# Trockenstaub-Filterpatronen nach Einsatz in Wasserstoff und Erdgas

Eine vergleichende Analyse des Einflusses von Wasserstoff im Vergleich zu Erdgas auf Filterkerzen

#### Stephanie van Ooijen

Wasserstoff, Wasserstoffbeständigkeit, Erdgas, Gasnetz, Filtration, Filterpatronen

Regelmäßige Nachfragen durch Erdgasversorger und Institute zeigten ein großes Bedürfnis nach Gewissheit über die H<sub>2</sub>-Beständigkeit von Filtrationsprodukten. Die theoretische Recherche brachte nicht die gewünschte Gewährleistung, so dass eine vergleichende Analyse von in der Praxis eingesetzten Filtern durchgeführt wurde.

# Practical research of filter cartridges after use in hydrogen and natural gas – A comparative analysis of the influence of hydrogen compared to natural gas on filter cartridges

Regular inquiries by natural gas providers and institutes revealed a great need for certainty about the  $H_2$  resistance of filtration products. Theoretical research and publications did not provide the desired guarantee, so a comparative analysis of filters used in the field for a longer period of time was performed.

#### 1. Einleitung

In den letzten 50 Jahren wurden, hauptsächlich in den USA, Materialbeständigkeit von Stählen, Dichtungsmaterialien und Kunststoffen in H<sub>2</sub> ausgiebig untersucht. Die Ergebnisse wurden seitdem in zahlreichen Publikationen veröffentlicht. Tests unter Einfluss einer Wasserstoff-Atmosphäre durchzuführen, wobei die mechanischen Eigenschaften vor und nach der Beaufschlagung mit Wasserstoff geprüft werden, sind sehr zeitaufwändig, da eine mögliche Beeinflussung sich nur nach langer Expositionsdauer bemerkbar machen lässt. Obwohl dieses Thema im Filtrationsbereich zunehmend an Bedeutung gewinnt, werden Angaben zur Wasserstoffverträglichkeit der einzelnen Materialien von den jeweiligen Herstellern kaum bestätigt oder nur unter großem Vorbehalt gemacht.

Die typische Wasserstoff-Problematik der überaus starken Diffusion durch bzw. in sämtlichen Materialien, ist

bei einer Filterpatrone kaum relevant. Sämtliche Dichtungsfunktionen beschränken sich auf den Rückhalt von Partikeln und nicht auf eine Gasdichtheit. Wasserstoff ist für Filterpatronen nicht unbedingt die größte Herausforderung; es gibt zusätzliche Faktoren, die Komplikationen verursachen können, wie z. B. Betriebstemperatur, Kombinationen mit reaktiven Substanzen oder Gasen wie Sauerstoff und pyrophore Stäube.

Um dies konkret belegen zu können, wurde eine Untersuchung durchgeführt. Hierzu wurden drei VoTech-Filterpatronen zur Prüfung zur Verfügung gestellt (**Bild 1**). Muster 1 ist im Neuzustand und wurde bisher für keine Filtrationszwecke genutzt. Muster 2 wurde ein Jahr in 100 % Wasserstoffgas (60 °C) mit starker Wolfram-Verunreinigung eingesetzt. Muster 3 wurde ein Jahr im trockenen Erdgas eingesetzt. Muster 3 unterscheidet sich im Aufbau durch einen zusätzlichen Außenstützkorb und die Metallqualität.

# 2. Prüfverfahren und Ergebnisse

Der Auftrag an die DTNW ÖP GmbH war vergleichend zu bewerten, ob es sichtbare Unterschiede zwischen einzelnen Bestandteilen der Filterpatronen nach Einsatz im Vergleich zum Neuzustand gibt. Zudem wurden die Bestandteile nach Nutzung von Muster 2 und 3 auf generelle Beschädigungen untersucht, die auf die Nutzung zurückzuführen sein können. Muster 3 weicht zwar leicht von Muster 1 und 2 ab, allerdings ist das Filtermaterial gleich.

Prüfverfahren:

- 1. Mikroskopie: Betrachtung bei unterschiedlicher Vergrößerung
- 2. REM: Rasterelektronenmikroskop
- 3. Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden (Filtermaterial) nach DIN EN ISO 13934-1, Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung mit dem Streifen-Zugversuch, Ausgabedatum: 2013-08.
- Normalklima: DIN EN ISO 139 (20 ± 2 °C, 65 ± 4% relative Luftfeuchte)
  - Streifenbreite: 50 mm (\*geschnitten parallel zur Faltung)
  - Zustand der Messproben: angeglichen
  - Einspannlänge: 200 mm
  - Prüfgeschwindigkeit (entlang Filterachse): 100 mm/min
  - Vorspannkraft: 5 N
  - Anzahl der Messproben: 5
  - Anzahl der verworfenen Messergebnisse: 0

# Probenkennzeichnung:

- Muster (Mst.) 1: Filterpatrone, bisher ohne Einsatz / Neuzustand
- Muster 2: Filterpatrone, 1 Jahr Einsatz in Wasserstoffgas
- Muster 3: Filterpatrone, 1 Jahr Einsatz in Erdgas

Die an den Mustern zu untersuchenden Bestandteile waren:

# Muster 1,2 & 3:

- Anströmrichtung von außen nach innen:
  - Filtermaterial (plissiert/gefaltet): 100% Polyestervlies, Anströmseite mit PTFE-Membran
  - Verbundmasse: Zweikomponenten Polyurethan.

# Muster 1 & 2:

- Endkappen: Edelstahlblech, austenitischer Edelstahl (Werkstoff 1.4301)
- Dichtungen: Acrylnitril-Butadien-Kautschuk (NBR), Härte 80 shore
- Innenkorb: Lochblech austenitischer Edelstahl 304 (Werkstoff 1.4301).



Bild 1: Filterpatronen

Foto: © VoTech Filter GmbH

#### Muster 3:

- Endkappen: Metallblech, sendzimir verzinkt
- Dichtungen: Wollfilz, tierische Naturfaser
- Innen- und Außenkorb: Streckmetall, sendzimir verzinkt.

Gestartet wurde mit dem optischen Eindruck der Materialien der benutzten Filtermodule (Muster 2 und 3) im Vergleich zum neuen und ungenutzten Filtermodul (Muster 1) mit Blick auf Parameter wie z. B. Morphologie der Oberflächen, Beschädigungen und Veränderungen der Filtermaterialien, Dichtungen und der Kleberverbundmasse. Bei der optischen Bewertung mittels Auges und unter der Lupe bei verschiedenen Vergrößerungen sowie einem Rasterelektronenmikroskop (REM) wurden sichtbare Veränderungen/Schäden an den dem Gas gegenüber exponierten Oberflächen bei Muster 2 und 3 im Vergleich zu Muster 1 beurteilt. Das Filtermaterial musste von beiden Seiten geprüft werden, da es von beiden Seiten mit dem jeweiligen Gas in Kontakt kommt. Beispiele für mögliche Veränderungen/Schäden wären Risse im Filtermaterial, den Dichtungen oder dem Kleber. Ebenso wurden chemische Veränderungen (z. B. eine raue angegriffene Oberfläche) vergleichend untersucht.

#### **3. Ergebnisse Untersuchungen Metallteile** 3.1 Körbe und Endflansche

Die vielen Studien und Veröffentlichungen zur Metallund Kunstoffbeständigkeit sowie Wasserstoffversprödung, bilden die Grundlage für die Materialauswahl der Muster. Laut zahlreichen Veröffentlichungen bietet Edelstahl 304 ausreichend Schutz, Edelstahl 316 hat keinen Mehrwert (bzgl. Einsatz in H<sub>2</sub>); es ist nur teurer. Das Eindiffundieren des Wasserstoffs in den Metallen und die dadurch entstehende Wasserstoffversprödung, kann dazu führen, dass Risse entstehen oder das Metall sogar unter Belastung bricht.

**Bild 2** fasst die Abbildungen für den Metalldeckel und die Metallfläche der Muster zusammen. Die Betrachtung des Deckels des Musters in den Mikroskop-Bildern zeigt für das Muster im Neuzustand (Muster 1) eine insgesamt relativ glatte und unbeschädigte Oberfläche. Es sind nur gelegentlich oberflächliche Kratzer vorhanden, die keine große Tiefe aufweisen. Im direkten Vergleich ist die Oberfläche des Metalldeckels bei Muster 2 sehr gut vergleichbar. Die Oberfläche ist optisch mit einer körnigen/pulverartigen und leicht bräunlichen Ablagerung belegt, bei der es sich um Wolframpartikel aus dem Gasstrom handelt. Die Oberfläche darunter ist unbeschädigt und weist höchstens die bereits bei Muster 1 beobachteten oberflächlichen Kratzer auf. Eine strukturelle Beschädigung ist nicht zu beobachten. Die Oberfläche von Muster 3 ist mit weniger Ablagerungen belegt als Muster 2 und insgesamt etwas rauer/matter als die, der Muster 1 und 2. Bis auf leichte oberflächliche Kratzer sind auch hier keine Beschädigungen an den untersuchten Stellen sichtbar.

Die REM-Aufnahmen der Metallseite des Metalldeckels von den Mustern sind bei identischer Vergrößerung gezeigt. Muster 1 zeigt eine schuppenartige Struktur, die erst bei dieser Vergrößerung sichtbar wird. Muster 2 zeigt eine vergleichbare Struktur, die noch zusätzlich mit Partikeln auf der Oberfläche belegt ist. Diese Partikel wurden



höchst wahrscheinlich im Zuge der Nutzung im Wasserstoffstrom dort abgelagert. Strukturelle Beschädigungen wie Kratzer, Risse und Löcher können an den untersuchten Stellen für Muster 1 und 2 nicht beobachtet werden. Muster 3 kann nicht direkt mit einem Muster im Neuzustand verglichen werden. Die Oberfläche wirkt hier glatter und es zeigen sich ebenfalls einzelne Partikel, aber auch für Muster 3 sind nach der Nutzung im Erdgasstrom keine strukturellen Beschädigungen an der Oberfläche erkennbar.

Bild 3 fasst die Bilder des Lochbleches aus Edelstahl für Muster 1 und 2 sowie des verzinkten Streckmetalls für Muster 3 an der Anströmseite zusammen. Das Lochblech im Inneren des Filters von Muster 1 zeigt eine glatte und saubere Oberfläche ohne Beschädigungen. Die Oberfläche ist leicht glänzend und die Kanten der Löcher sind sauber. Für Muster 2 zeigen sich keine Veränderungen der Oberfläche oder Beschädigungen. Auch die Kanten der Löcher sind unverändert. Insgesamt lässt sich keine Veränderung erkennen. Prüfmuster 3 ist etwas anders aufgebaut. Hier ist das Streckmetall an der Außenseite des Filters untersucht worden, da kein vergleichbares Lochblech wie für Muster 1 und 2 am Filter vorhanden ist. Auch für Muster 3 sieht die Oberfläche unbeschädigt aus und die Kanten der Metallstreben sind sauber. Strukturelle Schäden können nicht beobachtet werden.

Die REM-Aufnahmen der Lochbleche zeigen bei Muster 1 und 2 eine ähnliche schuppenartige Oberfläche wie bereits zuvor beim Metalldeckel der Filtermodule sichtbar war. Beschädigungen der Materialien können auch hier an den untersuchten Stellen nicht beobachtet werden. Partikel sind hier auf den Oberflächen der Lochbleche nicht sichtbar, da das Lochblech auf der Innenseite des Filters verbaut war. Für Muster 3 ist auch hier die Oberfläche wie zuvor bei der Metallfläche in **Bild 2** leicht anders im Aussehen, aber auch hier sind keine Beschädigungen sichtbar, die durch die Nutzung im Erdgasstrom entstanden sein könnten. Einzelne Partikel sind hier auf der Oberfläche sichtbar, da das Gitter auf der Außenseite des Filters verbaut und somit dem partikelhaltigen Gasstrom ausgesetzt war.

#### 4. Ergebnisse Untersuchungen Kunststoffteile

Phthalate werden vor allem als Weichmacher für Kunststoffe eingesetzt und die gesättigten Kohlenwasserstoffverbindungen in Wasserstoff oder Erdgas führen dazu, dass der Kunststoff spröde wird. Der mögliche nachfolgende Faserbruch kann dazu führen, dass das Filtermaterial beschädigt und die Abscheideleistung beeinträchtigt wird. Daher war dies der wichtigste Teil der Untersuchung, vor allem beim Einsatz in Wasserstoff.

#### 4.1 Dichtungen

Bild 4 fasst die Bilder der Dichtungen der unterschiedlichen Muster zusammen. Die Dichtung aus NBR für Prüfmuster 1 ist optisch bei 10-facher Vergrößerung bis auf eine sehr oberflächliche Rissbildung im Material, die aber nicht in die Tiefe geht und die Oberfläche etwas strukturiert erscheinen lässt, unbeschädigt. Die Oberfläche ist zudem sehr sauber. Für Muster 2 zeigen sich im direkten Vergleich keine signifikanten Unterschiede. Einzelne Partikel sind auf der Oberfläche als Auflage sichtbar, die aber durch die Nutzung und den Transport dort vermutlich abgelagert wurden. Ansonsten ist die Oberfläche ebenfalls bis auf die sehr oberflächliche Rissbildung, die auch hier nicht in die Tiefe geht und die Oberfläche so nur strukturiert erscheinen lässt, unbeschädigt. Muster 3 hat auch für die Dichtung einen anderen Aufbau als Muster 1 und 2, wie es bereits für das Lochblech beobachtet wurde. Statt einer Dichtung aus einem Elastomer, ist eine Dichtung aus Wollfilz verbaut. Diese Dichtung und die



**Bild 3:** Aufnahmen der Körbe (Anströmseite); Lochblech für Muster 1 und 2, Streckmetall für Muster 3

darin enthaltenen Fasern sind optisch ebenfalls unbeschädigt und es sind keine zerstörten oder herausstehenden Fasern zu sehen. Das Grundmaterial ist an sich weiß, was im Inneren der Dichtung noch erkennbar ist, aber an der Außenseite zum Gas sind die Fasern etwas dunkler verfärbt, was auf Schmutzpartikel aus dem Gasstrom zurückzuführen sein wird.

Die REM-Aufnahmen von den NBR Dichtungen von Muster 1 und 2 weisen teilweise oberflächliche Risse auf, die aber nicht in die Tiefe gehen. Bei Muster 2 sind zusätzlich noch viele Partikel auf der Oberfläche sichtbar, die wahrscheinlich durch die Nutzung im Wasserstoffgas und/oder den Transport dort abgeschieden wurden. Strukturelle Beschädigungen für Muster 2, die aus der Nutzung im Vergleich zu Muster 1 resultieren konnten, sind an den untersuchten Stellen nicht zu beobachten.

Bei einer stärkeren Vergrößerung des Wollfilzes (**Bild 5**) lässt sich die schuppige Struktur der einzelnen Fasern zusammen mit einzelnen Partikeln erkennen. Wolle ist typsicherweise durch eine schuppige Struktur an der Oberfläche gekennzeichnet und so zum Beispiel



Bild 4: Aufnahmen der Dichtungen an den Mustern 1 bis 3

von Polyesterfasern, die eine glatte und homogene Oberfläche haben, zu unterscheiden. Die Partikel sind auf die Nutzung im Gasstrom zurükzuführen. Beschädigte Fasern oder Faserenden können an den untersuchten Stellen nicht beobachtet werden, so dass die Nutzung im Erdgasstrom hier keine Beschädigungen verursacht hat.

#### 4.2 Verbundmasse

Bild 6 fasst die Aufnahmen zur Klebemasse am Rand der Muster zum Filtermaterial für die Muster 1 bis 3 sowie für die Fläche im Deckel von Muster 1 und 2 zusammen. Die Mikroskopie-Aufnahmen zeigen, dass die Klebemasse für Muster 1 sowohl am äußeren Rand des Filters zwischen Metall und Filtermaterial sowie auch auf der großflächig auf der Innenseite des Deckels aufgebrachten Fläche unbeschädigt und gleichmäßig ist. Es sind keine Blasen und nur geringfügig aufliegende Partikel zu sehen, die mit dem Kleber verbunden sind. Am Rand ist zudem der Abschluss mit dem Metallrand des Deckels und dem Filtermaterial sehr gleichmäßig und ohne offene Stellen. Für Muster 2 konnten keine Unterschiede zu Muster 1 beobachtet werden, die den Zustand der Klebemasse schlechter erscheinen lassen. Am äußeren Rand sind oberflächliche Partikelauflagerungen zu sehen, die höchst wahrscheinlich durch die Nutzung im Wasserstoffstrom dort abgeschieden worden sind. Auf der Innenseite des Filters sind keine Partikel auf der großflächigen Auftragung im Deckel zu sehen. Hier ist das Bild weiterhin geschlossen und gleichmäßig wie vor der Nutzung bei Muster 1. Für Muster 3 kann nur der Randbereich bewertet werden, da eine großflächige Auftragung wie im Deckel bei Muster 1 und 2 durch den beidseitig angebrachten Ringflansch nicht vorhanden ist. Im Randbereich ist die Klebemasse aber wie bei Muster 1 geschlossen und gleichmäßig und



Bild 5: Fasern des Wollfilz

es zeigen sich nur wenige aufliegende Partikel. Beschädigungen oder offene Stellen an den Rändern sind nicht zu erkennen.

Auf den REM-Aufnahmen der Klebemasse im Deckel von Muster 1 und 2 können keine Unterschiede zwischen der Klebemasse für Muster 1 und 2 an den untersuchten Stellen beobachtet werden. Die Klebemasse ist flächig aufgetragen und es können keine Löcher, Risse oder andere Beschädigungen an Muster 2 im Vergleich zu Muster 1 beobachtet werden. Dies deutet darauf hin, dass die Nutzung im Wasserstoffstrom keine Beschädigungen in der Klebemasse verursacht. Einzelne Partikel sind stellenweise auf der Oberfläche sichtbar gewesen, die aber durch die Probenvorbereitung dort abgeschieden werden konnten.

#### 4.3 Filtermaterial

Das Filtermedium, ein hochwertiges Polyestervlies mit PTFE-Membran, wird zur Flächenvergrößerung gefaltet (plissiert). Trotz der Erwartung, dass die Wärmebehandlung und mechanische Einwirkung des Plissierens das Material verändern, wird dieser im Produktionsprozess viel Aufmerksamkeit geschenkt. Das lässt sich durch regelmäßige Messungen überprüfen, bei denen das Material auf Abscheidung und Differenzdruck geprüft wird. Dies geschieht mittels genormten Staubs, der in einem geschlossenen System eingedüst wird. Die Abscheidung wird mittels eines optischen Partikelmessgerätes getestet. Bei dieser aktuellen Untersuchung, wurde nun auch die Zugkraft nach dem Plissieren, untersucht. Wolframstaub ist sehr abrasiv, was, nebst Einsatz



**Bild 6:** Aufnahmen der Klebemasse für Muster 1, 2 und Muster 3 im pyrophoren Wasserstoffgas, noch eine zusätzliche Herausforderung darstellt.

Bild 7 fasst die Aufnahmen der Innenseite (Abströmseite) des Filtermaterials zusammen. Die Mikroskop-Aufnahmen zeigen bei Vergleich der Innenseite der Filtermaterialien der Muster 1 bis 3 keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Mustern. Muster 1 im Neuzustand ist auf der Innenseite am saubersten, aber auch Muster 2 und 3 weisen nur minimale Verschmutzungen auf, die ggf. durch den Transport dort hingelangt sein könnten. Alle Oberflächen sind unbeschädigt und es können keine Risse, Löcher oder andere Fehlstellen an den Mustern 1 bis 3 an den untersuchten Stellen beobachtet werden. Auch die Fasern zeigen keine Unterschiede bezüglich der Struktur oder generell abstehenden Faserenden.

Die REM-Aufnahmen der Innenseite des Filtermaterials werden in der 3. Spalte zusammengefasst. Für alle drei Muster zeigt sich eine Netzstruktur von Fasern mit einer Dicke von etwa 20 µm auf der Innenseite und nur wenige bis keine Partikel sind auf der Innenseite sichtbar. Dies bestätigt die Wirkung des Filtermaterials und es konnten keine nennenswerten Mengen an Partikeln auf die saubere Innenseite des Filters gelangen. Einzelne sichtbare Partikel könnten auch im Zuge des Transportes dort hingelangt sein. Beschädigungen wie Risse oder Löcher können an den untersuchten Stellen bei keinem Muster beobachtet werden, so dass die Nutzung im Gasstrom keine offensichtlichen Beschädigungen verursacht hat.

Bild 8 fasst die Aufnahmen der Anströmseite des Filtermaterials zusammen. Mikroskopie-Bilder in Spalte 1



men der Innenseite (Abströmseite) des Filtermaterials der drei Muster und 2: Der Vergleich der Außenseite der Filtermaterialien der Muster 1-3 zeigt, mit Ausnahme des entstandenen Filterkuchens für die Muster 2 und 3, keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Mustern. Muster 1 ist im Neuzustand und dementsprechend unverschmutzt. Bei Muster 2 zeigt sich ein deutlicher weißer/beiger Filterkuchen (Wolfram). Nach vorsichtiger Entfernung des Filterkuchens zeigt sich eine weiße Oberfläche des Filtermaterials, die mit Muster 1 vergleichbar ist. Es können keine Risse, Löcher oder andere Fehlstellen am Material in der untersuchten Fläche und an den untersuchten Knickstellen (Falten) beobachtet werden. Muster 3 hat eine dunklere Auflage als Muster 2 (sehr feiner Erdgasstaub), aber nach vorsichtiger Entfernung der Auflage ist auch hier das weiße Grundmaterial sehr gut sichtbar und es zeigt ein vergleichbares Bild wie Muster 1. Es können auch hier keine Risse, Löcher oder andere Fehlstellen in der Fläche oder an den Knickstellen beobachtet werden.

Muster 3 stammt aus einer anderen Materialcharge, wodurch das Grundmaterial eine andere Oberflächenstruktur als Muster 1 und 2 aufweist, allerdings sind beide Materialien aus 100 % Polyester mit gleicher Membran. Der einzige Unterschied ist, dass während Muster 1 und 2 Querstreifen aufweisen, bei Muster 3 ein Rautenmuster sichtbar ist. Dies wird noch deutlicher, weil sich der feine, dunkle Erdgasstaub in der Matrix des Materials absetzt.

Bei den REM-Aufnahmen auf der Außenseite des Filtermaterials zeigt sich für alle Muster eine Netzstruktur aus Fasern, die deutlich dichter als für die Innenseite des Filtermaterials ist. Zudem sind die Fasern deutlich feiner



Bild 8: Aufnahmen der Außenseite (Anströmseite) des Filtermaterials der drei Muster als auf der Innenseite und haben eine Dicke von deutlich unter 1 µm. Für die Muster 2 und 3 sind auf der Oberfläche viele Partikel sichtbar abgeschieden worden, die im Zuge der Nutzung im Wasserstoffstrom bzw. Erdgasstrom auf der Oberfläche des Filtermaterials abgeschieden wurden. Bei Muster 1 sind keine Partikel auf der Oberfläche sichtbar, was durch den Neuzustand so auch zu erwarten war. Beschädigungen wie Risse oder Löcher können an den untersuchten Stellen bei keinem Muster beobachtet werden, so dass die Nutzung im Gasstrom keine Beschädigungen verursacht hat.

### 5. Zugeigenschaften von textilen Flächengebilden

Da der Einfluss von Wasserstoff und Erdgas auf die Elastizität von Kunststoff groß ist, war es im Rahmen der Untersuchung der Materialbeständigkeit wichtig, die maximale Zugfestigkeit des Filtermaterials untersuchen zu lassen. Die Prüfung wurde nach DIN EN ISO 13934-1, Bestimmung der Höchstzugkraft und Höchstzugkraftdehnung mit dem Streifen-Zugversuch, Ausgabedatum: 2013-08 ausgeführt.

Die Höchstzugkraft des Filtermaterials wurde nur in eine Prüfrichtung bestimmt, um das Material ohne die Falten im Filtermaterial quer zur Prüfrichtung zu haben, da

Tabene T: Ergebnis Hochstzugkraft Filtermatenal							
Mst.Nr.	Warenrich- tung	Höchstzug- kraft [N]	Variations koeffizient [%]	95%iger Vertrauens- bereich [N]			
1	Längsrich- tung*	643	5,6	599 - 688			
2	Längsrich- tung*	743	4,0	706 - 780			
3	Längsrich- tung*	1020	3,3	980 - 1060			

#### Tabelle 1: Ergebnis Höchstzugkraft Filtermateria

Tabelle 2: Höchstzugkraft – Dehnung Filtermaterial

Mst.Nr.	Warenrich- tung	Höchstzug- kraft [%]	Variations koeffizient [%]	95%iger Vertrauens- bereich [N]
1	Längsrich- tung*	33,0	7,0	30,2 – 35,9
2	Längsrich- tung*	34,5	4,4	32,6 - 36,4
3	Längsrich- tung*	24,7	3,4	23,7 – 25,8

diese ggf. als Schwachpunkt bei den Reißprüfungen auffallen könnten und das Ergebnis verfälschen. So wurden die Muster auf eine Breite von 5 cm geschnitten und die Knicke im Material dabei parallel zur Zugrichtung gehalten (**Tabelle 1 und 2**)

Die Höchstzugkraft des Filtermaterials im Neuzustand (Muster 1) beträgt etwa 650 N bei einer Dehnung von etwa 30 %. Für das im Wasserstoffstrom genutzte Filtermaterial (Muster 2) ist eine Höchstzugkraft von etwa 750 N bei einer Dehnung von ebenfalls etwas mehr als 30 % gemessen worden. Der Wert der Höchstzugkraft liegt somit sogar etwas höher als im Neuzustand und die Dehnbarkeit ist nahezu unverändert, so dass festgehalten werden kann, dass die Nutzung des Filtermaterials im Wasserstoffstrom in diesem Punkt offensichtlich keinen negativen Einfluss auf das Material hat. Im Datenblatt zum Filtermaterial werden Werte von 700-900 N bzw. eine Dehnbarkeit von etwa 17 % genannt. Die gemessenen 650-750 N passen so hervorragend zum Wert im Datenblatt des Lieferanten für die Querrichtung (Tensile strength CD) mit 700 N. Da kein Toleranzbereich angegeben ist, wird an dieser Stelle auf die praktische Erfahrung zurückgegriffen. Hier ist eine Streuung von etwa 10 % um den Zielwert als sehr akzeptabel anzusehen, besonders da der Wert für das im Wasserstoffstrom genutzte Material sogar höher als für das Neumaterial liegt. Die Dehnbarkeit ist in den hier gezeigten Messungen höher als im Datenblatt des Lieferanten, aber dies ist nicht als negativ zu bewerten. Da die Dehnbarkeit im Neuzustand und im gebrauchten Zustand vergleichbar ist, kann auch hier kein negativer Effekt der Nutzung im Wasserstoffstrom erkannt werden. Diese Ergebnisse bestätigen den Eindruck der mikroskopischen Untersuchung sowie der REM-Messungen, die keine Beschädigungen am Material haben erkennen lassen.

Für Muster 3 wurde mit 1000 N eine noch höhere Zugkraft als für Muster 1 und 2 bestimmt, während die Dehnbarkeit etwas geringer war. Dies spricht auch für nach dem Einsatzsatz in diesem Fall im Erdgasstrom ein intaktes Filtermaterial. Zudem bestätigt es die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung und der REM-Messungen, die keine Beschädigungen am Material haben erkennen lassen. Der höhere Wert im Vergleich zu Muster 1 und 2 könnte durch eine andere Materialcharge begründet sein, da auch die Grundstruktur des Materials sich geringfügig von dem Material in Muster 1 und 2 unterscheidet, wie bereits zuvor bei der mikroskopischen Untersuchung und den REM-Aufnahmen beschrieben wurde.

#### 6. Zusammenfassung

Die optische Bewertung der Muster unter der Lupe/dem Mikroskop zeigte insgesamt keine Beschädigungen der einzelnen geprüften Bestandteile für die drei Muster. Die Filtermaterialien sind insgesamt auf der Innen- und Außenseite unbeschädigt, was darauf hinweist, dass die Nutzung der Filter im Erdgas- oder Wasserstoffstrom unter den genutzten Bedingungen keine Schäden verursacht und die Filterwirkung erhalten bleibt, da kein Unterschied zwischen Muster 1 als Referenz im Neuzustand und den Mustern 2 (Wasserstoffstrom) und Muster 3 (Erdgasstrom) beobachtet werden konnte. Verfärbungen und aufliegender Filterkuchen sind durch die Nutzung vorhanden und können nicht immer komplett entfernt werden. Auch für die anderen Bestandteile aus Lochblechen, Metallbestandteile des Deckels, Klebemasse im Deckel und am Rand und Dichtungen konnten keine Beschädigungen für Muster 2 und 3 im Vergleich zu Muster 1 beobachtet werden.

Die REM-Aufnahmen zeigen zusammenfassend sehr gute und detaillierte Aufnahmen der verschiedenen Bestandteile der Muster. An keinem der Bestandteile von Muster 2 und 3 konnten Beschädigungen festgestellt werden, so dass diese der Nutzung im Wasserstoffstrom bzw. Erdgasstrom unter den bisherigen Bedingungen ohne Beschädigungen möglich ist.

Die Bestimmung der Höchstzukraft ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Muster im Neuzustand (Muster 1) und dem bereits in der Praxis genutzten Muster (Muster 2). Die Werte sind gut vergleichbar und bewegen sich um den Referenzwert aus dem Werkszeugnis des Filtermateriallieferanten von 700 N. Das Material im Neuzustand liegt mit etwa 650 N etwas darunter aber eine Schwankung von 10 % um den Referenzwert ist in der Praxis nicht unüblich. Das Filtermaterial ist so also beständig gegenüber Wasserstoffgas und Erdgas. Für Muster 3 wurden noch höhere Werte bestimmt, so dass auch hier davon ausgegangen werden kann, dass das Material durch den Einsatz im Gasstrom nicht geschädigt wurde, wie es die mikroskopischen Untersuchungen und die REM-Aufnahmen angedeutet haben.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die untersuchten Filter durch die Nutzung im Wasserstoff- oder Erdgasstrom mit Blick auf die geprüften Parameter nicht negativ beeinflusst wurden. Die Nutzung führt für die geprüften Materialien optisch unter dem Mikroskop sowie im REM und mit Blick auf die Reißfestigkeit des Filtermaterials nicht zu Beschädigungen oder einer geringeren Beständigkeit. Die Filter können somit mit Blick auf die dargestellten Prüfungen/Begutachtungen unter den bisherigen Bedingungen für die jeweiligen Zeiten ohne Einschränkung verwendet werden.

#### Dank

Wir bedanken uns für die sachliche und fachliche Unterstützung der unabhängigen DTNW Öffentliche Prüfstelle GmbH in Krefeld.



Stephanie van Ooijen VoTech Filter GmbH | Heinsberg | Tel: +49 (0) 2452 95900 | info@votech.de

Autorin