

**Publication Series MicronAir**

---

**micronAir®**

## **Filterkonzepte für den Kfz Innenraum**

**Dr.-Ing. Heinz Reinhardt  
Freudenberg Vliesstoffe KG  
69465 Weinheim, Germany**

**Paper presented at:  
PKW-Klimatisierung IV  
Oktober 2005  
in Starnberg**



# **Filterkonzepte für den KFZ Innenraum**

---

Heinz Reinhardt

## **Zusammenfassung**

Die Filtration von Zuluft in den KFZ Innenraum ist seit Anfang der neunziger Jahre bekannt. Die angewendeten Filterkonzepte werden einerseits von der Qualität und der Quantität der abzuscheidenden Luftverunreinigungen bestimmt, andererseits werden sie durch die vorliegenden technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen der Heizungs/Klimaanlagen begrenzt.

Leistungsfähige Filterkonzepte müssen sich den daraus erwachsenden Anforderungen stellen und der Veränderung der Zusammensetzung der Luftverunreinigung Rechnung tragen. Der Definition eines geeigneten Bauraumes für den Filter kommt dabei eine bedeutende Rolle zu.

Wichtig ist außerdem eine verständliche Darstellung aussagekräftiger Resultate zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Filtern. Die dazu eingesetzte Meßtechnik muss in der Lage sein, einzelne Filter standardmäßig bewertend zu vergleichen, darüber hinaus aber auch eine hohe Praxisrelevanz aufweisen. Das Verhalten der Filter muss nicht nur im Labor, sondern auch in der Praxis mit geeigneten Methoden überprüft werden.

Daraus gewonnene Resultate betreffen bei der Partikelfiltration beispielsweise Aussagen zum Verhalten gegenüber Feinstaub und in der Filtration von Gasen Aussagen zur Geruchsreduktion gegenüber definierten Gasen.

Im Vortag wird anhand von Beispielen auf diese Zusammenhänge eingegangen und praxisrelevante Ergebnisse von Messungen der Filtereffizienz gegenüber Partikeln und zur Geruchsreduktion mit Hilfe der Olfaktometrie vorgestellt.

## **1. Einleitung**

Beim Einsatz von Tiefenfiltern, wie sie im Bereich der Autoinnenraumfiltration Anwendung finden, besteht die grundlegende Optimierung immer darin, die angestrebte Abscheideleistung möglichst langfristig bei maximal möglichem Luftdurchsatz durch den Filter zu erreichen. Dies gilt für die Abscheidung fester, flüssiger und gasförmiger Substanzen aus den unterschiedlichsten Quellen. Die Abscheideleistung von Partikelfiltern wird durch die Messung des Fraktionsabscheidegrades bestimmt. Bei jedem Partikelfilter, – gleichgültig aus welchen Filtermaterialien er besteht – ist mit der Einlagerung von Stäuben ein Ansteigen des Druckverlustes verbunden, der die Standzeit des Filters begrenzt. Das Staubspeichervermögen gegenüber dem eingelagerten Staub ist daher ein weiterer wichtiger Parameter, der zu der Beschreibung der Leistungsfähigkeit eines Partikelfilters herangezogen wird.

Die Filtration gasförmiger Substanzen erfolgt durch die Sorption von Gasen an geeigneten Adsorbentien. Als Adsorbent kommt meist Aktivkohle zum Einsatz, da sie

gegenüber vielen Gasen wirksam ist. Die Sorption ist im Gegensatz zur Partikelfiltration mit keinem Anstieg des Druckverlustes verbunden. Die Standzeit wird bestimmt von der Kapazität der Aktivkohleschicht gegenüber definierten Gasen, die Abscheidung durch das Durchbruchverhalten gegenüber diesen Gasen. In Tabelle 1 wird dieser Zusammenhang noch einmal dargestellt.

	Abscheidung	Standzeit
<b>Partikelfilter</b>	Fraktionsabscheidegrad Trenngrad	Druckverlustanstieg Staubspeichervermögen
<b>Aktivkohlefilter</b>	Durchbruchverhalten Spontaneität	Kapazität

Tabelle 1: Optimierungsgrößen in der Filtration

Im Bereich der Autoinnenraumfiltration werden heute Partikelfilter und Kombifilter eingesetzt, die sich in ihrer Leistungsfähigkeit durchaus unterscheiden. Sie erreichen Standzeiten von 15.000 - 40.000 km, in Einzelprojekten werden Standzeiten von 60.000 km gefordert.

Die Standzeit wird auch bei Kombifiltern technisch durch den Druckverlustanstieg im Partikelfiltermaterial begrenzt. Aufgrund hygienischer Anforderungen darf sie außerdem 2 Jahre nicht überschreiten [1]. Wir empfehlen, die Filter jährlich zu wechseln.

## 2. Darstellung der Luftverunreinigungen

Ein durchschnittlicher Erwachsener nimmt pro Tag 2 - 3 kg Flüssigkeit und 1 - 1,5 kg feste Nahrung, aber 20 - 30 kg Luft zu sich. Luft ist also unser wichtigstes Lebensmittel. Die in natürlicher Luft vorliegenden Luftverunreinigungen bestehen aus partikelförmigen Luftinhaltsstoffen (Abbildung 1) und Gasen.

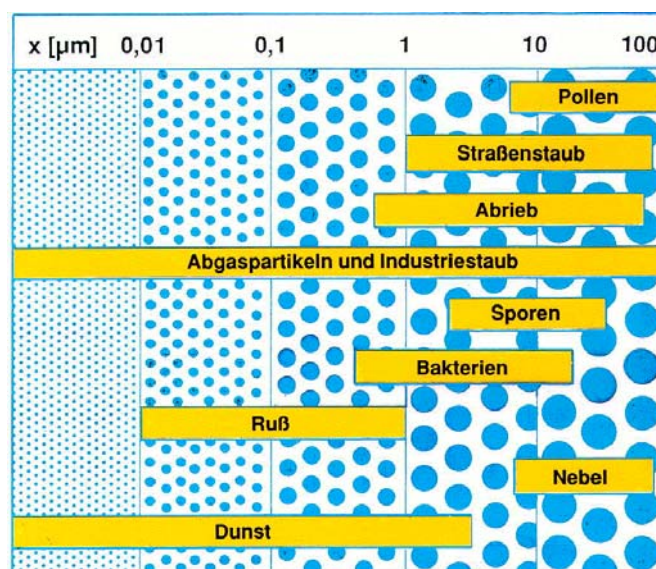


Abbildung 1: Größenbereich partikelförmiger Luftinhaltsstoffe

Stäube stammen aus natürlichen Quellen (geogene, biogene, marine Stäube) und anthropogenen Emissionen aus industriellen und Verbrennungsprozessen, im Straßenverkehr spielen darüber hinaus Abriebe von Bremsen, Kupplungen, Reifen und Straßenbelag eine bedeutende Rolle.

Die auftretenden Konzentrationen sind sehr unterschiedlich, die Partikelgrößen liegen je nach Herkunft zwischen  $0,01 \mu\text{m}$  und  $> 100 \mu\text{m}$ .

In Tabelle 2 ist eine Unterteilung von Partikelgrößen in Bezug auf ihre Bedeutsamkeit für den Menschen wiedergegeben.

Kategorie	Partikelgröße
Inhalierbarer Feinstaub ( Thorakaler Staub; PM 10 )	$< 10 \mu\text{m}$ Partikelgröße
Lungengängiger Feinstaub ( alveolengängiger Feinstaub; PM 2,5 )	$< 2,5 \mu\text{m}$ Partikelgröße
Ultrafeine Partikel	$< 0,1 \mu\text{m}$ Partikelgröße

Tabelle 2: Bedeutsamkeit von Partikelgrößen

Während für die Gesamtbevölkerung aus gesundheitlicher Sicht die Fraktion  $\leq 2,5 \mu\text{m}$  wichtig ist, kann bei allergisch reagierende Personen, deren Anteil an der Gesamtbevölkerung in USA oder Europa stark ansteigt, bereits die Inhalation von relativ großen Pollen durch Ablagerung im oberen Atemtrakt gesundheitliche Probleme hervorrufen.

Der Atemtrakt selbst reagiert wie ein Filter; in Abbildung 2 ist die bevorzugte Ablagerung der einzelnen Staubfraktionen im Atemtrakt wiedergegeben.

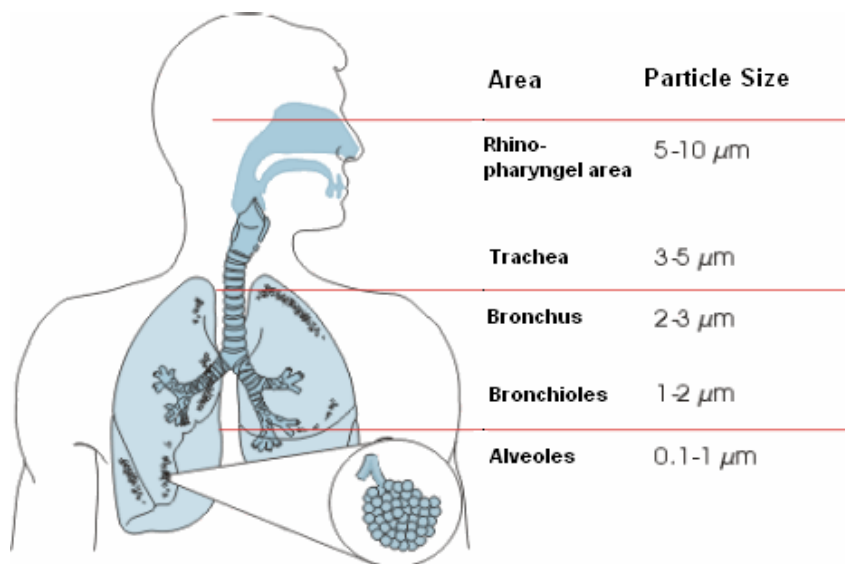


Abbildung 2: Partikelablagerung im Atemtrakt

Die luftfremden Gase stammen meist aus natürlichen und anthropogenen Verbrennungsprozessen, insbesondere  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  sind wichtig, wobei  $\text{CH}_4$  und  $\text{NO}_x$  Vorläuferkomponenten für Photooxidantien sind, insbesondere von Ozon. Weitere wichtige Gase sind Acetaldehyd und  $\text{NH}_3$ .

Während die Gesamtstaubkonzentration in den letzten Jahren drastisch zurückging, ist die Feinstaubkonzentration durch den Anstieg von Verbrennungsprozessen

weniger stark gesunken. Vor 1999 wurde in Deutschland primär der Gesamtschwebstaub (Partikelgröße  $< 30 \mu\text{m}$ ) betrachtet, seit 1999 misst man die PM 10 Fraktion; an ersten Stationen wird die Konzentration der PM 2,5 Fraktion sowie der ultrafeinen Nanopartikeln gemessen. Damit kommt man der Messung der für die Gesundheit des Menschen relevanten Partikelgrößen näher. US Studien haben ergeben, dass eine Korrelation zwischen der Konzentration alveolengängigen Feinstaubes und erhöhten Mortalitätsraten besteht [2].

Die Diskussion um die Abscheidung von Feinstaub hat durch das Inkrafttreten der EU Feinstaubrichtlinie [3] Anfang 2005, nach der ein 24h Grenzkonzentrationswert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  nur an 35 Tagen pro Jahr überschritten werden darf, europaweit an Bedeutung gewonnen..

Die VOC Konzentrationen (Benzol, Toluol, Xylol, n-Butan) nahmen zwischen 1994 und 2000 um 20% ab, noch stärker die  $\text{SO}_2$  Konzentrationen (35 % zwischen 1994 und 2000). Die  $\text{NO}_x$  Konzentrationen sind in etwa gleichbleibend, aber es wird ein Anstieg erwartet, während  $\text{O}_3$  Konzentrationen ansteigen. Der Fokus bei der Abscheidung gasförmiger Substanzen sollte in Zukunft deswegen neben der Abscheidung von VOCs vermehrt auf die Adsorption der Geruchsträger, sowie von  $\text{NO}_x$  und Ozon gerichtet sein.

In Abbildung 3 sind Konzentrationswerte wichtiger Luftinhaltsstoffe in Deutschland im Zeitraum 1995 bis 2004 dargestellt. Aufgetragen sind die Durchschnittswerte von mehr als 400 Meßstationen. Die Verringerung der Durchschnittswerte schließt einen Anstieg lokaler Werte nicht aus.

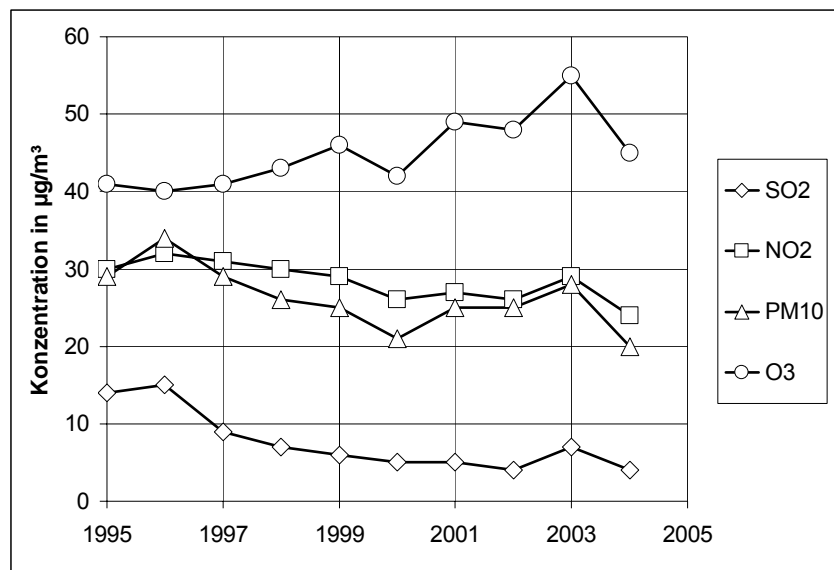


Abbildung 3: Durchschnittswerte der Luftverunreinigung

### 3. Zielsetzung der Filtrationskonzepte im KFZ

Der Einsatz von Autoinnenraumfiltern in der heutigen Form begann in der Oberklasse Anfang der neunziger Jahre. Von Anfang an wurden zwei Konzepte verfolgt, nämlich

- die Reinigung der Frischluft ausschließlich von Partikeln
- die Partikelabscheidung und die Adsorption von gasförmigen Luftverunreinigungen

Gasförmige Luftverunreinigungen wurden in Aktivkohleblocks, in denen bis zu 900 Gramm Aktivkohle verwendet wurden, adsorbiert. Diese Blocks zeigten eine gute Wirksamkeit auch gegen toxische Gase in ihrer gesamten Breite, waren aber selbst in der Oberklasse zu schwer und zu teuer. Sie bauten einen zu hohen Druckverlust auf und waren für den Einsatzfall überdimensioniert.

In derselben Zeit wurden auch immer mehr Fahrzeuge aller Klassen mit Klimaanlage ausgerüstet, in denen zunächst nur Partikelfilter eingesetzt waren. Dabei entstand der Wunsch, auch in diesen Fahrzeugen neben der Abscheidung von Partikeln durch den Einsatz einer adsorbierenden Filterschicht eine gewisse Reduktion von gasförmigen Substanzen zu erreichen, wobei weniger der Schutz gegen toxische Gase im Zentrum des Interesses stand (dieser Effekt wurde „mitgenommen“, da Aktivkohle als eingesetztes Adsorbens gegen einen Teil dieser Gase wirksam ist), sondern vielmehr eine Komforterrhöhung durch Geruchsreduktion. Ab 1996 kamen Kombifilter mit der Zielsetzung auf, in einem Filterelement gleichzeitig Partikel unterschiedlichster Art abzuscheiden und gasförmige Substanzen zu adsorbieren.

Die Optimierungsaufgabe wurde durch eine Weiterentwicklung der Filtermedien im Partikelfilterbereich und die Neuentwicklung von Aktivkohlemedien gelöst, war aber mit einer Absenkung der Leistung gegenüber der Abscheidung von Partikeln verbunden. Die neuen Medien zur Partikelfiltration verursachten im System einen geringeren Druckverlust, der dadurch entstehende Spielraum konnte für den Einsatz einer Aktivkohleschicht zur Adsorption genutzt werden. Über die Absenkung der Partikelfiltrationsleistung konnten gleichzeitig die Standzeitforderungen eingehalten werden, die sich gegenüber Partikelfiltern nicht verändert hatten und sich im Laufe der Zeit von ca. 15.000 km auf heute bis zu 40.000 km und mehr erhöht haben.

Primäres Ziel des Konzeptes „Kombifilter“, das sich heute durchgesetzt hat, ist das „peak-shaving“, das Kappen der Konzentration auftretender Gase mit dem Ziel, sie möglichst lange unter Einbezug von Adsorptions-/Desorptionszyklen unter der Wahrnehmungsschwelle der Passagiere zu halten. Die Standzeit dieser Filter wird technisch durch den Druckverlustanstieg in der Partikelfilterschicht begrenzt.

Im konkreten Einsatzfall ist zur Auslegung des Filters eine multidimensionale Optimierung notwendig, die sich auf die Filtertechnik und das Zusammenspiel mit dem jeweiligen Einbauraum bezieht und zwar unabhängig davon, ob der Filter vor oder im System eingebaut wird.

Der Filter muss die spezifizierten Anforderungen erfüllen; er muss darüber hinaus kraftschlüssig im System sitzen, mechanisch und thermisch stabil sein und darf keine Klappergeräusche verursachen.

#### **4. Einbausituation und Filterleistung**

Während zunächst die Filterelemente sowohl im Wasserkasten (Plenum) als auch in der Heizungs-/Klimaanlage eingebaut waren, ist heute in mehr als 80 % aller Entwicklungsprojekte der Einbau der Filterelemente im Heizungs-/Klimasystem vorgesehen.

Die zusätzliche Filtration von Umluft zum Schutz vor belästigenden Gerüchen (z. B. Ausdunstungen aus Innenraummaterialien und passagierbedingten Belästigungen wie Zigarettenrauch) ist nur beim Einbau des Filterelementes im System möglich. Es ist allerdings empfehlenswert, die Funktion Frischluftfiltration und Umluftfiltration wegen der unterschiedlichen Zielsetzungen zu trennen und einen separaten

Umluftfilter einzusetzen. In Tabelle 3 ist die unterschiedliche Aufgabenstellung für Frischluftfilter und Umluftfilter dargestellt.

<b>Frischluftfilter</b>	<b>Umluftfilter</b>
Höhere Feinpartikelabscheidung	Höherer Grobstaubanteil, Haare, Textilfasern
Adsorption eines breiten Gasspektrums	Adsorption der Ausgasungen von Innenraummaterialien
Adsorption von Dieselgerüchen	Adsorption von Zigarettenrauch

Tabelle 3: Unterschiedliche Aufgabenstellung von Frisch- und Umluftfilter

Prinzipiell ergeben sich zwar filtertechnisch keine Unterschiede durch die Einbausituation, ihre unterschiedliche Ausgestaltung hat jedoch im Einzelfall durch übergeordnete Zielsetzungen wie z.B. einen möglichst kleinen Einbauraum sehr wohl große Bedeutung auf die Filterauslegung. Die Platzverhältnisse beeinflussen neben der einbaubaren Filterfläche auch die Filtergeometrie und die konstruktive Ausgestaltung des Übergangs Filterelement / System mit den damit verbundenen Abdichtungsproblemen, so daß auch ein unmittelbarer Einfluß auf den Preis des Filterelementes gegeben ist.

Die Einbausituation, primär charakterisiert durch die Platzverhältnisse, ist zusammen mit den Einflüssen aus der Strömungsführung und der zur Verfügung stehenden Lüfterleistung der wichtigste vom System ausgehende Einflussfaktor für die Filterauslegung.

## 5. Überlegungen zur Optimierung von Autoinnenraumfiltern

Abbildung 4 zeigt Überlegungen zu einer Produktpositionierung und zu Optimierungsmöglichkeiten von Autoinnenraumfiltern.

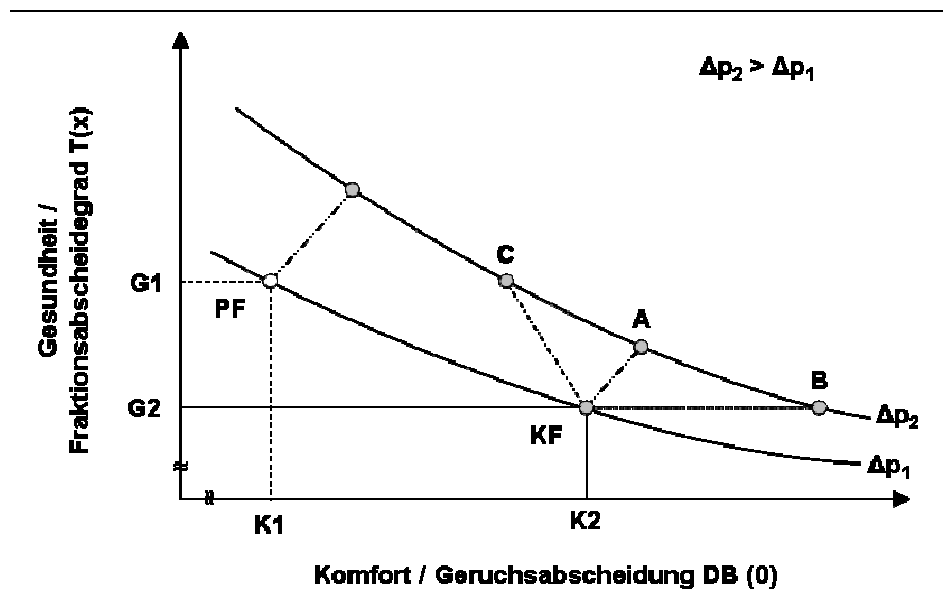
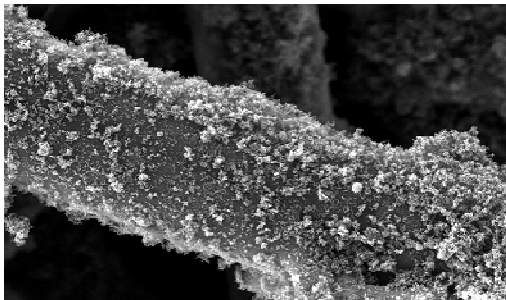


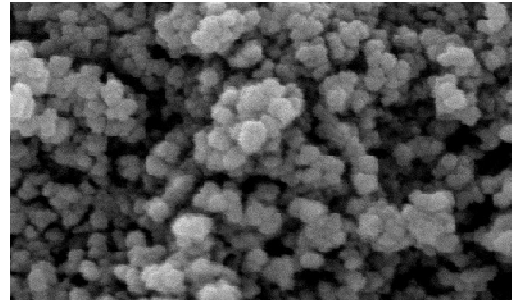
Abbildung 4: Filterpositionierung

Neben dem Aggregatschutz ist der Schutz des Fahrzeugpassagiers vor schädlichen und belästigenden Umgebungseinflüssen ist das primäre Ziel beim Einbau eines Innenraumfilters, er soll also gleichzeitig einen Beitrag zum Schutz der Gesundheit und zur Steigerung des Komforts leisten.

In der Abbildung ist deshalb eine „Gesundheitsachse“ und eine „Komfortachse“ aufgetragen. Der Gesundheitsbeitrag kann als Leitgröße über den Fraktionsabscheidegrad gegenüber Partikeln dargestellt werden, die in Abhängigkeit ihrer Partikelgröße unterschiedlich tief in die Lunge eindringen können, wobei aber auch die relativ großen Pollen bei Allergikern durch Ablagerung in den oberen Atmungsorganen zu Problemen führen können. Abbildung 5 zeigt abgeschiedene Feinstäube in einem Filter. Sehr deutlich ist die Kugelform der Partikel zu erkennen, die auf einen Verbrennungsprozeß hinweist und ihre starke Agglomerationsneigung.



Vergrößerung: 1.000-fach



Vergrößerung: 50.000-fach

Abbildung 5: REM Aufnahmen abgeschiedener Feinstäube

Bei Vorliegen einer hohen Feinstaubkonzentration ist im Verkehrsbereich auch mit der Präsenz von Schadgasen aus Verbrennungsprozessen zu rechnen. Als bestimmende Größe zur Festlegung des Komfortbeitrages kann daher im Verkehrsbereich die Wirksamkeit des Filters gegenüber dem Geruch von Dieselabgas betrachtet werden, da der Geruch von Dieselabgasen unabhängig vom Vorliegen gesundheitlicher Aspekte von praktisch allen Verkehrsteilnehmern zumindest als störend oder lästig empfunden wird.

In Abbildung 4 sind zunächst als Parameter 2 Kurven eingetragen, die unterschiedliche vom System für die Filtration vorgegebene Druckverlusthöhen repräsentieren. Wie bereits ausgeführt wird der für die Filtration zur Verfügung stehende Druckverlust über den Filter für ein gegebenes Leistungsniveau neben den eingesetzten Filtermedien zum großen Maße vom System, d.h. hauptsächlich von seiner Strömungsführung, den für den Filter zur Verfügung stehenden Einbauraum und damit der wirksamen Filterfläche sowie durch die Leistungscharakteristik des Lüfters bestimmt. Zu beachten ist außerdem die Veränderung des Druckverlustes des Filters im Verlauf seiner Standzeit, die ihrerseits von hygienischen Bedingungen abhängig ist und aus diesem Grunde unabhängig vom Druckverlustverlauf maximal 2 Jahre nicht überschreiten darf.

Für ein gegebenes Druckverlustniveau  $\Delta p_1$  kann mit einem Partikelfilter (PF) oder einem Kombifilter (KF) gleichzeitig ein bestimmtes Verhältnis aus „Gesundheit“ und „Komfort“, ausgedrückt durch den Fraktionsabscheidegrad und die Geruchsabscheidung, erreicht werden.

Der Partikelfilter ist weiter in Richtung „Gesundheit“ (G1) positioniert. Die eingebaute Filterfläche ist bei gleicher Geometrie des Filterelementes größer, die Durchströmungsgeschwindigkeit somit kleiner und die Abscheidung höher. Es wird im Vergleich zum Kombifilter eine höhere Abscheidung des Feinstaubes ( $< 2,5 \mu\text{m}$ )

erreicht, während die Abscheidung von Pollen ( $> 5 \mu\text{m}$ ) mit einem solchen Filter zu nahezu 100 % erfolgen kann. Der Filter bietet darüber hinaus einen Komfortanteil (K1), weil er zu einem gewissen Maße auch die Feinpartikel abscheidet, an deren Oberfläche Geruchsmoleküle adsorbiert sind, die so nicht in den Innenraum des Fahrzeuges gelangen.

Ein Kombifilter (KF) auf gleichem Druckverlustniveau ist mehr in Richtung „Komfort“ (K2) und weniger in Richtung „Gesundheit“ (G2) positioniert. Der Druckverlust wird zur gleichzeitigen Partikelabscheidung und Geruchsadsorption genutzt, was gegenüber dem Partikelfilter mit einer Absenkung des Fraktionsabscheidegrades verbunden ist. Da insbesondere die Abscheidung von Feinpartikeln überproportional zum Druckverlustaufbau beiträgt, kann durch die Absenkung der Abscheidung in diesem Bereich die Standzeit verlängert werden. So werden mit dem Kombifilter ähnliche Standzeiten wie mit dem Partikelfilter erreicht. In Abbildung 6 sind beispielhaft die unterschiedlichen Anfangsfraktionsabscheidegrade für einen Partikelfilter und einen Kombifilter mit gleicher äußerer Geometrie gemessen nach DIN 71460 wiedergegeben.

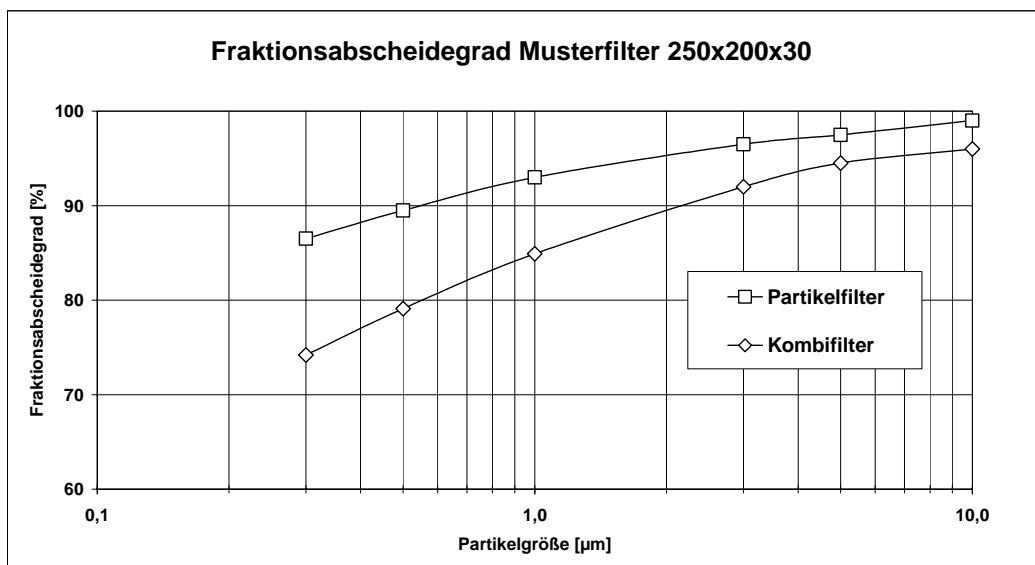


Abbildung 6: Typische Fraktionsabscheidegrade

## 6. Optimierung auf gleichem Druckverlustniveau

Zur Optimierung auf gleichem Druckverlustniveau ist die ständige Weiterentwicklung von Medien zur Partikelfiltration und zur Adsorption nötig. Diese Optimierung ist das primäre Entwicklungsziel der Filterelementhersteller. Für die Partikelfiltermedien ist die Entwicklungsrichtung der Einsatz von Vliesstoffen mit Fasern geringeren Durchmessers bei gleichzeitiger Verbesserung des progressiven Schichtaufbaus des Mediums, um so die Abscheidung von Feinstäuben zu verbessern und gleichzeitig das Staubspeichervermögen, insbesondere gegenüber Feinpartikeln, zu erhöhen. Bei den Adsorptionsmedien sind ständig neue Adsorbentien auf ihre Eignung für den Einsatzfall zu untersuchen. Oft muss an dieser Stelle Grundlagenforschung betrieben werden.

Die so ausgewählten Adsorbentien müssen auf Trägermedien mit hoher Luftdurchlässigkeit aufgebracht werden. Das Anhaften des granulatförmig

vorliegenden Adsorbens auf dem Träger muss während des Fertigungsvorganges des Filterelementes und seiner gesamten Einsatzdauer gewährleistet sein. Gleichzeitig darf die für die Adsorptionsleistung nötige innere und äußere Oberfläche des Adsorbens nicht durch den in diesem Prozess notwendigen Binder unzulässig verringert werden.

Über die fertigungstechnische Optimierung dieser Materialien ist es auch möglich, zur Optimierung in der Elementgestaltung zu kommen. Zielsetzung ist hier, eine möglichst große wirksame Filterfläche im gegebenen Einbauraum unterzubringen.

## **7. Optimierung auf erhöhtem Druckverlustniveau**

Aus Abbildung 4 ist zu entnehmen, dass die Filterleistung zu erhöhen ist, wenn dem Filter ein höherer Anfangsdruckverlust  $\Delta p_2$  zugestanden wird.

Im Falle eines Partikelfilters ist die weiter erhöhte Abscheideleistung gegenüber Feinpartikeln z. B. durch den vermehrten Einsatz von Mikrofasern oder Nanofasern im Filtermedium bei gleicher installierter Filterfläche im Filterelement gegeben. Damit ist von Anfang an ein reduzierter Volumenstrom verbunden und auch die Standzeit des Filters wird reduziert. Trotzdem kann eine solche Filterkonzeption für gesundheitsbewusste Autofahrer und für Vielfahrer sowie zum Schutz der Heizungs-/Klimaanlagenkomponenten sinnvoll sein. Allergikern wird sowieso geraten, den Filter unabhängig von der gefahrenen Kilometerzahl einmal pro Jahr zu wechseln. Für diese Personengruppen stellt ein solches Konzept eine Alternative zu einem Standardpartikelfilter dar, auf die insbesondere im Nachbezugsgeschäft eingegangen werden kann.

Im Falle des Kombifilters sind, ausgehend von einem Standardkombifilter auf dem Druckverlustniveau  $\Delta p_1$ , prinzipiell drei Entwicklungsrichtungen möglich. Zunächst kann auch dort ein Medium zur verbesserten Abscheidung von Partikeln bei unveränderter Aktivkohle eingesetzt werden. Wenn die gleiche Standzeit wie für den verbesserten Partikelfilter erreicht werden soll, wird der Gesundheitsbeitrag steigen, aber infolge der geringeren zur Verfügung stehenden Filterfläche geringer ausfallen (Punkt A). Auf der Komfortachse wird ebenfalls eine leichte Verbesserung erreicht. Der zusätzliche Druckverlust kann aber auch voll für die Erhöhung des Komforts bei unverändertem Gesundheitsanteil (Punkt B) eingesetzt werden oder für eine überproportionale Erhöhung des Gesundheitsanteils auf Kosten des Komfortanteils (Punkt C).

Mit der Erhöhung der Feinpartikelabscheidung sind Standzeitverkürzungen zu erwarten, die abhängig vom Einzelfall zwischen 20% und 50% betragen können.

## **8. Weitere Optimierungsmöglichkeiten**

Die heute eingesetzten Filter sind meist in Richtung der Abscheidung der in DIN 71460 Teil 1 [4] definierten Stäube und der in DIN 71460 Teil 2 [5] aufgeführten Gase Butan, Toluol und  $\text{SO}_2$  optimiert. Durch die Variation von Partikelfiltermedien, verbunden mit dem Einsatz geeigneter, auch imprägnierter Adsorbentien, können die Filterelemente weg von einer unspezifischen, breit angelegten Adsorption gegenüber vielen Gasen hin zu einer bevorzugten Abscheidung definierter Gase oder Gerüche weiterentwickelt werden. Dies betrifft z. B. die Verringerung des Dieselgeruches, die Abscheidung von Ozon oder die Verringerung von Stickoxiden.

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit solcher Konzepte sind Meßmethoden nötig, die über die heute in Spezifikationen geforderten Methoden hinausgehen.

## 9. Aussagen der Standardmeßtechnik

In DIN 71460 Teil 1 ist die Messvorschrift definiert, die zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Partikelfilter dient, während in DIN 71460 Teil 2 die Messvorschrift für die Adsorption an Hand der Gase Butan und Toluol als Vertreter der Kohlenwasserstoffe sowie  $\text{SO}_2$  als Vertreter anorganischer Gase festgelegt ist. Diese Gase wurden ausgewählt, weil sie Leitsubstanzen zur generellen Festlegung der Luftqualität im Anwendungsfall „Autoinnenraumfiltration“ darstellen.

DIN 71460 ist heute europaweit anerkannt, die nach DIN einzuhaltenden filtertechnischen Werte werden in den Spezifikationen pro Projekt definiert.

Die Partikelabscheideleistung wird durch den Fraktionsabscheidegrad gegenüber dem Teststaub A2 (SAE fine) bestimmt. Der Fraktionsabscheidegrad setzt für einen bestimmten Volumenstrom die Anzahlkonzentration der Partikel vor dem Filter zur Anzahlkonzentration nach dem Filter für einzelne Partikelgrößen in Beziehung; er wird in % angegeben. Ein typischer Verlauf wurde bereits in Abbildung 6 vorgestellt.

Wichtig sind als weitere Größen der Anfangsdruckverlust und der im Einzelfall vorgegebene Enddruckverlust. Von der Differenz dieser beiden Werte hängt die Staubspeicherfähigkeit des Filters ab, d.h. die Masse eines Staubes, die bis zum Erreichen eines bestimmten Enddruckverlustes vom Filter aufgenommen wird.

Die Gasadsorptionsfähigkeit von Filtern wird nach DIN 71460 Teil 2 bei Konzentrationen von 80 ppm bzw. 30 ppm geprüft und besteht aus einer Einzelmessung gegenüber jedem Prüfgas, eine Aussage für ein Gasgemisch ist nicht möglich. Als Leistungskriterium für den Filter gelten der Anfangsdurchbruchwert und die Werte nach 1, 2 oder 5 Minuten, sowie die Kapazität für das Testgas, die dann erreicht ist, wenn der Filter einen Durchbruchwert von 95% aufweist. Typische Ergebnisse einer Adsorptionsmessung sind in Abbildung 7 wiedergegeben.

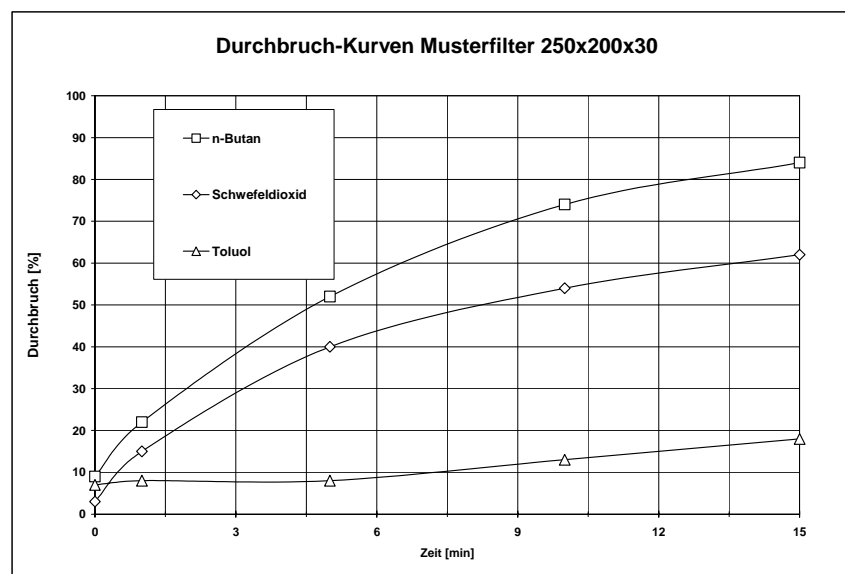


Abbildung 7: Typische Durchbruchkurven

Diese Ergebnisse sind zwar für den Fachmann im Quervergleich aussagekräftig und müssen durchgeführt werden, um einen ersten Qualitätsvergleich durchführen zu können. Sie sollten aber durch realitätsnahe Messungen ergänzt werden, die genauere Aussagen zum Gesundheits- und Komfortaspekt ermöglichen.

So zeigt der Test von Partikelfiltern mit Umgebungsaerosol durchaus noch deutliche Leistungsunterschiede, wenn nach DIN 71460-1 nur geringe Differenzen gefunden werden. Gleiches gilt für Standzeitaussagen, wenn auch die Bestäubung mit Umgebungsaerosol durchgeführt wird.

## 10. Ergebnisse weiterführender Messtechnik

Daher bauen wir Filter in reale HVAC Anlagen ein und setzen sie der Atmosphäre in einem Tunnel aus. Zunächst wird der Anfangsabscheidegrad mit atmosphärischem Aerosol in einem Prüfstand nach DIN 71460 gemessen, danach werden die Filter zur Simulation ihrer Standzeit bis zum Erreichen des Enddruckverlustes mit den im Tunnel herrschenden hohen Feinstaubkonzentrationen beladen, wobei es möglich ist, die Abscheidung zu jedem Zeitpunkt des Versuches und bei Erreichen des Enddruckverlustes zu bestimmen. Mit der Kenntnis der vorliegenden Konzentration können auch Aussagen zur erreichbaren Standzeit des Filters gemacht werden. Diese Vorgehensweise haben wir zur Entwicklung eines Kombifilters angewendet, der gleichzeitig die Zielsetzung hat, Feinstaub verstärkt abzuscheiden. Ergebnisse im Vergleich zu einem Standardkombifilter sind in Abbildung 8 für die Abscheidung gegenüber atmosphärischem Aerosol im Neuzustand und bei Erreichen des Enddruckverlustes dargestellt.

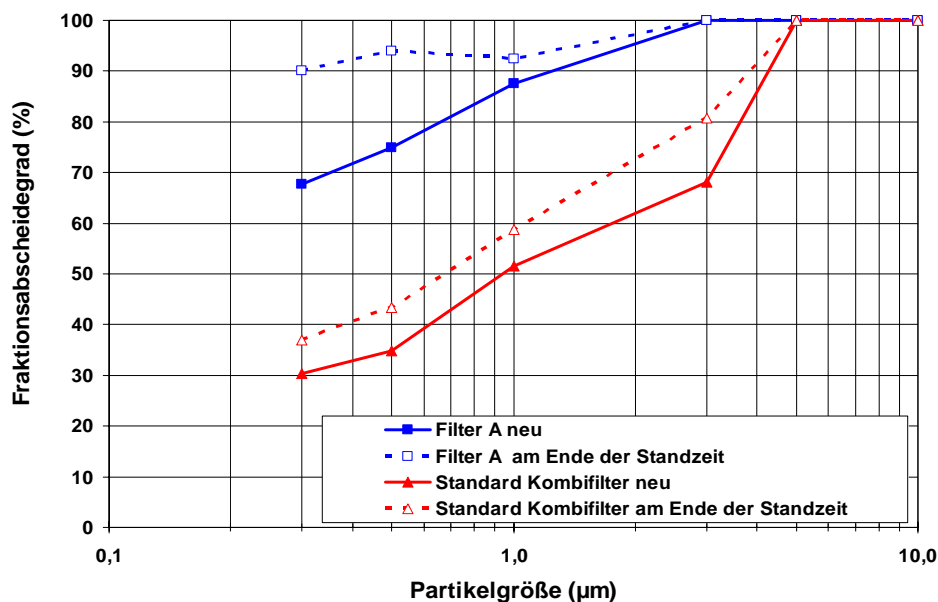


Abbildung 8: Verstärkte Abscheidung von Feinstaub

Ausgehend von einem Standardfilter war es Zielsetzung, gleichzeitig Geruchs- und Partikelabscheidung zu erhöhen (Punkt A in Abbildung 4). Betrachtet man die Abscheidung bei 1µm, so ist zu sehen, dass der Anfangsabscheidegrad von 52% auf ca. 87% angehoben wird, während die Abscheidung zu Ende der Standzeit von ca.

58% auf ca. 92% steigt oder anders ausgedrückt, dass der Durchlassgrad gegenüber Feinpartikeln von 1µm um ca. 70% anfangs und bis zu ca. 80% zum Ende der Standzeit des Filters zurückgeht. Verbunden war damit unter diesen Extrembedingungen ausgehend von einer Standzeit des Standardfilters von 30.000 km eine Verringerung der Standzeit um etwa 25%.

## 11. Bewertung von Dieselgeruch mit Hilfe der Olfaktometrie

Für die Adsorption bedeutet dies, dass auch Aussagen zum Verhalten des Filters im unteren ppm Bereich bzw. im ppb Bereich erarbeitet werden müssen. Messanordnungen, die diese Anforderungen erfüllen, sind jedoch mit einem großen Aufwand verbunden, nur gegenüber Einzelgasen möglich und wie das Messen von Gasgemischen nicht Stand der Technik.

Zur Darstellung des Komfortaspektes eignen sich die in DIN 71460 benutzten Gase nicht; da insbesondere das meist verwendete n-Butan und auch Toluol keine kritischen Geruchsstoffe sind.

Wir verwenden daher zur praxisrelevanten Leistungsbewertung gegenüber Gerüchen die Methode der dynamischen Olfaktometrie, die den Geruchssinn des Menschen als Messinstrument ausnutzt, um die Geruchsschwelle für Substanzen zu bestimmen. Die Methode ist nicht nur zur Bewertung von Einzelkomponenten, sondern auch bei Vorliegen von Stoffgemischen einsetzbar, eignet sich also sehr gut zur Beurteilung der Leistung von Filterelementen für die Abscheidung von Dieselgeruch mit seinen mehr als 1000 verschiedenen chemischen Verbindungen. Auch mit dieser Methode ist es möglich bei baugleichen Filtern Unterschiede in der Leistungsfähigkeit aufzudecken, die nach DIN 71460 nicht gesehen werden können. Sie objektiviert subjektive Wahrnehmungen, bietet so Entwicklungsingenieuren weitere Informationen und Mitarbeitern aus Marketingabteilungen neue Kommunikationsmöglichkeiten, indem der für den Endverbraucher wahrnehmbare Effekt des Filters angesprochen wird.

Olfaktometrische Messungen werden nach DIN-EN 13725 /6/ und VDI 3882 Teil 1 /7/ mit einem Olfaktometer durchgeführt. Ein Olfaktometer verdünnt eine Geruchsprobe definiert mit Neutralluft und leitet sie einem Versuchspannel von 4 Personen zur Beurteilung zu. Ziel ist die Ermittlung der Geruchsschwelle gegenüber dem Gas. Sie ist definiert als die Geruchskonzentration, bei der mindestens 50% des Versuchspannels aus 4 Personen den Geruch detektieren. Definitionsgemäß ist die Geruchsstoffkonzentration an der Geruchsschwelle  $1GE_E/m^3$  (1 europäische Geruchseinheit pro  $m^3$ ).

Zunächst werden am Gerät hohe Verdünnungsraten eingestellt, die schrittweise vermindert werden, bis alle Testpersonen bei einer eingestellten Verdünnung 2mal nacheinander den Geruch detektiert haben. Jede Probe wird zur Gewährleistung der statistischen Sicherheit 3mal gemessen.

Die Veränderung der Geruchsempfindung kann durch eine logarithmische Funktion der Geruchskonzentration beschrieben werden. Der Geruchspegel wird analog dem Geräuschpegel in  $dB_{OD}$  angegeben. Einer Veränderung des Geruchsempfindens um 50% entspricht eine Veränderung um 3  $dB_{OD}$ .

In den Abbildungen 9 bis 11 sind Ergebnisse aus olfaktometrischen Messungen wiedergegeben.

Abbildung 9 zeigt die Geruchsreduktion gegenüber verschiedenen Substanzen. Aufgetragen ist der Geruchspegel in  $dB_{OD}$ , in der Abbildung werden die Geruchspegelwerte der einzelnen Substanzen als Rohgas und als gefiltertes Gas

wiedergegeben. Zur Durchführung der Versuche wurde ein marktgängiges Aktivkohlematerial eingesetzt.

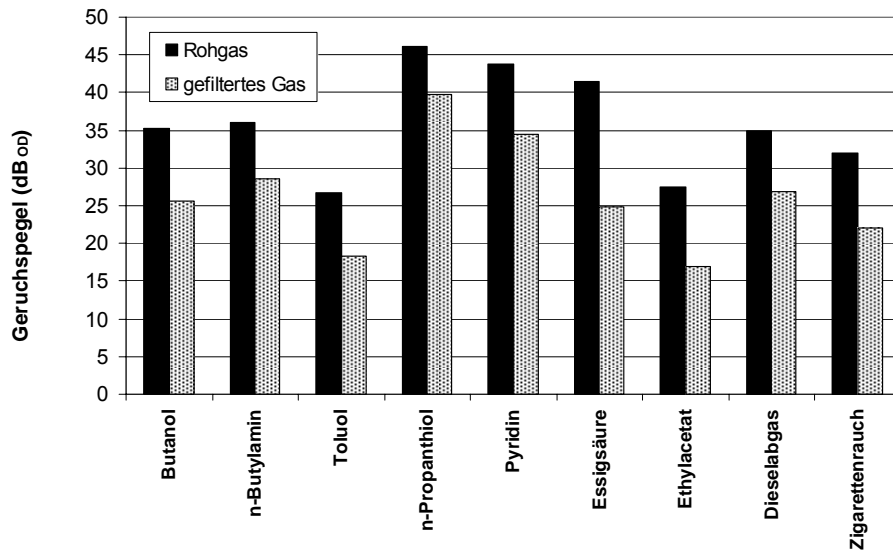


Abbildung 9: Geruchsreduktion mit Aktivkohle

Es ist zu sehen, dass für alle geprüften Substanzen eine Geruchsreduktion erreicht werden kann, die allerdings unterschiedlich ausgeprägt ist. Die hier vorliegende Kohle war alkalisch ausgerüstet, so dass die Geruchsreduktion bei sauren Substanzen besser war. Der Geruchslevel für n-Propanethiol wurde am geringsten reduziert, nämlich um 6 dB<sub>OD</sub>. Dieselgeruch wurde mit dieser Kohle um 7 dB<sub>OD</sub> verringert, dies bedeutet eine Verringerung des Dieselgeruchs um ca. 80%. In Abbildung 10 sind Ergebnisse aus Messungen gegen Dieselgeruch mit verschiedenen Aktivkohlefiltern im Neuzustand gegenübergestellt.

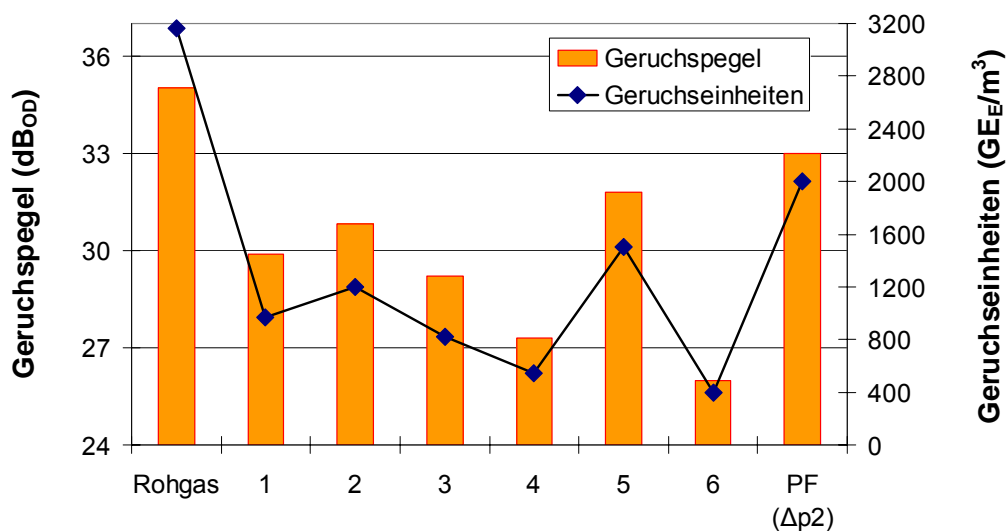


Abbildung 10: Olfaktometrische Bewertung neuer Filter

Auf der linken Skala ist der (logarithmische) Geruchspegel aufgetragen, auf der rechten Skala die linearen Geruchseinheiten. Die Balken zeigen die Geruchspegel, die durchgezogene Linie die vorliegenden Geruchseinheiten für die dargestellten Alternativen. Der erste Balken links gibt den Geruchspegel für die Nullprobe (Dieselgeruch ohne Filter) wieder.

Aus der Abbildung ist zu ersehen, dass mit unterschiedlichen Filtern Reduktionen um 3 bis 9 dB<sub>OD</sub> erreicht werden können, dies entspricht einer Verringerung des Geruchs um 50% bis 85%. Auch durch den Einsatz eines Partikelfiltermediums mit hoher Feinstaubabscheidung (höherem Mikrofaseranteil) allein, kann eine gewisse Reduktion des Dieselgeruches erreicht werden. Ein solcher Filter ist durch den rechten Balken im Diagramm repräsentiert.

In Abbildung 11 ist schließlich für den wirksamsten Filter aus Abbildung 10 die Anfangsabscheidung und die Abscheidung am Ende seiner durch das Partikelfiltermedium bestimmten Standzeit gezeigt; aus der Abbildung ist zu ersehen, dass der Filter nur um 2dB<sub>OD</sub> in seiner Leistung abfällt.

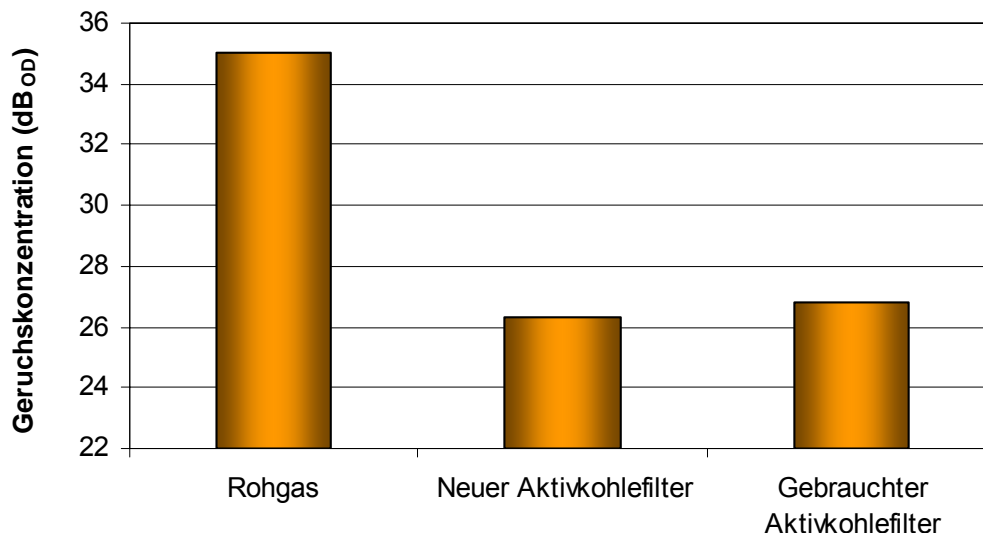


Abbildung 12: Geruchsreduktion neuer und gebrauchter Filter

## 12. Ausblick

Die Tendenz, die Praxisrelevanz von Filtertests zu erhöhen und die Ergebnisse verständlich einem breiten Kreis von Interessenten zugänglich zu machen wird steigen, da der Endverbraucher letztlich über die Verwendung der Filter bestimmt.

Das Arbeiten mit praxisrelevanten Stäuben und der Olfaktometrie sind erfolgsversprechende Werkzeuge, um solche Informationen zu erarbeiten und sollten daher systematisch für die Evaluation von Autoinnenraumfiltern genutzt werden.

## 13. Literatur

- [1] VDI 6032  
Hygiene-Anforderungen an die Lüftungstechnik in Fahrzeugen zur  
Personenbeförderung  
Verein Deutscher Ingenieure  
Düsseldorf, 2004
- [2] Wichmann  
Epidemiologie ultrafeiner Partikel  
BIA Report 7/2003
- [3] Richtlinie 1999/30/EG des Rates  
vom 22.04.1999  
ABC. L 163 vom 29.06.1999, S. 41
- [4] DIN 71460 - 1  
Straßenfahrzeuge – Luftfilter für Kraftfahrzeuginnenräume  
Teil 1 Prüfung  
Entwurf Mai 2003
- [5] DIN 71460 – 2  
Straßenfahrzeuge – Luftfilter für Kraftfahrzeuginnenräume  
Teil 2 Prüfung der Gasadsorption von Filtern  
Entwurf Februar 2003
- [6] DIN – EN 13725  
Bestimmung der Geruchsstoffkonzentration mit  
dynamischer Olfaktometrie  
Beuth Verlag, Berlin Juli 2003
- [7] VDI 3882, Blatt 1  
Olfaktometrie, Bestimmung der Geruchsintensität  
Verein Deutscher Ingenieure  
Düsseldorf, 1992