

Der Druckverlust von Luftfiltern bei hohen relativen Feuchten und bei Beaufschlagung mit Wassertröpfchen

F. Schmidt; A. Breidenbach; Suhartiningsih*

Im Vorfeld der DIN EN 779:2012 (Raumlufttechnische (RLT) - Filter) und der damit verbundenen Einführung eines Mindestwirkungsgrades war erneut eine heftige Diskussion über den Nutzen der im Labor ermittelten Leistungsdaten von Filtern insbesondere im Vergleich zu Betriebsdaten entfacht. Diskutiert wurde bspw. die Eignung des Teststaubes und die nachlassende Elektretwirkung der synthetischen Filtermaterialien [1].

Wesentliche Unterschiede bestehen darüber hinaus auch bei den Klimabedingungen, vergleicht man die Normbedingungen gemäß o. g. DIN EN 779 oder auch der ISO 11155-1 (KFZ- Innenraumfilter) und die tatsächlichen Betriebsbedingungen.

Es wurden deshalb erste systematische Versuche durchgeführt, um die Auswirkung hoher Luftfeuchten auf den Druckverlust während der Beladung mit unterschiedlichen Stäuben sowie die Beeinflussung des Druckverlustes durch Wassertröpfchen aufzuzeigen. Desweiteren wurden Fraktionsabscheidegrade für relevante Betriebsbedingungen gemessen.

1. Motivation

Den grundsätzlichen Sinn und Zweck der Normung verdeutlicht ein Übersichtartikel von Ripperger [2]: „Normen sind ein Mittel zur Vereinheitlichung von materiellen und immateriellen Gütern. Sie bieten damit auch anerkannte Lösungen für immer wiederkehrende Aufgaben. Ein Ziel der Normung ist auch den nationalen und internationalen Austausch von Waren und Dienstleistungen zu fördern...“ Es ist also nicht primäres Ziel, „die Realität“ abzubilden.

Auf der anderen Seite darf sich die normkonforme Messung auch nicht völlig lösen von den tatsächlichen Bedingungen im praktischen Einsatz, da neue Medien und Filterelemente gezielt im Hinblick auf die Klassifizierung der Norm entwickelt werden.

Aktuelle Normen der Luftfiltration geben recht unspezifische Vorgaben für die Klimabedingungen im Prüfkanal an:

DIN EN 779:2012 (RLT- Filter)

> Raum- oder Außenluft; keine Angaben zur Temperatur

> relative Feuchte soll < 75 % sein

ISO 11155-1 (KFZ- Innenraumfilter)

> Klimabedingungen: Temperatur 23 °C +/- 5 °C; Feuchte 55 % +/- 15 %

Abb. 1 zeigt gemessene relative Feuchten (Standort Mülheim, 2011) in einer kumulativen Darstellung. Zu erkennen ist, dass relative Feuchten $\leq 30\%$ nur zu ca. 1 % im Jahr und relative Feuchten $\leq 70\%$ nur zu 30 % des Jahres vorliegen. Das be-

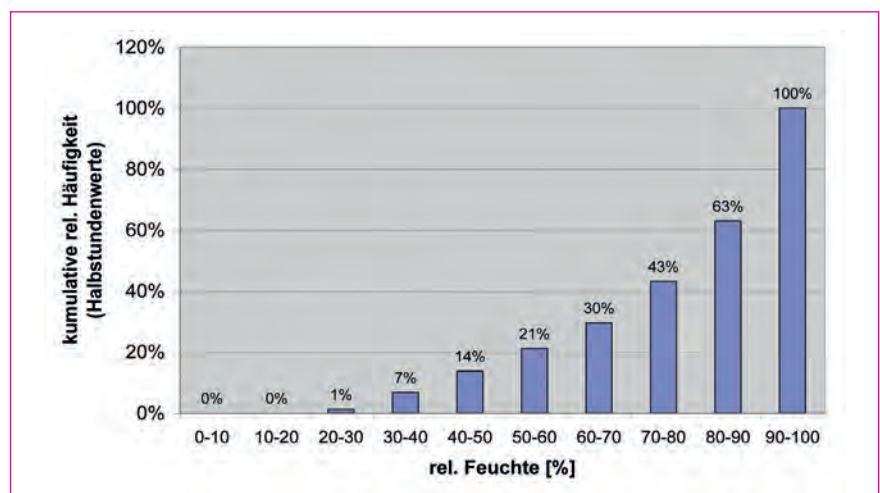


Abb. 1: Gemessenen relativen Feuchten (Standort Mülheim, 2011, zur Verfügung gestellt vom Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg)

deutet einerseits, dass ein Prüfkanal ohne Klimatisierung nur zu bestimmten Zeiten eingesetzt werden dürfte und andererseits, dass 70 % des Jahres Bedingungen herrschen, die die Norm nicht abbildet.

Bei kondensierter Luftfeuchte (Nebel), Gischt oder Regen, kann zudem das Problem auftreten, dass sich Wassertröpfchen auf den Filtern abscheiden. Hier kommt es zum Verkleben des bereits abgeschiedenen Staubes, Auswaschungen und teilweise zu einer drastischen Erhöhung des Druckverlustes. Insbesondere in Küstengebieten und bei Offshore-Standorten von Gasturbinen werden kristalline Salzpartikel oder in Wassertröpfchen gelöstes Salz in der Luft transportiert und können auch die Turbinenschaufeln erreichen [3]. Dadurch verursachtes Fouling und Korrosion führen zu einer Verringerung der Leistung bzw. der Lebensdauer der Gasturbine. Aufgrund der guten Wasserlöslichkeit von

Meersalz kann Wasser, das den Filter passiert, zusätzlich bereits abgeschiedene Partikel wieder abwaschen und in die Turbine transportieren [4]. Diese Effekte werden bei der EN 779:2012, nach der auch Grob- und Feinstaubfilter für die Gasturbinenzuluft geprüft werden, nicht berücksichtigt.



Abb.2.: Erweiterter Prüfkanal an der Universität Duisburg-Essen

* Prof. Dr.-Ing. Frank Schmidt
Dipl. Ing. Achim Breidenbach
Ms. Sc. Suhartiningsih
Lehrstuhl Nanopartikel-Prozesstechnik
Universität Duisburg-Essen



2. Versuchsdurchführung

Eine Beaufschlagung der Filtermedien mit A2 und NaCl erfolgt an einem bereits mehrfach beschriebenen Prüfkanaal nach DIN 71460 am Lehrstuhl für Nanopartikel- Prozessstechnik an der Universität Duisburg-Essen ([6] s. Abb. 2). Zur Bereitstellung von A2 wird ein Rotierender-Bürsten-Aerosol-Generator (RBG 1000, Fa. Palas) verwendet. Die Generierung des NaCl-Aerosols erfolgt durch Zerstäubung einer wässrigen Salzlösung mit einem Aerosolgenerator AGK 2000 (Fa. Palas) mit nachgeschaltetem Diffusionstrockner. Als Partikelmessgerät wird ein nach dem Streulichtprinzip arbeitendes Aerosolspektrometer Welas 2300 (Fa. Palas) eingesetzt (Welas Messung => Streulicht-Latex-Sphären-Äquivalentdurchmesser). Die Temperatur des Luftvolumenstroms bei den Messungen beträgt 23 °C, die relative Feuchte variiert zwischen 30 % und 90 %. Durch die vorhandenen Klimakomponenten können die Temperatur auf +/- 1,0 K und die relative Feuchte auf +/- 2 % genau eingestellt werden. Die mittlere Anströmgeschwindigkeit beträgt ca. 15 cm/s.

3. Versuchsergebnisse

In Abb. 3 ist der Druckverlust als Funktion der rel. Feuchte für unterschiedliche Beladungssituationen des Filtermediums dargestellt. Der Druckverlust des Filtermediums ohne jegliche Beladung zeigt dabei keine Abhängigkeit von der Feuchte. In der zweiten Versuchsreihe wird das unbeladene Filtermedium mit dem Teststaub A2 beladen bis ein zusätzlicher Druckverlust von ca. 20 Pa vorliegt (Neu => 30 %); die rel. Feuchte wird dann langsam jeweils um 10 % erhöht bzw. ab 90 % wieder reduziert. Auch hier ist keine Abhängigkeit von der rel. Feuchte zu erkennen. Wird dieser Versuch nach Abscheidung von NaCl-Partikeln durchgeführt, so erhält man zunächst eine kontinuierliche Verminderung des Druckverlustes bis zu einer rel. Feuchte von ca. 70 %. Bei weiterer Erhöhung der Feuchte auf 90 % erfolgt ein deutlicher Anstieg auf über 60 Pa, der sich aber bei Reduzierung der rel. Feuchte zurück auf 30 % wieder auf den ursprünglichen Wert reduziert. Dieses Verhalten des Druckverlustes bei Variation der Feuchte ist auch nach der gleichzeitigen Beladung mit A2 und NaCl sowie höheren NaCl-Beladungen festzustellen.

In der Abb. 4 ist die Hysterese bei der Variation der Feuchte deutlicher zu erkennen. Hier ist der Anstieg der abgeschiedenen Masse auf dem Filter als Funktion der rel. Feuchte dargestellt. Bei

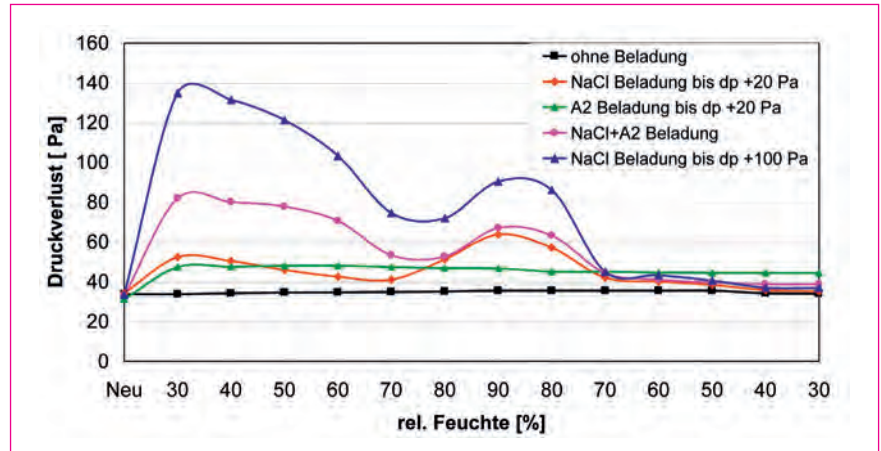
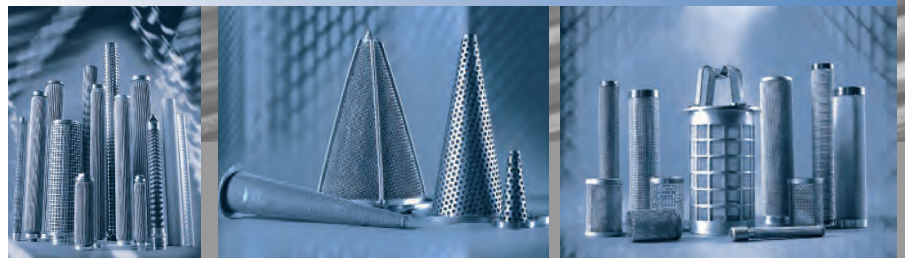


Abb. 3: Medientest-Filterfläche: 600 mm x 300 mm, Volumenstrom: 80 m³/h, T: 23°C



PACO Spinpack-Siebe



In der Filtertechnik ist es wie überall im Business: Nur die Besten kommen durch. PACO zählt bereits seit 5 Jahrzehnten zum Feinsten, was die Filter-Technik mit Elementen und Komponenten aus Metalldrahtgeweben,

Metallfaservliesen, Spaltrohren, Lochblechen, u. v. a. zu bieten hat. Ganz gleich, wie Ihr Bedarf aussieht: PACO garantiert Ihnen immer Highest Filtration Value – ganz individuell.



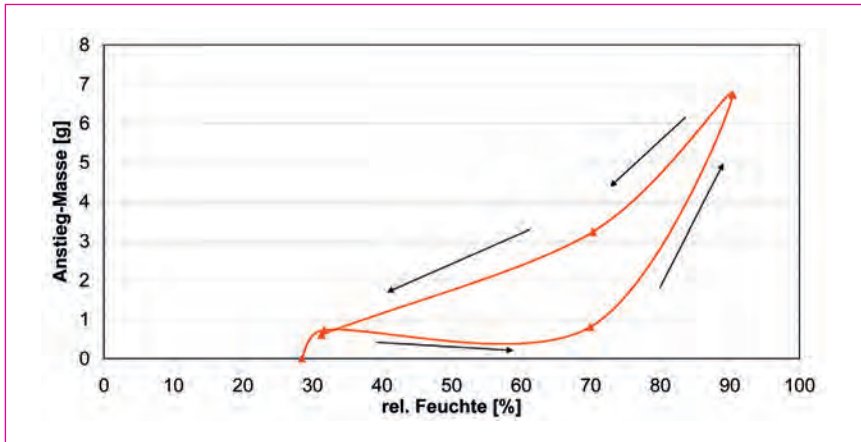


Abb. 4: Medientest-Filterfläche: 600 mm x 300 mm, Volumenstrom: 80 m³/h, T: 23°C

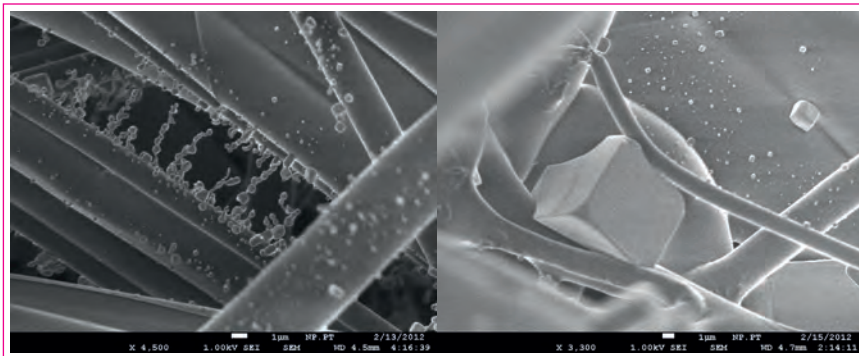


Abb. 5: Medientest + NaCl- Beladung ohne/ nach Feuchtevariation

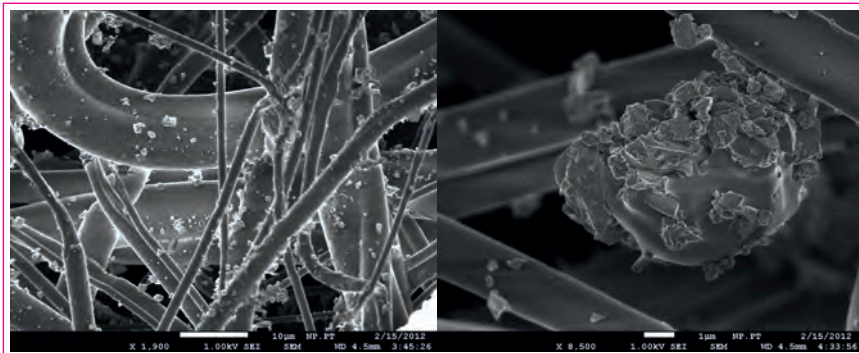


Abb. 6: Medientest + NaCl/ A2 - Beladung ohne/ nach Feuchtevariation

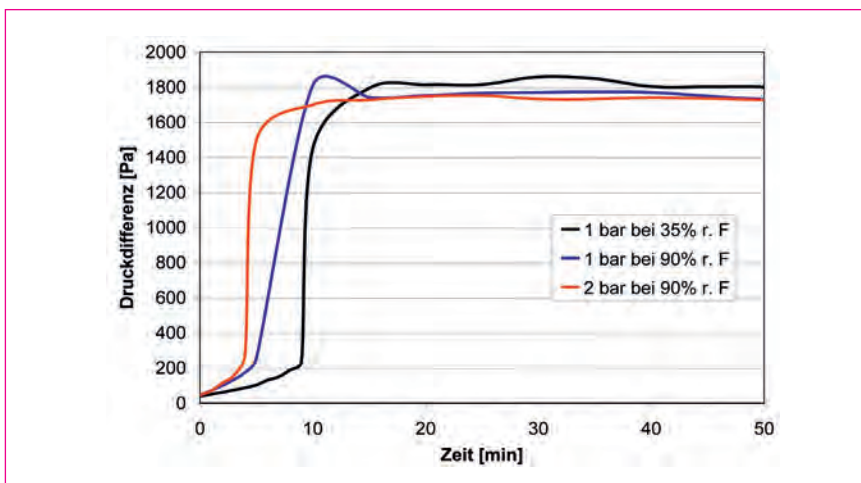


Abb. 7: Medientest mit Wassertropfen (Volumenstrom: 80 m³/h, T:23°C, Filterfläche: 600 mm x 300 mm)

einer rel. Feuchte von 30 % werden zunächst ca. 1 g trockene Salzpartikel abgeschieden. Ab 70 % steigt die Masse auf dem Filter deutlich an und oberhalb des Deliqueszenzpunktes von 76 % liegen Lösungstropfen vor. Nach der Reduzierung der rel. Feuchte auf 30 % wird wieder die gleiche Masse gemessen wie nach der Beaufschlagung mit Salz.

Um die aufgezeigten Änderungen des Druckverlustes zu erklären und hier insbesondere den Feuchteinfluss auf die abgeschiedenen Partikel erkennen zu können, sind auch REM- Aufnahmen durchgeführt worden (Dr. Notthoff). Abb. 5 a) zeigt die Ausbildung von Dendriten zwischen den Fasern durch kleine Salzkristalle. Diese sind nach Feuchtevariation nicht mehr zu erkennen. Große Lösungstropfen haben sich überwiegend in Kreuzungspunkten der Fasern gebildet und nach erneuter Trocknung liegen hier große Salzkristalle vor (Abb. 5 b).

Abb. 6 zeigt das Ergebnis, wenn gleichzeitig A2 und NaCl zugeführt werden. Im trockenen Zustand (30 % rel. Feuchte) liegen A2- und NaCl- Partikel nebeneinander vor. Nach Feuchtevariation zeigen sich überwiegend größere Mischpartikel in den Kreuzungspunkten der Fasern.

Die bisherigen Versuchsergebnisse zeigen zwar eine Druckabhängigkeit der beladenen Filter in Abhängigkeit von den Partikeleigenschaften auf, allerdings sind extrem hohe Druckverluste (wie man sie aus einigen Betriebsdaten kennt) nicht festgestellt worden. Deshalb ist eine weitere Versuchsreihe durchgeführt worden, bei der in den Prüfkanaal feinverteilt Wassertröpfchen zudosiert werden. Die Ergebnisse sind in Abb. 7 zusammengefasst. Nach sehr kurzer Zeit steigt der Druckverlust von 25 Pa auf einen Maximalwert von 1800 Pa an. Dieser Wert des Druckes kann als Sättigungszustand des Filters angesehen werden. Er ist unabhängig von der rel. Feuchte im Kanal und verändert sich auch nicht bei einer deutlichen Erhöhung der zugeführten Tropfenanzahlkonzentration (2 bar als veränderter Vordruck des Zerstäubers).

Abb. 8 zeigt erneut den Druckverlust als Funktion der rel. Feuchte. Nach Beladung mit NaCl und Zudosierung von Wassertröpfchen (4. Test) zeigt der Druckverlust keine Abhängigkeit mehr von der Feuchte. Wie auch die Wägung des Filters verdeutlicht hat, wird das Salz durch die einmalige Beaufschlagung des Filters mit Wasser ausgespült. Der Druckverlust und die Filtermasse erreichen nahezu den Ausgangswert. In Abb. 9 wird erneut der Druckverlust bei Variation der rel. Feuchte



dargestellt. Diese Versuche sind an Kompaktfiltern aus Glasfasermaterialien durchgeführt worden, die aus dem Betrieb einer Gasturbine (meeresnaher Standort) stammen. Die Auswirkung auf den Druckverlust entsprechen den oben genannten an den Filtermedien.

Resultierende Fraktionsabscheidegrade (mit DEHS als Testaerosol) nach Variation der Feuchte und Tropfenbeaufschlagung sind in Abb. 9 dargestellt. Eine Reihe von Einzelversuchen sind an einem Filtermedium durchgeführt worden. Dieses ist u. a. mit Isopropanol (IPA) vorbehandelt, und mit NaCl oder Wassertröpfchen beaufschlagt worden. Die Ergebnisse dieser Einzelmessungen können wie folgt zusammengefasst werden: Der Fraktionsabscheidegrad im Neuzustand wird nach IPA- Behandlung deutlich unterschritten. Nach Feuchtebehandlung oder Wasserbeaufschlagung ergeben sich Kurvenverläufe zwischen diesen beiden Fraktionsabscheidegraden je nach Einwirkdauer der höheren Feuchten bzw. der Intensität der Tropfenbeaufschlagung.

Fazit:

Erste Versuchsdaten zeigen:

- > Die Variation der relativen Feuchte bewirkt eine signifikante Änderung des Druckverlustes, wenn NaCl als Beladungs-aerosol vorliegt.
- > Werden zusätzlich Wassertröpfchen aufgebracht, dann steigt der Druckverlust extrem. Bestehende Partikelschichten können abgespült werden.
- => Die Übertragbarkeit von Leistungsdaten nach Normprüfungen ist auch hinsichtlich des Einflusses von Feuchte beschränkt.

Literatur

[1] Schmidt, F.; Breidenbach, A.; Däuber, E.; Ergebnisse der RLT-Filterprüfung nach EN779 im Vergleich zu Messungen an Filtern aus dem Betrieb; Chem. Ing. Techn.; 84, No. 6, 808-812 (2012)

[2] Ripperger, S.; Sinn und Zweck der Normung und Standardisierung auf dem Gebiet der Separationstechnik, Filtrieren und Separieren 25 (2011) Nr. 2

[3] R. L. Loud, A. A. Slaterpryce, Gas Turbine Inlet Air Treatment; Schenectady, General Electric Company publication, New York 1991

[4] T. Schroth, M. Cagna, in Proc. of GT2008, Gas Turbine Technical Congress & Exposition, Berlin 2008

[5] Schmidt, F.; Däuber, e.; Lindermann, J.; Praxisnahe Tests der Tropfenabscheidung von Koaleszern, Chemie Ing. Techn. 82, Nr. 5, S. 651-656, 2010

[6] Breidenbach, A.; Schmidt, F.; Finger, H.; Haep, S.: Prüfung von KFZ-Innenraumfiltern - Dieselruß als Prüf- und Beladungs-aerosol; Gefahrstoffe -Reinhaltung der Luft 69(5), 2009, 189-193

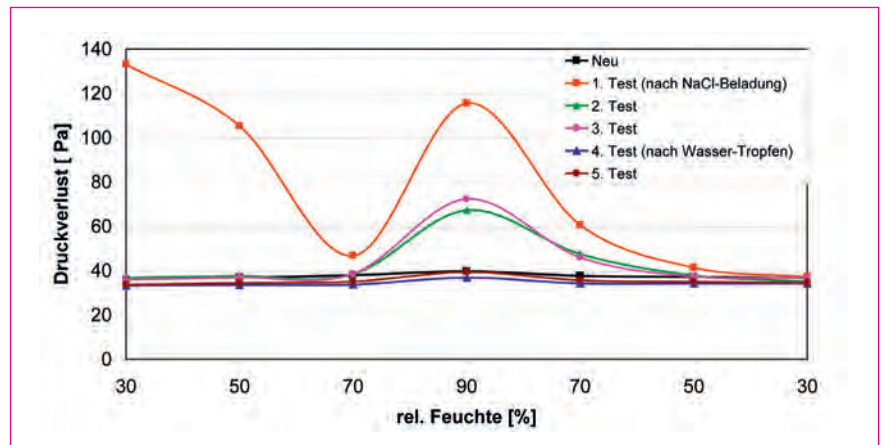


Abb. 8: Medientest mit Wassertropfen

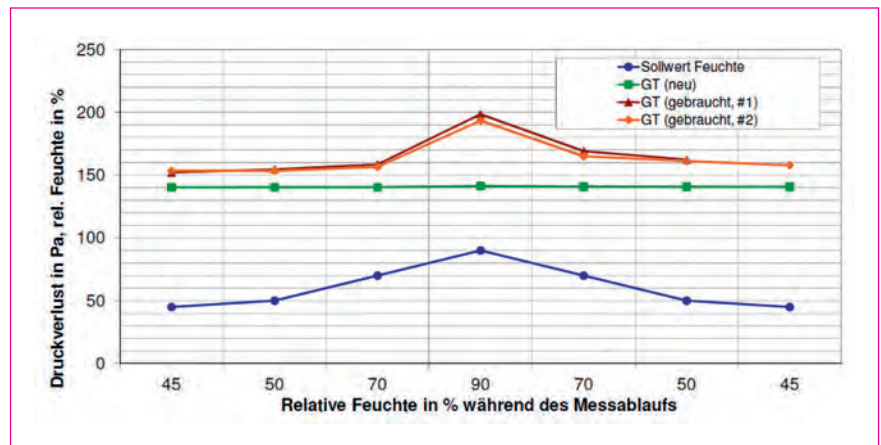


Abb. 9: Druckverlustmessungen von gebrauchten Gasturbinenfiltern (durchgeführt am RLT-Prüfstand nach DIN EN779-2012 [5] und zur Verfügung gestellt vom Institut für Energie- und Umwelttechnik, Duisburg

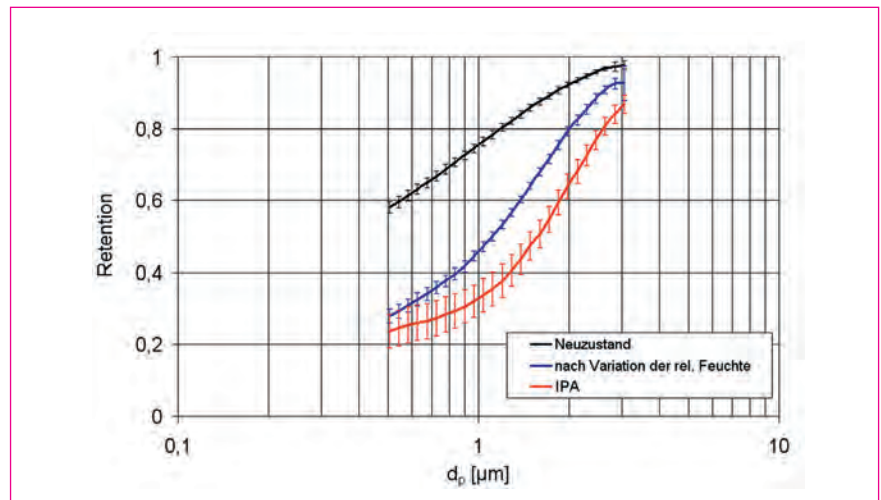


Abb. 10: Fraktionsabscheidegrade der getesteten Filtermedien (DEHS- Testaerosol)