
Abb. 3: Die Druckverformungsrestprüfung wird bei EPDM häufig eingesetzt, um das Vernetzungssystem zu ermitteln: Genormte Testknöpfe in der Prüfvorrichtung, kurz vor der Verpressung und Einlagerung im Heißluftofen (Bild: Tobias Ehmer)

Weiterführende Informationen zu den unter EPDM genannten Prüfmethoden:

- DSC (Differential Scanning Calorimetry): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- DVR-Prüfung (Druckverformungsrestprüfung): [mehr \(Kurzinfo\)](#) / [mehr \(Langversion\)](#) / [Kurzvideo](#)
- Einlagerungsversuche: [Kurzvideo](#)
- GC-MS (Gaschromatographie mit Massenspektrometer) Analyse: [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- Heißluftalterung: [mehr \(allgemein\)](#) / [mehr \(zur historischen Entwicklung des Verfahrens\)](#) / [Kurzvideo](#)
- TGA (Thermogravimetrische Analyse) (siehe **Abb. 1**): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- TR10-Test (Prüfung des Kälteverhaltens): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- Ozonprüfung (siehe **Abb. 2**): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- Zugversuch: [mehr \(Kurzinfo\)](#) / [mehr \(Langversion\)](#) / [mehr \(an O-Ringen\)](#) / [Kurzvideo](#)

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
FKM	Vernetzungssystem	Bisphenol	<ul style="list-style-type: none"> Guter DVR Höhere Sicherheit bei der Verarbeitung Schlechtere Beständigkeit gegen Heißwasser & hochadditivierte Öle 	<ul style="list-style-type: none"> DVR in Heißwasser (= Druckverformungsrestprüfung im Medium Heißwasser) Einlagerung in additivierten Ölen (Nach Einlagerung in heißen additivierten Ölen werden die Probekörper mechanischen Prüfungen unterzogen. Die Ergebnisse werden mit dem Ausgangszustand verglichen.)
		Peroxid	<ul style="list-style-type: none"> Bessere chem. Beständigkeit (z.B. gegen Heißwasser, hochadditivierte Öle, schwache organische Säuren) Hohe Zugfestigkeit 	
FKM	Fluorgehalt	niedrig	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige Glasübergangstemperatur Höhere Quellung in FAM B 	<ul style="list-style-type: none"> DSC (Differential Scanning Calorimetry – Bestimmung der Glasübergangstemperatur) TR 10-Test (ASTM D 1329/ ISO 2921 Test zur Ermittlung der Kälteflexibilität) Einlagerung in FAM B bzw. M15 (Einlagerung in FAM B bzw. M 15, das viele Elastomere stark quellen lässt ==> Reiner Quelltest genügt!)

Abb. 4: Der Glasübergangsbereich ist besonders bei FKM-Werkstoffen ein wichtiges Qualitätskriterium: Mit Hilfe eines DSC-Tischgerätes lässt sich dieser mit kleinsten Materialproben schnell und unkompliziert bestimmen (Bild: Johann Schrauf)

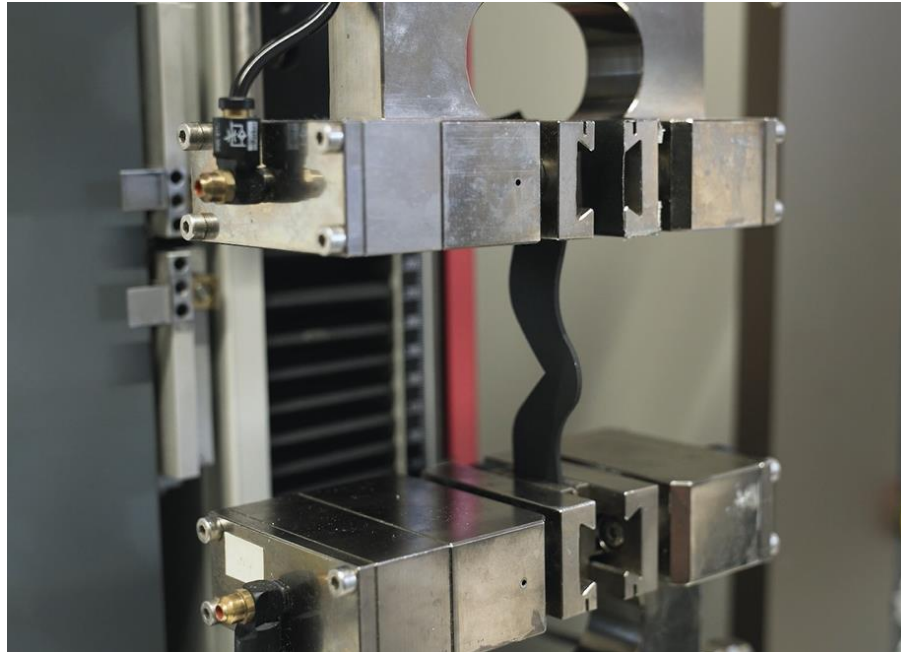


Weiterführende Informationen zu den unter FKM genannten Prüfmethoden:

- DSC (Differential Scanning Calorimetry) (siehe **Abb. 4**): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)
- DVR-Prüfung (Druckverformungsrestprüfung) (siehe **Abb. 3**): [mehr \(Kurzinfor\)](#) / [mehr \(Langversion\)](#) / [Kurzvideo](#)
- Einlagerungsversuche: [Kurzvideo](#)
- Heißluftalterung: [mehr \(allgemein\)](#) / [mehr \(zur historischen Entwicklung des Verfahrens\)](#) / [Kurzvideo](#)
- TR10-Test (Prüfung des Kälteverhaltens): [mehr](#) / [Kurzvideo](#)

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
VMQ	Hitzestabilisator	hoch	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr gute Hitzebeständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Heißluftalterung (Nach Einlagerung in Heißluft werden die Probekörper mechanischen Prüfungen unterzogen. Die Ergebnisse werden mit dem Ausgangszustand verglichen. ==> Übliche Einlagerungstemperaturen betragen 200-250°C.)
VMQ	Ausreichende Temperung nach Verarbeitung (4h/200°C)	durchgeführt	<ul style="list-style-type: none"> • Guter DVR 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DVR (= Druckverformungsrestprüfung 24h bei 150°C: Ausreichend getemperte (=nachvernetzte) Mischungen liegen hier bei einem DVR < 10-20%.)
		nicht durchgeführt	<ul style="list-style-type: none"> • Schlechterer DVR 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ DVR (= Druckverformungsrestprüfung 24h bei 150°C: Nicht ausreichend getemperte (=nachvernetzte) Mischungen liegen hier bei einem DVR > 30 - 40%.)
VMQ	Polymerblend	Polymer mit niedrigem Vinylgehalt gemischt mit kleinem Anteil Polymer mit hohem Vinylgehalt	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Guter Weiterreißwiderstand (,da Rissfortpflanzung durch unterschiedliche Polymerstruktur behindert wird) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Weiterreißwiderstand nach ISO 34-1 Meth. A Streifenprobe (Eine Elastomerprobe wird unter definierten Bedingungen eingerissen und der Widerstand, den sie dagegen aufbringt gemessen. Gute Werte für den Weiterreißwiderstand liegen hier bei Werten >10N/mm.)
VMQ	Calciumcarbonat gefüllte Mischung	Notwendige Menge um Weiterreißwiderstand zu verbessern	<ul style="list-style-type: none"> • Guter Weiterreißwiderstand (>10 N/mm nach ISO 34-1 Meth. A) (,da ungebundene Calciumcarbonatpartikel als Mittelpunkt der Energiedissipation wirken und Rissweiterleitung hindern) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Weiterreißwiderstand nach ISO 34-1 Meth. A Streifenprobe (Eine Elastomerprobe wird unter definierten Bedingungen eingerissen und der Widerstand, den sie dagegen aufbringt gemessen. Gute Werte für den Weiterreißwiderstand liegen hier bei Werten >10N/mm.)

Abb. 5: Der Weiterreißwiderstand ist bei VMQ meist relativ niedrig, weshalb ihm bei dieser Werkstoffklasse eine besondere Bedeutung zukommt

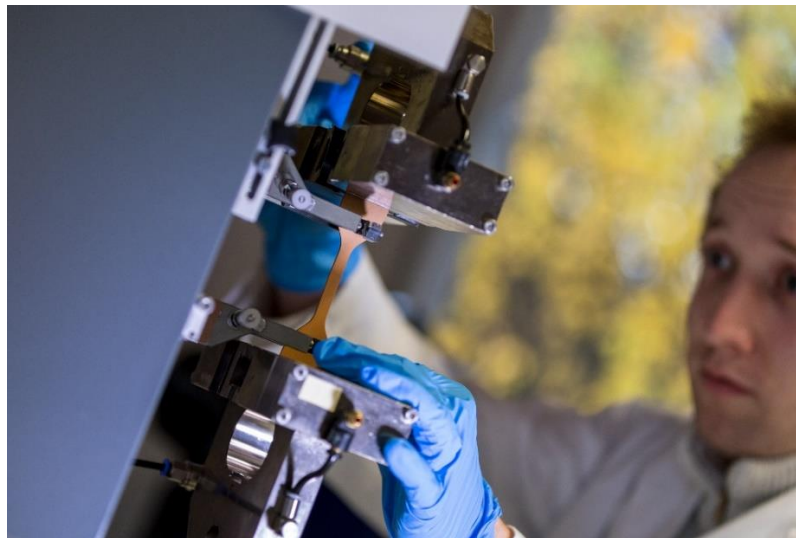


Weiterführende Informationen zu den unter VMQ genannten Prüfmethoden:

- DVR-Prüfung (Druckverformungsrestprüfung): [mehr \(Kurzinformatio\)](#) / [mehr \(Langversion\)](#) / [Kurzvideo](#)
- Heißluftalterung: [mehr \(allgemein\)](#) / [mehr \(zur historischen Entwicklung des Verfahrens\)](#) / [Kurzvideo](#)
- Weiterreißwiderstand: [Kurzvideo](#)

Werkstoff	Parameter	Eigenschaft des Parameters	Effekt des Parameters	Mögliche Prüfmethode
PU (Elastomer, kein TPE!)	Vorherrschende Polyolart im Polymer	Untertyp AU (Polyester-Urethan-Kautschuk)	<ul style="list-style-type: none"> • Schlechte Hydrolysebeständigkeit (=schlechte Heißwasserbeständigkeit) 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ FTIR-Spektroskopie (zerstörungsfreie Prüfung zur Ermittlung des Polymertyps, mit Hilfe eines Infrarotspektrums) ➤ Hydrolysetest (Nach Einlagerung in Heißwasser werden die Probekörper mechanischen Prüfungen unterzogen. Die Ergebnisse werden mit dem Ausgangszustand verglichen.)
		Untertyp EU (Polyether-Urethan-Kautschuk)	<ul style="list-style-type: none"> • Bessere Hydrolysebeständigkeit 	
TPE-U = Thermoplast. Elastomer	Temperung nach Verarbeitung	ausreichend durchgeführt	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Festigkeitswerte 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Zugversuch (Getemperte Werkstoffe haben in der Regel bis zu doppelt so hohe Festigkeitswerte wie ungetemperte.)

Abb. 6: Im Zugversuch kann herausgefunden werden, ob TPE-U Werkstoffe ausreichend nach der Verarbeitung getempert wurden. (Bild: Tobias Ehmer)



Weiterführende Informationen zu den unter PU / TPE-U genannten Prüfmethoden:

- FTIR-Spektroskopie: [mehr](#) / [Kurztvideo](#)
- Hydrolysetest / Prüfung der Medienbeständigkeit: [Kurztvideo](#)
- Zugversuch (siehe **Abb. 6**): [mehr \(Kurztinfo\)](#) / [mehr \(Langversion\)](#) / [mehr \(an O-Ringen\)](#) / [Kurztvideo](#)