

Publication Series micronAir®

micronAir®

**Feinstaubfiltration –
der Weg zum Serieneinsatz**

**PKW-Klimatisierung V
Haus der Technik Fachbuch Band 90
Expert Verlag, 2007**

Freudenberg
Filtration Technologies



Zusammenfassung

Aufgrund bis heute fehlender Standards einer praxisnahen Prüfung von Innenraumfiltern ist eine vergleichende Bewertung von auf dem Markt erhältlicher feinstaubabscheidender Medien nur unzureichend möglich. Aus diesem Grund wurden Beladungsversuche durchgeführt, um Filter zu altern und anschließend deren Verhalten in der Praxis abschätzen zu können. Die Rahmenbedingungen der Versuche wurden iterativ an jeweils neue Erkenntnisse angepasst. Die vergleichende Bewertung lieferte differenzierende Ergebnisse als Grundlage einer Entscheidungsfindung. Künftige Aktivitäten der BMW AG werden die Schaffung eines neuen und praxisnäheren Standards zur Prüfung von Partikelfiltern vorantreiben.

■ 1. Einführung

EU-Feinstaubgrenzwerte, Fahrverbote und Feinstaubplakette. Schlagworte, die im Bewusstsein der Bevölkerung angekommen sind, nicht zuletzt auch aufgrund ihrer Medienpräsenz der letzten Jahre.

Aber auch auf der Konsumseite zeigt sich beispielsweise durch die Akzeptanz des künftigen Nichtrauchergesetzes das Bewusstsein der breiten Bevölkerung für diese Thematik – und fügt sich damit nahtlos in den Trend zu Gesundheit, Fit- und Wellness dieser Dekade ein.

Fakt ist, dass zahlreiche Studien die negativen Auswirkungen von Feinstaub auf den Menschen belegen. Besonders drastisch sind Studien aus den USA, welche die kanzerogene Wirkung durch eine erhöhte Mortalitätsrate ausdrücken.

Auf diese Fakten, wie auch auf das gestiegene Bewusstsein unserer Kunden, gilt es zu reagieren. Das Automobil befindet sich hier in einer prekären Lage. Neben der großen Herausforderung, denen die Abgasseite durch die CO₂-Diskussion gegenübersteht, verschärfen sich nun auch die Luftqualitätsbedingungen für den Fahrzeuginnenraum.

Die Filterindustrie hat auf diese Anforderung reagiert – alle von der BMW AG angefragten Lieferanten waren im Jahr 2006 in der Lage, ein Medium mit erhöhter Feinstaubabscheidung anzubieten.

Für die Automobilhersteller hingegen ergeben sich bei der Integration solcher Medien Zielkonflikte und offene Fragen, die über die reine Verfügbarkeit der Medien am Markt hinausgehen.

„Was ist ein Feinstaubfilter? Welche Kriterien muss dieser erfüllen?“ – waren die Fragen, die wir uns im Projekt „Air Quality“ hierzu stellten. Eine reine Lieferantenabfrage zu den Leistungswerten führt unmittelbar auf ein Industrieproblem: Die Prüfung von Kabinenluftfiltern vor dem Hintergrund des Praxisbezugs. Bis heute werden Kabinenluftfilter im Neuzustand qualifiziert. Die eigentliche Aufgabe des Filters – die Abscheidung von Partikeln – ist jedoch ein stark zeitabhängiger Effekt.

Bei heute eingesetzten Medien ist ein Abfall der Abscheidung feinsten Partikel um 75 % bezogen auf den Neuzustand nach 15.000 km Realität.

Ein Feinstaub abscheidender Filter, der diese Eigenschaft nach kurzer Zeit fast völlig verliert, entspräche jedoch nicht unserer Erwartung an ein solches Produkt.

Auf dem Weg zum Serieneinsatz war somit eine intensive Aufarbeitung des Themas „Prüfung von Partikelfiltern“ nötig, um eine geeignete Auswahl treffen zu können, und endete letztlich in einem Benchmark.

■ 2. Stand der Filterprüfung

Die Prüfung von Partikelfiltern ist in DIN 71460 Teil 1 [1] festgelegt. Hierbei werden insbesondere Prüfeinrichtungen, Randbedingungen sowie die Partikel-Messtechnik für definierte Prüfstäube vorgeschrieben.

Dieser Standard hat für eine erste Vergleichbarkeit von Filtern seine Berechtigung, weil er unter den angegebenen standardisierten Bedingungen vergleichbare Ergebnisse liefert. Da die Prüfbedingungen jedoch von der Praxis abweichen, sind die so erarbeiteten Ergebnisse nicht direkt übertragbar.

Den Vorteilen, einer routinierten Durchführung und der im Grunde guten Vergleichbarkeit der Ergebnisse, stehen vor dem Hintergrund unserer Fragestellung einige gravierende Nachteile gegenüber.

Hier sind insbesondere zu nennen:

- keine praxisnahe, zeitlich geraffte Alterung darstellbar
- realer Staub zeigt anderes Verhalten als der verwendete Prüfstaub
- Prüfstaub ist undefiniert elektrostatisch geladen

Es ist bekannt, dass aufgrund dessen einige Filterlieferanten Untersuchungen zum Praxisverhalten von Filtern angestellt haben. Meist wurden an Verkehrsknotenpunkten Apparaturen mit durchströmten Luftfiltern positioniert. Diese Vorgehensweise stellt eine anspruchsvolle, aber zweifelsohne realitätsbezogene Methode dar und wird auch seitens der OEM begrüßt.

Für Neu- und Weiterentwicklungen liefern diese hausinternen Untersuchungen zwar wichtige Erkenntnisse an die Filterhersteller, sind jedoch vor dem Hintergrund eines Lieferantenübergreifenden Produktvergleichs für einen OEM nicht ausreichend.

Grund hierfür sind die stark unterschiedlichen Randbedingungen. Durch die Variation von anlagenspezifischen Parametern mit ihren Auswirkungen auf beispielsweise Filtergeometrien und Luftvolumenströme sowie unterschiedliche Schadstoffarten und -konzentrationen lassen solche Vergleiche keine genauen Abschätzungen zu. Die Ergebnisse können damit nur zu lieferantenspezifischen Vergleichen herangezogen werden.

Aufgrund der fehlenden Standards für eine Realbestäubung darf es also nicht verwundern, dass die heute und in naher Zukunft angebotenen Medien gezielt auf eine Prüfung nach DIN 71460 optimiert sind. Fast noch schwerer wiegt, dass bei den meisten Automobilherstellern bis heute lediglich Filter im Neuzustand bewertet werden.

Für eine Beurteilung des sensiblen Themas Feinstaubabscheidung fehlen also die Möglichkeiten

- einer realitätsnahen Stauberzeugung
- zur gezielten Beeinflussung und Kontrolle der Staubzusammensetzung
- der Darstellung eines geeigneten Zeitruffereffekts

■ 3. Filterspezifikation – gegenwärtig und künftig

Um den Kollegen anderer Fachbereiche eine zahlenmäßige Vorstellung zu verschaffen, wird im Folgenden eine typische Filterspezifikation eines aktuellen Modells vorgestellt.

Aus Gründen der hohen Take-rate der Sonderausstattung „Klimaautomatik“ handelt es sich um die Werte des damit verbundenen Kombifilters.

Ein Kombifilter vereint die Funktionen Gasadsorption sowie Partikelabscheidung.

Die Funktion „Partikelabscheidung“ wird durch drei Leistungswerte spezifiziert:

- Abscheideleistung (Fraktionsabscheidegrad)
- Druckverlust
- Staubspeicherkapazität

Der Fraktionsabscheidegrad charakterisiert die Kernfunktion des Filters – das Zurückhalten von Partikeln einer bestimmten Partikelgröße. Die Angabe erfolgt dimensionslos in Prozent und ergibt sich rechnerisch aus einer Division der Differenz von Partikelanzahl vor und nach Filter durch die Partikelanzahl vor Filter.

Dies wird für verschiedene Gruppen von Partikelgrößen durchgeführt, den sogenannten Fraktionen.

Für das Fallbeispiel ergibt sich folgende Spezifikation:

Optische Partikelgröße [µm]	Abscheideleistung [%]
0,3 – 0,5	82
0,5 – 1,0	86
1,0 – 2,0	93
2,0 – 5,0	97
5,0 – 10,0	99

Des Weiteren wird eine Kennlinie von Druckverlusten in Abhängigkeit von Luftmassenströmen als Obergrenze gefordert.

Da sich der Druckverlust des Innenraumfilters zur Widerstandskennlinie des Fahrzeugs addiert, bedeutet jede Erhöhung bei ansonsten gleichen Randbedingungen eine Reduzierung der Luftmenge.

Vor dem Hintergrund der angespannten Bauraumsituation beidseits der Fahrzeugstirnwand ist dies nicht durch beispielsweise eine vergrößerte Gebläsegeometrie kompensierbar. Auch der Erhöhung der Leistungsdichte ist in Anbetracht von steigenden Anforderungen an die Gesamtfahrzeugakustik eine Grenze gesetzt.

Für unser Fallbeispiel, in dem ein Konzept mit zwei symmetrisch im Aggregaterraum verbauten Filtern umgesetzt ist, wurden für einen Filter folgende Stützpunkte spezifiziert:

Luftmassenstrom	Druckverlust [Pa]
4,5 kg/min	55 +/- 3
9 kg/min	140 +/- 5

Das auf dem Prüfstand mit einem definierten Prüfstaub gemessene Kriterium „Staubspeicherkapazität“ soll eine Mindeststandzeit in der Praxis simulieren. Dabei wird angenommen, dass jeder Filter im Laufe seiner Lebenszeit stetig seinen Druckverlust erhöht.

Um die gewünschte Aufheiz- und Abkühlendynamik zu erreichen, müssen die dazu erforderlichen Luftmengen sichergestellt sein. Daher wird zur Ermittlung der Staubspeicherkapazität der Filter nach DIN 71460 mit Prüfstaub beladen, bis eine definierte Zunahme des Druckverlusts zu verzeichnen ist.

Die Beladung wird gestoppt, wenn diese Grenze erreicht wird; anschließend wird der Filter gewogen. Die Gewichtszunahme definiert man als Staubspeicherkapazität. Dieses Vorgehen trägt dem Verhalten mechanisch abscheidender Tiefenfilter Rechnung, bei denen durch die Einlagerung von Staub im Betrieb und den damit verbundenen Aufbau eines sogenannten Filterkuchens eine Verbesserung der Abscheidung erreicht wird (Staub filtert Staub).

Die auf dem Prüfstand mit einem Prüfstaub gemessene Staubspeicherkapazität wird weiter zur Abschätzung der Standzeit herangezogen, obwohl die eingesetzten Filtermaterialien in Abhängigkeit des Medienaufbaus (Anteil des elektrostatischen Effekts, Anteil an Mikrofasern) stark unterschiedlich auf Praxisbedingungen reagieren können.

Die Staubspeicherkapazität ist immer im Zusammenspiel mit anderen Größen zu betrachten und bedarf stets einer kritischen Betrachtung.

Für unser Fallbeispiel beträgt die Mindestanforderung:

Luftmassenstrom	Staubspeicherkapazität in [g] bei (Initialdruckverlust + 100Pa)
4,5 kg/min	45

Diesen stark auf das Gesamtsystem Klimaanlage ausgerichteten Kriterien – nur eines von drei berücksichtigt die „Kernkompetenz Partikelabscheidung“ – stehen Forderungen gegenüber, die aus unserer Sicht an ein Bauteil Feinstaubfilter zu stellen sind:

- signifikant höhere Partikelabscheidung realer Feinstäube
- eine hohe Abscheidung über die gesamte Lebensdauer des Filters

Diese Forderungen führen zu einem erheblichen Zielkonflikt insbesondere in Bezug auf den Druckverlust. Diesen zu lösen, stellt die Filterindustrie vor schwierige Aufgaben. Lösungsansätze zeichnen sich durch einen progressiven Medienaufbau verbunden mit dem Einsatz feiner Fasern ab. Ungelöst ist bislang eine gezielte Erzeugung von praxisnahen Stäuben, womit ein essentielles Werkzeug für die Weiterentwicklung nicht zur Verfügung steht.

■ 4. Ansätze zu einer praxisnahen Filterprüfung

Um diesem Problem zu begegnen, wurde in Kooperation mit der Firma Freudenberg Vliesstoffe KG ein dort angewandtes Verfahren erweitert und unter Schirmherrschaft der BMW AG ein Relativvergleich angestellt.

Eine Auswahl von Filtern in identischer Geometrie wurde unter gleichen Bedingungen mit Staub aus einer stark belasteten Umgebung beladen. Anschließend wurden in Anlehnung an die Prüfung nach DIN 71460 unter Verwendung von Prüfstaub die Fraktionsabscheidegrade nach dieser Alterung ermittelt. Als Maß der Alterung diente der Druckverlustanstieg der Filter.

Die Firma Freudenberg bedient sich für diese Filteruntersuchungen in der Praxis unter anderem eines mobilen Prüfstandes, auf dem vier Filter mit jeweils einem eigenen Gebläse montiert sind.

Jedes Gebläse ist einzeln steuerbar, der Volumenstrom pro Gebläse kann entweder über ein Potentiometer konstant gehalten werden oder nach Charakteristik des eingebauten Gebläses im Laufe der Beladung variieren. Mit einem Anemometer kann bei variablem Volumenstrom über die Bestimmung der Geschwindigkeit der Luftvolumenstrom durch den Filter zu einem bestimmten Zeitpunkt berechnet werden.

Dieser Prüfstand steht in einem stark frequentierten Tunnel mit einer Länge von 2700 m. Der einröhrige Tunnel wird bei Überschreiten gewisser Eingriffsgrenzen (CO und/oder Staubkonzentration) zwangsentlüftet, was durch einen zentralen Schornstein bei ca. 1350 m, und damit mittig, geschieht. Im direkten Umfeld dieser Entlüftung wird der Prüfstand positioniert.

■ Versuchsaufbau BMW AG

Aufgrund der geringen Zahl von höchstens vier Prüflingen sowie aus Geheimhaltungsgründen erfolgte die Umsetzung eines eigenen Aufbaus durch die BMW-Entwicklung.

Dabei waren folgende Forderungen zu erfüllen:

- größtmögliche Anzahl von Prüflingen unter Berücksichtigung der Maximalgrundfläche von 2 m x 1 m
- repräsentative Filtergeometrie, d.h. Rechteckform, Anströmfläche ca. 500 cm², Medienhöhe ca. 30 mm
- keine Querverbeeinflussung der Prüflinge untereinander
- für jeden Prüfling separat einstellbarer Volumenstrom
- 230 V Anschluss
- robuste Ausführung



Abbildung 1: Beladungsprüfstand

Umgesetzt wurde der in Abbildung 1 dargestellte Aufbau. Dieser zeichnet sich folgendermaßen aus:

- gleichzeitiger Betrieb von neun Prüflingen
- jeder Prüfling mit eigenem Gebläse
- maximaler Volumenstrom von ca. 150 m³/h bei einem üblichen Kombifilter
- volumenstrom über Drosseleinrichtung zwischen Prüfling und Gebläse steuerbar
- statische Druckmessung auf der Rohluftseite zur Abschätzung des Filterzustands

Eine vollautomatische Regelung wie auch ein manuelles Steuern mittels Drosselorgan konnte in erster Instanz nicht umgesetzt werden.

Der Versuch wurde mit drei Unternehmen der Filterindustrie durchgeführt, wobei jeweils drei unterschiedliche Produkte zum Einsatz kamen. Von jedem Produkt wiederum standen drei Exemplare zur Verfügung. Hiervon wurden zwei willkürlich ausgewählt, wobei eines im Neuzustand, das zweite im Tunnel beladen und anschließend in gleicher Weise von unabhängiger Seite vermessen wurde.

■ Abbruchkriterium

Da bezüglich der Beladungszeit nur Erfahrungswerte mit Medien aus dem Haus Freudenberg existierten, wurde vor Versuchsbeginn kein Abbruchkriterium definiert. Es wurden Lüfter aus einem Fahrzeug der Mittelklasse eingesetzt, die aufgrund ihrer Kennlinie auf einen steigenden Druckverlust des Filters mit einem merklichen Absinken der Luftmenge reagieren. Durch halbtägliche Messung des statischen Drucks an jedem Filtergehäuse konnte durch Vergleich mit den gleichen Messwerten im Neuzustand qualitativ auf den Luftdurchsatz geschlossen werden.

Im August 2006 wurde die erste von zwei Untersuchungen hierzu durchgeführt. Dabei kam es nach einer Beladungszeit von nur ca. 40 Stunden zu folgenden Ergebnissen:

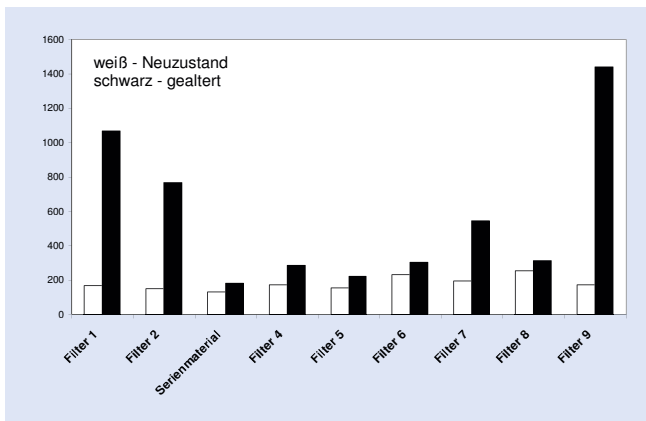


Abbildung 2: Druckverluste bei Luftmassenstrom 9 kg/min. [Pa], Beladung im Tunnel

Abbildung 2 zeigt die Druckverluste in Pascal jeweils im Neuzustand (weiß) und nach der Beladung im Tunnel (schwarz). Es wurden somit Druckverlustzunahmen von 38 bis 700 % gemessen wurden.

Diese unerwartet hohe Streuung stellt den Nachteil der fehlenden Volumenstromregelung zur Diskussion. Bei einer Abnahme des Volumenstroms durch den Filter wird dieser mit einer geringeren Anzahl von Partikeln beaufschlagt und erfährt somit eine weniger starke Alterung.

Da eine möglichst geringe Zunahme des Druckverlusts von entscheidender Wichtigkeit ist, genügt in diesem Fall die Erkenntnis, dass in diesem Relativvergleich Filter mit geringerem Druckverlustanstieg mit mehr Luft und damit mehr Partikeln beaufschlagt wurden als die Filter mit höherem Druckverlustanstieg. Damit wird die fehlende Volumenstromregelung als eine Toleranz zur sicheren Seite hin legitimiert.

Vor diesem Hintergrund bedarf die Beurteilung des Fraktionsabscheidegrades einer kritischen Interpretation.

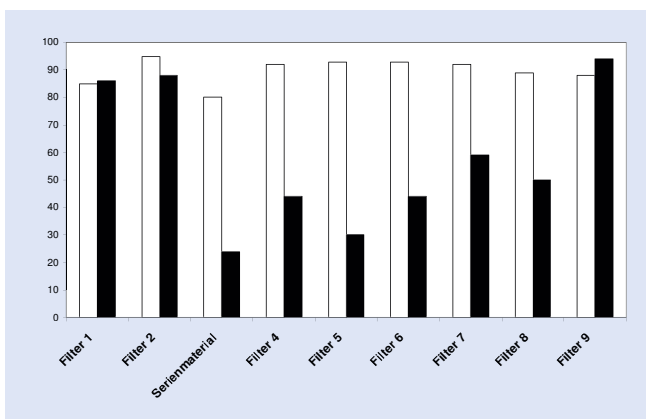


Abbildung 3: Fraktionsabscheidegrad SAE A2 0,3 µm - 0,5 µm

In Abbildung 3 wird exemplarisch die Abscheidung von Synthesestaubpartikel der geometrischen Größe 0,3 µm - 0,5 µm mit SAE-A2-Staub gezeigt. Der weiße Balken repräsentiert die Abscheideleistung des neuen Filters in Prozent, der zugehörige schwarze die des beladenen Filters. Zunächst lässt sich feststellen, dass sieben von neun Filtern ihre Abscheideleistung nach ihrer Beladung größtenteils drastisch verringern, zwei hingegen eine leichte Erhöhung verzeichnen.

Bei isolierter Beurteilung der vorliegenden Abscheideleistung wäre Filter 9 der Vorzug zu geben.

Zu einem völlig anderen Urteil muss man kommen, wenn man die Kombination aus Druckverlusthöhung und Abscheideleistung betrachtet. Filter 9 weist nach der Beladung einen um 700% erhöhten Druckverlust auf. Ohne hier die Gebläsekennlinie heranzuziehen, kann man davon ausgehen, dass sich im Versuchsverlauf der Volumenstrom durch Filter 9 asymptotisch gegen Null entwickelt hat. Eine höhere Abscheideleistung als im Neuzustand ist damit schlüssig.

Ähnliches lässt sich für Filter 1 und 2 feststellen. Das bedeutet, dass die betreffenden Filter zu Beginn des Versuchsbetriebs zwar ebenso Staub einlagerten, jedoch innerhalb kürzester Zeit einen Filterkuchen ausbildeten. Dieses prinzipiell bekannte, und teils gewünschte Verhalten führt jedoch bei der hohen Staubkonzentration sowie der Beladungsgeschwindigkeit zu einer völligen Blockade des Filters.

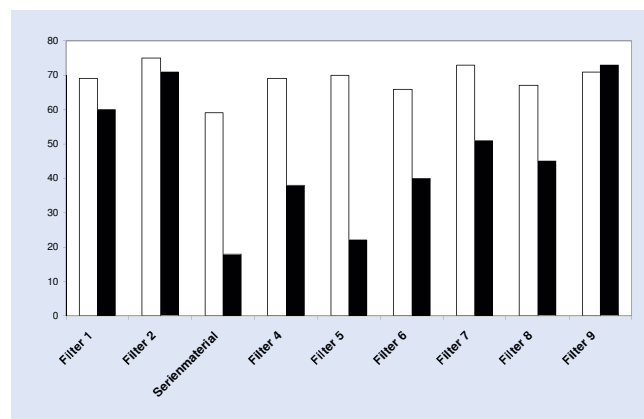


Abbildung 4: Fraktionsabscheidegrad NaCl 0,3 µm - 0,5 µm

Ein fast identisches Bild liefert die in Abbildung 4 dargestellte Abscheideleistung mit Natriumchlorid (NaCl) als Prüfstaub, ebenfalls gemäß DIN 71460 Teil 1. Wiederum kennzeichnet „weiß“ den Neuzustand, „schwarz“ den Zustand nach Alterung. Die betrachtete Partikelgröße beträgt hier 0,3 - 0,5 µm. NaCl als Prüfstaub bietet den Vorteil einer fast vollständigen elektrostatischen Neutralität.

Das absolute Niveau in Prozent liegt niedriger als mit SAE A2, was aufgrund der fehlenden elektrostatischen Abscheidung auch schlüssig ist. Bereinigt man die Diagramme für NaCl und SAE A2 um den Absolutwert, ergeben sich praktisch identische Erkenntnisse für beide Prüfstäube.

■ Fazit

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass von den neun beladenen Filtern die Nummern 1, 2 und 9 aufgrund ihres Druckverlustanstiegs nicht bewertbar sind.

Selbstverständlich kann auch bei dieser Prüfung aufgrund ihrer extremen Randbedingung – Staubkonzentration und Beladungsgeschwindigkeit – ein Praxisbezug in Frage gestellt werden.

Im Gegenzug beweist der Versuch, dass es Filtermedien gibt, die auch unter solchen Umständen erheblich höhere Abscheideleistungen erzielen, ohne dabei zu blockieren oder ihre Fähigkeit der Feinststaubabscheidung zu verlieren.

Dem nicht vermeidbaren Nachteil, der Verwendung des synthetischen Prüfstaubs bei der Beurteilung des Abscheideverhaltens, stehen dieser Vorgehensweise entscheidende Vorteile gegenüber:

- identisch belasteter Umgebungsluft, welche die Filter durchströmt
- Volumenstrom bei Versuchsbeginn mit einer Toleranz von +/- 5 % identisch
- aufgrund der Durchführung durch einen OEM lassen sich erstmals in der Entwicklung befindliche Medien verschiedener Lieferanten miteinander vergleichen
- überschaubare Kosten bei der Umsetzung der Beladungseinrichtung
- Kosten für Filterprüfung nach DIN 71460 durch unabhängiges Institut unverändert

Insbesondere der Vorteil der identisch belasteten Umgebungsluft lässt sich derzeit mit keiner verfügbaren Methode zuverlässig darstellen.

Die Alternative „Feldversuch“ als Entwicklungswerkzeug scheitert primär an der technischen Aussagekraft (wenige Fahrzeuge bei kurzen Laufzeiten, unterschiedlich Fahrprofile), spätestens jedoch an der Kosten-Nutzen-Analyse – man berücksichtigt Bereitstellung von Fahrzeugen, Personal- und Kraftstoffkosten.

■ Umsetzung in der Serie

Aufgrund der durch diesen Versuch gewonnenen Erkenntnisse konnten deutliche Verbesserungen bei der Partikelabscheidung erreicht werden.

Im Folgenden findet sich ein Vergleich zwischen dem bisher und dem künftig eingesetzten Filter.

Anfangsdruckverlust [Pa]	Serienfilter	künftiger Filter
Luftmassenstrom		
4,5 kg/min	55	59
9 kg/min	140	175
Partikelabscheidung SAE A2 [%]		

Partikelgröße [µm]		
0,3 – 0,5	82	96
0,5 – 1,0	86	97
1,0 – 2,0	93	98
2,0 – 5,0	97	98
5,0 – 10,0	99	99
Partikelabscheidung NaCl [%]		
Partikelgröße [µm]		
0,1 – 0,3	Nicht spezifiziert	72
0,3 – 0,5	Nicht spezifiziert	66
Staubspeicherkapazität [g]		
Initialdruckverlust + 100 Pa	45	20,6

Der höhere Druckverlust ist bezüglich Reduzierung der Luftmenge akzeptabel. Ein überproportionaler Anstieg des Druckverlusts im Betrieb ist aufgrund der Ergebnisse im Tunnel nicht zu erwarten.

■ 5. Weitere Entwicklung der Filterprüfung

Mit dem Ziel, mittelfristig ein reproduzierbares und standardisiertes Verfahren zur praxisnäheren Filterprüfung verfügbar zu haben, stellen die vorangegangenen Untersuchungen lediglich einen Einstieg dar.

Primär war den Kritikpunkten der zu hohen Staubkonzentration und Beladungsgeschwindigkeit im Tunnel Rechnung zu tragen. Dabei entstanden sowohl am Standort als auch am mobilen Aufbau neue Anforderungen.

Standort:

- weiterhin erhöhte Staubbelastung mit Schwerpunkt auf feinsten Stäuben aus Verbrennungsprozessen
- längere Beladungszeit als im Tunnel, statt 40 ca. 400 h
- schneller Zugriff durch die BMW-Entwicklung
- Überdachung

Aufbau:

- einfachere und genauere Einstellung des Volumenstroms zu Versuchsbeginn
- Realisierung einer kontinuierlichen, indirekten Volumenstrombestimmung

Als neuer Standort wurde das BMW-FIZ-Parkhaus ausgewählt. Eine Positionierung im Bereich der zentralen Auffahrtsrampe erfüllt die gestellten Anforderungen hinreichend.

Im ersten Schritt wurde eine Auswahl von Filter im Parkhaus beladen. Es war die Frage zu beantworten, ob im Parkhaus das prinzipiell gleiche Verhalten zu beobachten ist wie im Tunnel. Des Weiteren galt es, einen zeitlichen Faktor zwischen beiden Varianten der Beladung zu finden und auf einen Zusammenhang zu Beladungen im Fahrzeug hin zu untersuchen.

Exemplarisch sind im Folgenden einige Vergleichswerte dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen das Verhalten des gleichen Mediums in identischer Geometrie jeweils nach Beladung im Fahrzeug, im Tunnel und im Parkhaus. Die Werte aus dem Parkhaus stammen von vier identischen Filtern, die nach bestimmten Laufzeiten ausgebaut, im Labor vermessen und anschließend im Parkhaus weiter beladen wurden. Die Werte für 191 h und 300 h sind jeweils von zwei Filtern vorhanden.

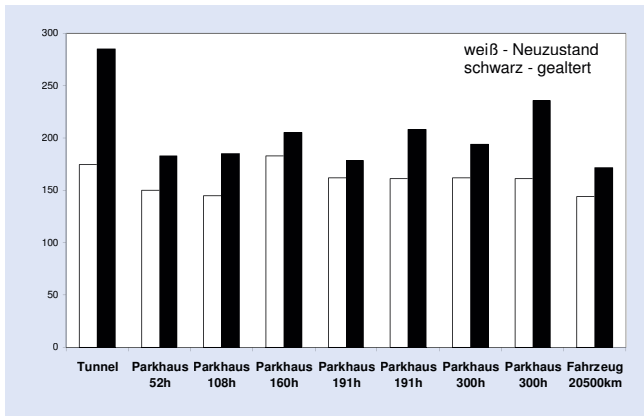


Abbildung 5: Druckverluste bei Luftmassenstrom 9 kg/min. [Pa]

Weder bei Beladung im Parkhaus noch im Fahrzeug konnten größenordnungsmäßig ähnlich extreme Druckverlustanstiege wie im Tunnel verzeichnet werden (siehe Abbildung 5). Alle im Parkhaus beladenen Filter steigen mit der Laufzeit im Druckverlust. Die absoluten Werte schwanken geringfügig. Die Druckverlustzunahme des im Fahrzeug beladenen Filters ist relativ betrachtet auf ähnlichem Niveau.

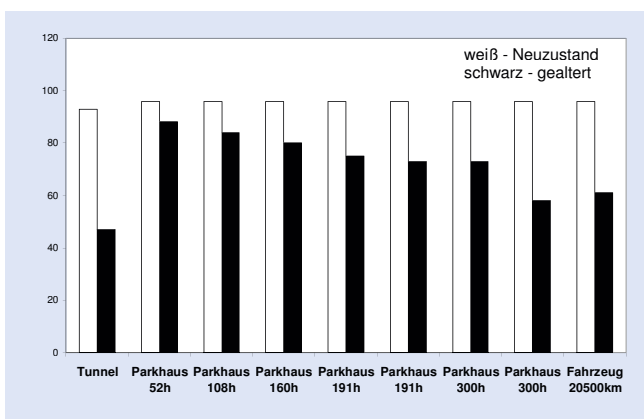


Abbildung 6: Fraktionsabscheidegrad für SAE A2, 0,3 - 0,5 μm

Die im Parkhaus beladenen Filter zeigen mit steigender Laufzeit eine verringerte Abscheideleistung, wie Abbildung 6 zeigt. Der im Fahrzeug beladene Filter zeigt im Vergleich zu den beiden Parkhaus-300 h Filtern eine niedrigere bzw. ähnliche Abscheideleistung, der Druckverlustanstieg ist hingegen kleiner.

Zwar fehlt eine entsprechende Statistik mit einer hinreichend großen Anzahl geprüfter Filter, zusammenfassend jedoch lässt sich an dieser Stelle feststellen, dass:

- bezüglich der Beladungszeit in etwa der Faktor 10 zwischen Tunnel und Parkhaus liegt
- die Extrembelastung des Tunnels über die Laufzeit von 300 h Parkhaus nicht ganz erreicht wurde
- die Ergebnisse in Parkhaus größenordnungsmäßig reproduzierbar sind
- kein entscheidender Einfluss der Wetterlage feststellbar ist
- eine 300-stündige Beladung im Tunnel in etwa einer Kilometerleistung von 15.000 - 25.000 km im gemischten Fahrbetrieb entspricht

Insofern scheint die Beladung im Parkhaus eine brauchbare Möglichkeit der praxisnahen Filterbeladung zu sein.

Mit dem mittelfristigen Ziel, eine reproduzierbare und differenzierende Laborprüfung zu schaffen, wurde im nächsten Schritt damit begonnen, eine Datenbasis zu schaffen. Anhand zweier unterschiedlicher Typen von Partikelfilter sollte die Abhängigkeit von Laufzeit zu Partikelabscheideleistung ermittelt werden.

Über den Zeitraum von einer Woche konnten zudem Messungen der Umgebungsluft durchgeführt werden. Es kamen dieselben Geräte zum Einsatz, mit denen auch im Labor die Leistungswerte ermittelt werden sollten.

Anhand dieser Daten müssen nun weitere Untersuchungen zeigen, ob unter Laborbedingungen mit alternativen Staubgeneratoren ähnliche Alterungserscheinungen herbeigeführt werden können wie im Parkhaus.

Diese Untersuchungen sind eingeleitet und nähern sich einem Stadium, in dem letztlich die Aktivität weiterer Automobilhersteller und deren Lieferanten für die Schaffung eines Standards benötigt wird.

■ Literatur

[1] DIN 71460

[2] PKW-Klimatisierung IV, Filterkonzepte für den Kfz-Innenraum, Dr. H. Reinhardt

Freudenberg Filtration Technologies KG

69465 Weinheim / Deutschland

Telefon +49 (0) 6201 80-6106 | Fax +49 (0) 6201 88-6106

info@freudenberg-filter.com | www.freudenberg-filter.de

