

**Publication Series micronAir®**

---

**micronAir®**

**Frischluf- und Umluftfiltration in PKWs  
Anforderungen, Lösungen, Entwicklungen**

**Dr.-Ing. Heinz Reinhardt,  
Freudenberg Filtration Technologies KG, Weinheim**

**PKW-Klimatisierung VI  
Haus der Technik Fachbuch Band 107  
Expert Verlag, 2010**

**Freudenberg  
Filtration Technologies**



## Zusammenfassung

Die Autoinnenraumfiltration für die Segmente Frischluftfiltration und Umluftfiltration entwickelt sich aufgrund unterschiedlicher Anforderungen immer mehr zu selbstständigen Anwendungen.

Auf dem Gebiet der Frischluftfiltration steht die Filtration von Fein- und Feinststäuben im Mittelpunkt der Diskussion. Ziel ist die Verbesserung der Partikelfiltration über die Laufzeit des Filters, ohne dabei große Zugeständnisse an die Lebensdauer des Filters, den Einbau- und den Druckverlust machen zu müssen. Außerdem werden die geforderten Adsorptionswerte weitgehend beibehalten.

Die Umluftfiltration gewinnt insbesondere wegen der gewünschten Einsparung von Energie durch den Kreislaufbetrieb gekühlter Luft an Bedeutung. Ziel ist die Reduktion der sich aufbauenden partikel- und gasförmigen Luftverunreinigungen in der Kabine bei diesem Fahrbetrieb. Aufkommende Fragen nach den Ausdünstungen von im KFZ-Innenraum verwendeten Materialien unterstützen diese Entwicklung.

Auf Ergebnisse dieser Entwicklungen wird anhand von Beispielen eingegangen.

### 1. Einleitung

In den letzten Jahren sind auf dem Gebiet der Autoinnenraumfiltration für PKWs bei den OEM in Europa verstärkt die Fein- und Feinststaubabscheidung aus der Außenluft sowie die innerhalb des Fahrzeugs bei Umluftbetrieb vorhandene partikel- und gasförmige Belastung diskutiert worden.

Nach einer Periode, in der es bei der Entwicklung von Autoinnenraumfiltern vor allem um die Erhöhung der Standzeit im normalen Fahrbetrieb von ursprünglich 15.000 auf 30.000 km bis zu geforderten 60.000 km ging, änderte sich die Einstellung mit dem Inkrafttreten der EU-Feinstaubrichtlinie [1] im Jahr 2005, deren Vorgaben sich zum Januar 2010 noch einmal verschärfen.

Die im Fahrzeug selbst entstehende Luftbelastung war bei asiatischen OEM schon seit Einführung der Innenraumfilter ein Thema. Erste Ansätze in Japan gingen nur von der Reinigung der Umluft in der Kabine und nicht der insgesamt einströmenden Frischluft aus. Erklärt werden kann dies mit der unterschiedlichen Verhaltensweise der Fahrer infolge anderer klimatischer Bedingungen, anderem Empfinden von Gerüchen und des viel weiter verbreiteten Rauchens.

Viele Publikationen, die sich mit der Umluftreinigung beschäftigen, gehen auch heute von Japan aus [2,3]. Bei der Zielvorgabe fließen Erfahrungen ein, die man bei der Klimatisierung von Gebäuden gewonnen hat, insbesondere Grenzwerte für das „Sick Building Syndrom“.

Der ursprünglich unterschiedliche Ansatz in Japan bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Innenraumfiltern ist auch heute noch verbunden mit dem Einsatz von anderen Prüfgasen im Vergleich mit Europa.

### 2. Aufgabenstellung

In Tabelle 1 sind die unterschiedlichen Quellen der Luftverunreinigung für die Frischluft- und Umluftfiltration dargestellt, die die Auswahl und Optimierung der eingesetzten Filtermaterialien und die Auslegung der Filterelemente stark beeinflussen.

Frischluftfiltration	Umluftfiltration
<ul style="list-style-type: none"><li>Natürlich vorhandene Stäube (meist Grobstäube)</li><li>Anthropogene Stäube<ul style="list-style-type: none"><li>Industrie (Fein- und Feinststäube, Gase)</li><li>Verkehr (Abriebe und Partikeln aus der Verbrennung; Gase (VOC, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, Dieselgeruch)</li><li>Landwirtschaft (meist Grobstäube und Gase (NH<sub>3</sub>))</li></ul></li><li>Biogene Partikeln (Pollen, Pilzsporen, Bakterien, [Viren])</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Durchlaß der Frischluftfiltration</li><li>durch Ausdünstungen und Abriebe von Innenraummaterialien (Stäube, Gase) und deren Verarbeitungshilfsmittel</li><li>durch Menschen und deren Kleidung (Stäube, Gerüche, Zigarettenrauch, Haare, Bakterien)</li><li>aus der Klimaanlage (Bakterien, Pilze)</li><li>durch Haustiere (Haare, Gerüche)</li></ul>

Tabelle 1: Unterschiedliche Quellen der Luftverunreinigung

### 3. Frischluftfiltration

In Abbildung 1 ist die Langzeitentwicklung der Luftverunreinigung in Deutschland für die wichtigsten erfassten Luftinhaltsstoffe wiedergegeben. Dargestellt sind gemittelte Werte von 7 bzw. 4 (für den PM<sub>2,5</sub> Wert) Messstationen des Umweltbundesamts in Berlin, die sich außerhalb der Ballungsgebiete befinden.

Aus der Abbildung ist zu entnehmen, dass sich in der Langfristbetrachtung lediglich für Ozon eine Steigerung der Immissionswerte ergibt, während sich die Werte für alle anderen betrachteten Substanzen reduziert haben. Ab 2000 ist unter Einbezug von Toleranzen jedoch nur noch bei SO<sub>2</sub> eine weitere merkliche Reduktion der Immissionswerte eingetreten. Die Werte für Ozon sind weiter angestiegen und die Werte für PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub> Stäube und NO<sub>2</sub> bleiben auf etwa gleichem Niveau.

Die Immissionswerte in Ballungsgebieten weichen von diesen Daten beträchtlich ab. So konnten in vielen Städten der 24-h-Grenzwert von 50 µg/m<sup>3</sup> Feinstaub und der Jahresgrenzwert, der zum Januar 2010 noch einmal verringert werden soll, nicht eingehalten werden.

Für Feinstaub gibt es keine allgemein gültige Definition. Eine VDI-Arbeitsgruppe hat eine Übersicht erarbeitet [4], die die Staubpartikel über ihre Partikelgröße in PM<sub>10</sub>-, PM<sub>2,5</sub>- und PM<sub>0,1</sub>-Staub einteilt. Stäube mit Partikelgrößen unter 1 µm werden auch Feinstäube genannt. Die Werte der EU-Feinstaubrichtlinie beziehen sich auf den PM<sub>10</sub>-Wert.

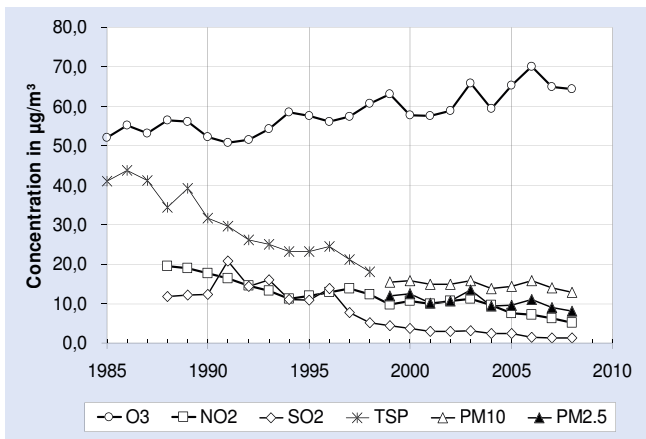


Abbildung 1: Entwicklung der mittleren Werte der Luftverunreinigung

Auf dem Gebiet der Autoinnenraumfiltration wurden seit 2005 in Europa bei der Frischluftfiltration neue Entwicklungen angestoßen, die eine Verbesserung der Abscheideleistung von Partikelfiltern gegenüber Feinstaub ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$ ) und Feinstaub ( $PM_{0,1}$ ) zum Ziel haben. Prinzipiell sind zwei Ansätze zu unterscheiden.

In einem ersten Ansatz, erarbeitet durch den TÜV Rheinland in Zusammenarbeit mit einem Hochschulinstitut, wurde eine Verbesserung der Abscheidung gegenüber der aus hygienischen Gründen notwendigen Minimalabscheidung von Partikeln gefordert. Zur Definition eines Feinstaubfilters werden bei der Prüfung die in DIN 71460 [5] verwendeten ISO-Prüfstäube und Maulbeerpollen eingesetzt. Verschiedene OEM erhöhten ihre Vorgaben zur Partikelabscheidung in den Spezifikationen.

Im zweiten Ansatz wird die Abscheideleistung des neuen Partikelfilters mit ISO-A2-Prüfstaub und zusätzlich mit einem weiteren Prüfaerosol (z. B. NaCl) gemessen, das das Filterverhalten im Bereich  $< 1 \mu m$  besser charakterisiert. Außerdem ist man interessiert an weitergehenden Aussagen zur Charakterisierung der Leistungsfähigkeit von Filtern gegenüber Praxisstäuben, die mit den bisherigen Methoden der Filterprüfung nur indirekt ableitbar sind.

Die Entwicklung betrifft in jedem Fall Kombifilter, die Anforderungen an die Adsorption werden nicht verringert. Zugeständnisse werden zur Erfüllung der höchsten Vorgaben teilweise beim Einbauraum gemacht.

#### 4. Zwei Ansätze für die Feinstaubfiltration

In Tabelle 2 sind die vom TÜV geforderten Abscheidungen mit dem Prüfstaub ISO A2 bei einem Volumenstrom von  $300 \text{ m}^3/\text{h}$  dargestellt, verglichen mit der nach VDI 6032 [6] notwendigen minimalen Abscheidung aus hygienischen Gründen. In der letzten Spalte sind beispielhaft tatsächlich erreichte Werte eines Feinstaubfilters wiedergegeben.

Geometrischer Partikeldurchmesser	Fraktionsabscheidegrad (ISO A2, $300 \text{ m}^3/\text{h}$ )		
	Filterleistung nach VDI 6032	TÜV Feinstaubfilter	Feinstaubfilter
$> 0,3 \mu m$	$> 65 \%$	$> 90 \%$	$> 92 \%$
$> 0,5 \mu m$	$> 70 \%$	$> 92 \%$	$> 94 \%$
$> 1,0 \mu m$	$> 80 \%$	$> 95 \%$	$> 96 \%$
$> 3,0 \mu m$	$> 90 \%$	$> 97 \%$	$> 98 \%$
$> 10,0 \mu m$	$> 95 \%$	$> 98 \%$	$> 99 \%$
Maulbeerpollen $\sim 10 \mu m$		$> 98 \%$	$> 98 \%$

Geruch	nach VDA 270	$\leq 3$
Foggingverhalten	Nach DIN 75201	$\leq 2 \text{ mg}$
VOC Emission	nach VDA 277	$\leq 50 \mu\text{g/g}$

Tabelle 2: Vergleich Abscheidung nach VDI 6032 und TÜV Vorgaben

Die neben dem Prüfstaub ISO A2 zur Klassifizierung verwendeten Maulbeerpollen haben zwar eine Partikelgröße von  $> 10 \mu m$ , sind aber aufgrund ihrer Oberflächeneigenschaften trotz ihrer relativen Größe schwierig hochwertig abzuscheiden. Weitere Prüfparameter sind die Geruchsbildung, das Foggingverhalten des Filters sowie die VOC- und Formaldehyd-Emission, die nach den in der Tabelle aufgeführten Normen geprüft werden.

In Abbildung 2 sind nach dieser Prüfvorschrift gemessene Fraktionsabscheidegrade eines mit einem Standardfiltermedium ausgerüsteten Filterelements mit einer Fläche von  $0,41 \text{ m}^2$  den Leistungen von Filterelementen mit einem neu entwickelten Medium zur Feinstaubabscheidung und Filterflächen zwischen  $0,23 \text{ m}^2$  und  $0,41 \text{ m}^2$  gegenübergestellt.

Gegenüber einem mit einem Standardfiltermedium ausgerüsteten Element weisen beide Feinstaubfilterelemente einen höheren Fraktionsabscheidegrad auf. Das Element mit einer Filterfläche von  $0,23 \text{ m}^2$  schafft zwar die nach TÜV spezifizierten Werte nicht, weist aber dennoch höhere Abscheidewerte auf als das mit einem Standardmaterial ausgerüstete Element mit einer Filterfläche von  $0,41 \text{ m}^2$ .

Ein großer Unterschied im Abscheidegrad ist in Abbildung 3 bei der Abscheidung mit Maulbeerpollen zu sehen. Die Ergebnisse zweier Filterelemente gleicher Filterfläche, aber ausgerüstet mit unterschiedlichen Medien sind dort dargestellt.

Der Unterschied bei der Abscheidung von Maulbeerpollen fällt bei den beiden Medien weitaus höher aus als beim Test mit ISO-A2-Staub.

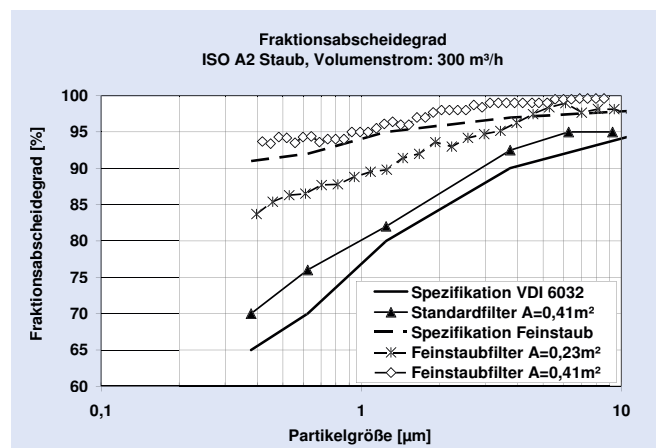


Abbildung 2: Vergleich von Fraktionsabscheidegraden verschiedener Filtermedien

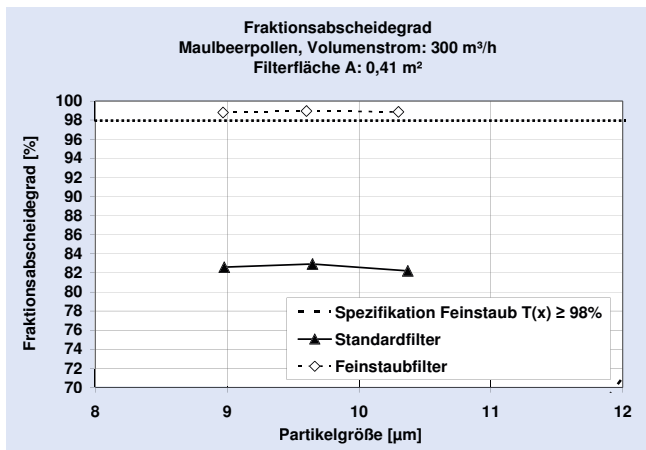


Abbildung 3: Abscheidegrade mit Maulbeerpollen

In Abbildung 4 sind die Anfangsdruckverluste eines Feinstaubfilterelements mit ca. 0,41 m<sup>2</sup> Filterfläche und eines Standardfilterelements gleicher Größe wiedergegeben. Der Druckverlust liegt bei 300 m<sup>3</sup>/h für das Feinstaubelement etwa 10% höher.

Es handelt sich in beiden Fällen um ein Kombifilter mit gleichem Aktivkohlematerial. Der Druckverlust durch das Aktivkohlematerial macht im Falle des Standardfilters ca. 60%, beim Feinstaubfilterelement ca. 50% des Gesamtdruckverlustes aus.

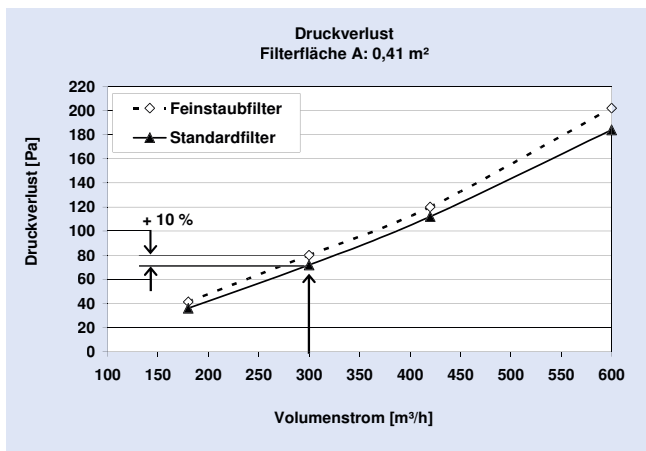


Abbildung 4: Anfangsdruckverluste für die verglichenen Filterelemente

Das Staubspeichervermögen für beide Elemente ist in Abbildung 5 gezeigt. Trotz der Erhöhung des Druckverlustes im Anfangszustand ist mit dem Einsatz des Feinstaubmaterials eine Erhöhung des Staubspeichervermögens gegenüber dem Prüfstaub ISO A2 verbunden. Dies ist im Aufbau des Filtermaterials begründet.

Eine weitere Entwicklung geht weit über den oben beschriebenen Ansatz hinaus. Ziel ist in verstärktem Umfang die Abscheidung von Partikeln < 1 µm (PM<sub>0,1</sub>), d. h. von Feinststäuben.

Auf die Adsorptionsanforderungen wird hier nicht weiter eingegangen; wichtig für die Erreichbarkeit der Ziele in der Partikelfiltration ist lediglich der durch die Zielsetzung für die Adsorption entstehende Druckverlust, der für die Partikelfiltration nicht mehr zur Verfügung steht.

Der Volumenstrom während der Prüfung ändert sich gegenüber den bestehenden Spezifikationen nicht. Typischerweise liegt er zwischen 200 – 300 m<sup>3</sup>/h. Teilweise wird durch eine Vergrößerung des Einbaurums der Einbau von 0,6 – 0,7 m<sup>2</sup> Filterfläche ermöglicht, bei einer optimalen Höhe des Filterelements von ca. 35 mm.

Die Leistungsfähigkeit des Filters wird zunächst im Neuzustand geprüft. Dazu wird im Bereich < 0,5 µm der Fraktionsabscheidegrad gegenüber NaCl mit einem SMPS ermittelt. Im Bereich > 0,5 µm kommen die ISO-Stäube A2 oder A4 zur Bestimmung des Fraktionsabscheidegrads und zur Simulation des Druckverlustanstiegs im realen Betrieb zum Einsatz.

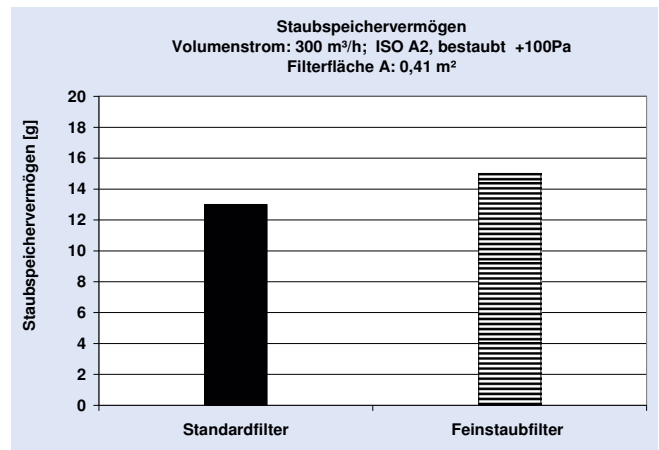


Abbildung 5: Vergleich des Staubspeichervermögens

Neu ist bei diesen Ansätzen der Versuch, nicht nur den Anfangswert für einen Filter zu bestimmen und über diesen indirekt Aussagen zum Verhalten während der Einsatzzeit zu erhalten, sondern dieses Verhalten über weitere Vorgaben zu definieren. Ein Beispiel ist die Vorgabe einer minimal einzuhaltenden Abscheidung mit dem Prüfaerosol NaCl bei verschiedenen Druckverlustanstiegen.

In Tabelle 3 sind zunächst typische Anforderungen dargestellt und soweit möglich den TÜV-Vorgaben und den Vorgaben aus VDI 6032 vergleichend gegenübergestellt. Typische geforderte Anfangsdruckverluste für die Feinstaubfilter liegen bei ≥ 75 Pa für einen Volumenstrom von 300 m<sup>3</sup>/h, die Staubspeicherwerte bei + 200 Pa-Beladung mit ISO-A2-Staub bei ≥ 15 – 25 g/Filter.

Im Folgenden sind Ergebnisse aus einer solchen Entwicklung anhand von drei Abbildungen gezeigt.

In Abbildung 6 sind die Anfangsabscheidegrade mit NaCl und ISO-A2-Staub und nach Bestäubung mit ISO-A2-Staub bis zu einem Druckverlustzuwachs von 25 Pa und bis 200 Pa absolut dargestellt. Vorgegeben war, dass der Abfall des Fraktionsabscheidegrads nach der durch die Bestäubung simulierten Alterung des Filters nicht unter 70% im Abscheideminimum sinken durfte. Die Verminderung der Durchströmungsgeschwindigkeit des Filtermaterials durch die zur Verfügung stehende Filterfläche von ca. 0,6 m<sup>2</sup> ist neben der Materialwahl ein weiterer wichtiger Grund für das gute Ergebnis. Die Erhöhung der Filterfläche wirkt sich gleichzeitig positiv auf den Druckverlust des Filters aus.

Gut zu sehen ist der Sprung in der Abscheidung bei 0,3 µm durch die Verwendung von ISO-A2-Staub, der alleine zur Beurteilung eines Feinstaubfilters nicht mehr geeignet ist.

Partikel-durchmesser [µm]	Fraktionsabscheidegrad (NaCl, 300 m³/h)		
	Feinststaub-filter [%]	Feinstaub-Filter (TÜV) [%]	Hygienefilter nach VDI 6032 [%]
> 0,1	> 70 - 75	-	-
> 0,3	> 70 - 75	-	-
> 0,5	> 75	-	-

Partikel-durchmesser [µm]	Fraktionsabscheidegrad (ISO A2/A4, 300m³/h)		
	Feinststaub-filter [%]	Feinstaub-Filter (TÜV) [%]	Hygienefilter nach VDI 6032 [%]
> 0,3	> 95 - 97	> 90	> 65
> 0,5	> 97	> 92	> 70
> 1,0	> 98 - 99	> 95	> 80
> 3,0	> 99	> 97	> 90
> 10,0	> 99	> 99	> 95

Tabelle 3: Vergleich verschiedener Anforderungen

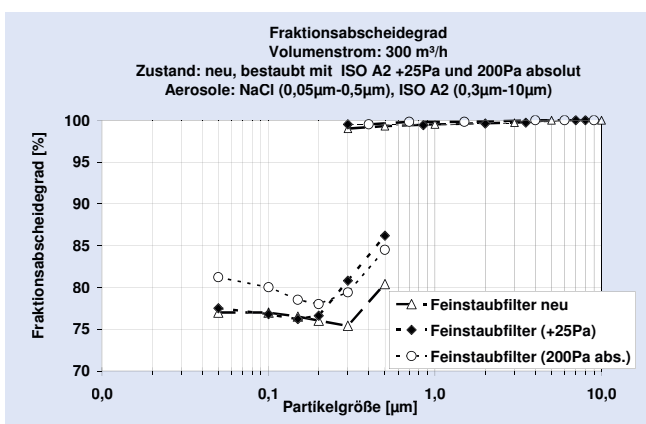


Abbildung 6: Anfangsabscheidegrad für einen Feinstaubfilter

In Abbildung 7 sind die Abscheidegrade für den gleichen Feinstaubfilter einem flächengleichen Filter mit einem Standardmaterial vergleichend gegenübergestellt. Gezeigt werden die Werte im Anfangszustand und nach einer Bestäubung mit ISO-A2-Staub bei einer Druckdifferenz über den Filter von 200 Pa. Während der Standardfilter mit der Bestäubung in der Abscheidung sowohl bei der Messung mit NaCl als auch bei der Messung mit ISO-A2-Staub im Bereich < 2 µm abfällt, weist der Feinstaubfilter nach dieser Prüfmethode keinen Abfall des Fraktionsabscheidegrads auf. Die Abscheidung bei 0,2 µm steigt bei Einsatz des Feinstaubmaterials im Anfangszustand von ca. 25 auf ca. 75 % und bei einem Druckverlust von 200 Pa absolut von ca. 20 auf knapp unter 80 %.

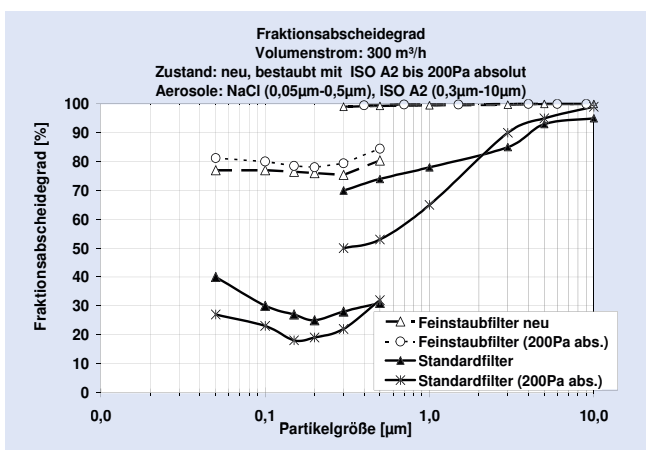


Abbildung 7: Vergleich der Abscheidung von Feinstaubfilter und Standardfilter

Neben Tests mit dem z.B. bei der Prüfung von Atemschutzmaterialien verwendeten Aerosol NaCl laufen auf ISO-Ebene auch Bemühungen, Ruß als Prüfaerosol zur Bestimmung des Fraktionsabscheidegrads und zur Beladung des Filters, d.h. zu seiner Laboralterung, einzusetzen. Ruß wird eingesetzt, weil er im Straßenverkehr entsteht und man so der tatsächlich vorhandenen Luftverschmutzung nahe kommen kann.

Der Fraktionsabscheidegrad fällt in diesen Fällen im Vergleich zum Einsatz von NaCl und den ISO-Stäuben viel stärker [7] ab und die ausgewiesene Staubspeicherefähigkeit ist weitaus geringer als bei Einsatz der ISO-Stäube A2 und A4.

Um zu weiteren Aussagen zu kommen, werden Versuche mit Filtern unternommen, die Praxisstäuben ausgesetzt werden, z. B. in PKWs in bestimmten typischen Fahrzyklen oder an Orten, an denen eine erhöhte Konzentration von Praxisstäuben herrscht, wie z. B. in Tunneln [8] oder Parkhäusern. Durch eine vergleichende Betrachtung der Ergebnisse kommt man zu weiteren Erkenntnissen über die Leistungsfähigkeit der Filter.

Diese Untersuchungen sind notwendig für die Weiterentwicklung von Filtern, insbesondere für die Entwicklung von Filtermedien. Sie sind aber sehr aufwendig und die Ergebnisse für eine direkte Aufnahme in Spezifikationen nicht geeignet, da die Randbedingungen stark schwanken können.

## 5. Umluftfiltration

Innenraumfilter waren in Europa zu Anfang der Entwicklung meist außerhalb der Klimaanlage platziert. Die Fokussierung auf die Reinigung von Außenluft ist auch aus den für die Prüfung von Kombifiltern in DIN 71460 Teil 2 [9] spezifizierten Schadgasen zu ersehen. Spezifiziert sind die Kohlenwasserstoffe n-Butan und Toluol sowie die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehenden Oxide SO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub>.

Später wurden die Innenraumfilter meist in die Klimaanlage integriert. Dadurch wird über den Innenraumfilter durch eine manuelle oder elektronisch geregelte Klappensteuerung auch die Umluft gereinigt. Die zusätzliche Umluftfiltration über den Frischluftfilter durch eine manuelle oder über einen Sensor gesteuerte Klappensteuerung innerhalb der Klimaanlage kann heute in Europa als Standard betrachtet werden.

Der Umfang des Einbezugs der Umluftfiltration ist im Einzelprojekt sehr stark von der Ausgestaltung der Klimaanlage abhängig. In heutigen PKWs ist zu unterscheiden zwischen:

- keiner Umluftfiltration
- Umluftfiltration über den Frischluftfilter, der als Partikelfilter oder Kombifilter ausgeführt sein kann
- Umluftfiltration über ein zusätzliches Filterelement in der Klimaanlage, das als Partikelfilter oder als Kombifilter ausgeführt sein kann. Dies ist besonders in PKWs der Oberklasse mit dem Einsatz entsprechend komplexerer Klimaanlagen realisiert.
- separatem HVAC-System bzw. Filter und Gebläse für den Umluftbetrieb

Mit dem Ziel der europäischen Automobilindustrie, die CO<sub>2</sub>-Emissionen von KFZ auf 130 g CO<sub>2</sub>/km zu senken, müssen Klimaanlage zukünftig verstärkt im Umluftbetrieb betrieben werden. Dies führt auch zu weitergehenden Anforderungen an die Filtration. Bei ausgedehntem Umluftbetrieb, ergänzt durch die beispielsweise sensorgesteuerte Zufuhr von Frischluft, gewinnen im Vergleich zur Frischluftfiltration allein andere Schadstoffe und Schadgaskonzentrationen an Bedeutung.

Neben Gerüchen (Mensch, Lebewesen) durch menschliche Aktivitäten (Rauch, Schweiß) ist insbesondere bei Neufahrzeugen die Luftgüte im Fahrzeuginnenraum durch die VOC bestimmt, welche durch die verwendeten Innenraummaterialien und die darin enthaltenen Kleber und Hilfsstoffe zur Verarbeitung von Kunststoffen freigesetzt werden.

Über die VOC-Emissionen wird in Japan (Asien), bedingt durch die intensive Nutzung des Umluftbetriebs, bereits seit einem Jahrzehnt verstärkt diskutiert. Insbesondere bei Vielfahrern, Kindern und älteren Menschen ist über die überhöhte Schadstoffbelastung durch Ausgasung eine gesundheitliche Gefährdung möglich. Studien haben gezeigt, dass die in Innenräumen gemessene Schadstoffbelastung zu Konzentrationsschwäche, Müdigkeit, Reizungen in Augen und Schleimhäuten bis hin zu Nervenerkrankungen führen kann. Darüber hinaus gelten einige der aromatischen Kohlenwasserstoffe als kanzerogen.

Mit der verstärkten Anwendung der Umluftfiltration nähern sich die in europäischen und asiatischen KFZ verwirklichten Filterkonzepte einander an. Es ist deswegen berechtigt, auf dort gewählte Ansätze zu sehen und sie mit europäischen Entwicklungen zu vergleichen.

Von JAMA, dem Verband der japanischen Hersteller von KFZ, wurden Richtlinien zur Reduktion von 13 VOC im Innenraum herausgegeben, die ab dem Fiskaljahr 2007 freiwillig für PKWs eingehalten werden. Weitere Reduktionen der VOC-Konzentration werden angestrebt. Die in Tabelle 4 wiedergegebenen Grenzwerte stimmen mit Grenzwerten überein, die zur Vermeidung des „Sick Building Syndroms“ vom japanischen Ministerium für Arbeit und Gesundheit herausgegeben wurden. Integriert in die Tabelle sind Richtwerte der WHO.

Die Richtwerte für Formaldehyd liegen in Japan bei < 100 µg/m<sup>3</sup>, in den USA wie auch in der EU bei < 125 µg/m<sup>3</sup>. Der TVOC-Grenzwert beträgt in Japan < 0,4 mg/m<sup>3</sup>, in den USA und der EU < 1 mg/m<sup>3</sup>. In Einzeluntersuchungen wurde in Europa nachgewiesen, dass dieser Grenzwert in Autoinnenräumen um den Faktor 3–15 überschritten wurde.

Substanz	Japan	WHO
Formaldehyd	100	100
Acetaldehyd	48	50
Toluol	260	260
Xylol	870	870
Ethylbenzol	3800	22000
Styrol	220	260
Tetradecan	330	-
Di-n-Butylphthalat	220	-
Di-2 Äthalhexylphthalat	120	-
Paradichlorbenzol	240	1000
Chloropyrifos	1	-
Diazinon	0.29	-
Fenobucarb	33	-

Tabelle 4: Grenzwerte von JAMA und WHO [µg/m<sup>3</sup>] [10]

Bei einer japanischen Untersuchung von mehr als 100 PKWs japanischer Hersteller mit einem Durchschnittsalter der untersuchten Fahrzeuge von 16 Monaten wurden mehr als 250 verschiedene Kohlenwasserstoffe im Autoinnenraum identifiziert. Die Hauptbestandteile waren aliphatische (C6 – C19, Cycloalkane) und aromatische Kohlenwasserstoffe.

Daneben wurden Alkohole, Aldehyde und Ketone sowie als weitere Gruppe Weichmacher (z.B. Phthalate) nachgewiesen. Es wurde festgestellt, dass die bei PKW gemessene VOC-Belastung höher ist als die Grenzwerte, die zum Vermeiden des Sick-Building-Syndrom nicht überschritten werden dürfen. Die Untersuchungen zeigten, dass zumindest im ersten Jahr nach Auslieferung sehr hohe Schadstoffkonzentrationen (TVOC, Aldehyde) in Innenräumen von PKWs vorliegen, die sich im Laufe der Zeit verringern.

## 6. Optimierung von Umluftfiltern

Eine Filteroptimierung für den Umluftbetrieb beinhaltet eine wirksame Filtration gegen

- die auftretenden partikelförmigen Verunreinigungen
- Zigarettenrauch
- VOC
- Aldehyde und Ketone

Außerdem darf der Filter nicht zur Geruchsbildung aufgrund mikrobiologischer Vorgänge beitragen, bzw. er darf seine Wirksamkeit bei Einsatz von Methoden zur Vermeidung mikrobiologischer Probleme nicht verlieren.

Die Partikelfiltration im Umluftbetrieb wird hier nicht weiter betrachtet. Prinzipiell gelten die vorne gemachten Aussagen, wobei sich die Staubzusammensetzung ändert und neben Feinstaub vermehrt Textilfasern und Haare abgeschieden werden müssen. Über die Möglichkeiten Zigarettenrauch abzuscheiden und über dafür geeignete Beurteilungsmethoden haben wir an anderer Stelle berichtet [11]. Auf Luftverunreinigungen, die durch den Betrieb der Klimaanlage selbst entstehen, wird ebenfalls nicht weiter eingegangen, obwohl dort realisierte Konzepte die Leistungsfähigkeit des Filters beeinflussen können.

Mit dem Einsatz hochwertiger Aktivkohle in Kombifiltern steht auch ein geeignetes Adsorbens zur Reduktion der aromatischen Kohlenwasserstoffe sowie der zyklischen und langkettigen Alkane zur Verfügung.

Optimierungsbedarf besteht für die Stoffklasse der Aldehyde und Ketone. In den folgenden vier Abbildungen sind daher vergleichende Resultate zur Optimierung von Aktivkohle gegen Aldehyde wiedergegeben.

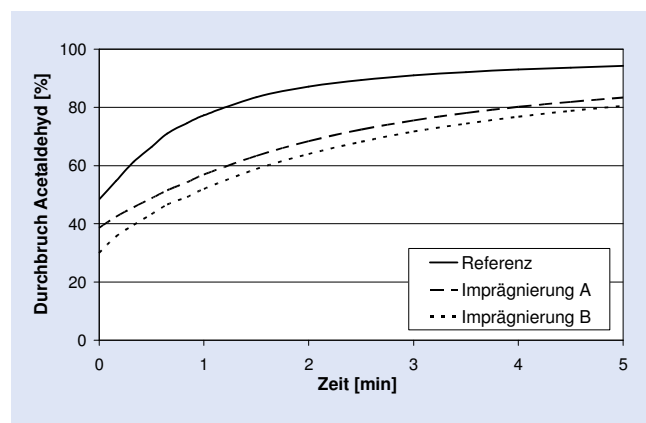


Abbildung 8: Durchbruchkurve Acetaldehyd

Verglichen wurden drei verschiedene Aktivkohlen, eine nicht ausgerüstete Referenzaktivkohle und zwei speziell zur verbesserten Adsorption von Aldehyden ausgerüstete Aktivkohlen. Ziel ist die Erarbeitung einer vergleichenden Aussage zum Verhalten der Aktivkohlen gegen n-Butan als Vertreter der VOC und Acetaldehyd. Betrachtet wurden die Werte für den Durchbruch und die Kapazität, gemessen in Anlehnung an DIN 71460 Teil 2.

In Abbildung 8 ist das Durchbruchverhalten der drei Aktivkohlen gegen Acetaldehyd dargestellt. Während mit der nicht ausgerüsteten Kohle im Anfangszustand ein Durchbruchwert von 50% gemessen wurde, konnte dieser Wert mit der am besten geeigneten Kohle auf 30% reduziert werden.

Die Kapazität der Aktivkohlen ist aus Abbildung 9 zu entnehmen.

Über die verwendeten Imprägnierungen ist eine erhebliche Erhöhung der realisierten Kapazität gegen Acetaldehyd zu erreichen, die eine Steigerung von 100% und mehr gegenüber der Referenzkohle zulässt.

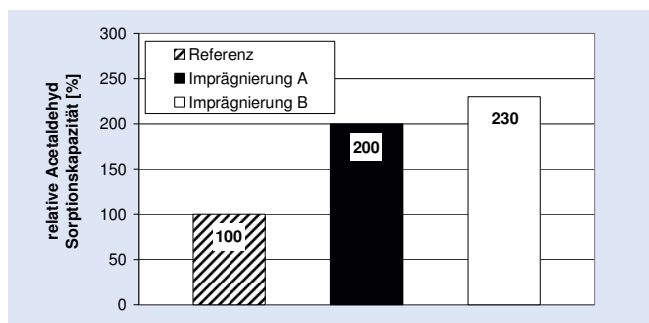


Abbildung 9: Adsorptionskapazität gegen Acetaldehyd

Aus Abbildung 10 ist zu entnehmen, dass sich durch die Imprägnierungen beim Durchbruch innerhalb von 30 s keine signifikante Abweichung ergibt, während danach insbesondere die Kohle mit der Imprägnierung B signifikant höhere Werte aufweist.

Abbildung 11 zeigt den Einfluss der Optimierung in Richtung der Aldehyde auf die Kapazität gegenüber n-Butan. Für beide Imprägnierungen wurde eine Abnahme der Kapazität gegen n-Butan gefunden, die allerdings für Imprägnierung A sehr gering ausfällt.

Im konkreten Fall muss anhand der Spezifikation die endgültige Festlegung der einzusetzenden Materialien erfolgen. Die Optimierungsmöglichkeiten sind vorhanden. Denkbar sind unterschiedlichste Strategien. So könnte man z. B. bei Neuwagen Filter mit Leistungsprofilen einsetzen, die auf die bei Neuwagen vorhandenen Schadstoffe besser angepasst sind und die im OES dann durch Filter mit anderen Profilen ersetzt werden.

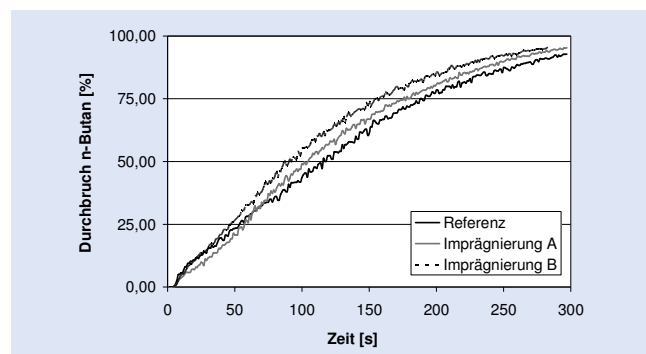


Abbildung 10: Durchbruchkurven gegen n-Butan

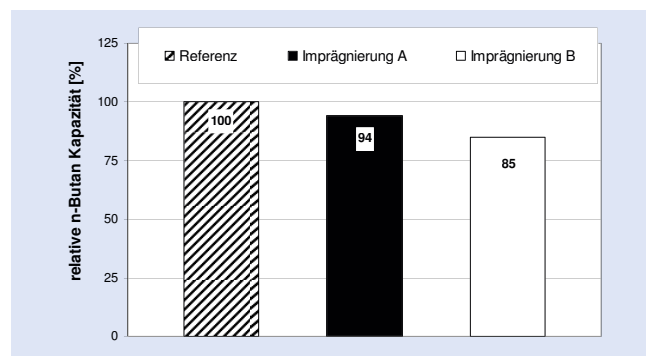


Abbildung 11: Kapazität gegen n-Butan

Optimal sind aus Sicht der Filtration zwei Filter, der eine ausgerichtet auf die Filtration der Frischluft mit Fokus auf Feinststauffiltration sowie Gase bzw. Gerüche aus der Umgebung und der andere Filter ausgerichtet auf die über die Lebenszeit des KFZ unterschiedlichen Anforderungen aus der Umluftfiltration.

## Literatur

- [1] Richtlinie 199/30/EG des Rates vom 22. April 1999 ABl. L 163 vom 29.06.1999
- [2] Yuzuru Yoshinami, Nissan Motor Co. LTD Fundamental Study of Indoor Air Quality in the Car Compartment No. 13-08 JSAE Symposium Society of Automotive Engineers of Japan, 2009
- [3] Shinichi Tanabe, Waseda University Indoor Air Quality in Vehicle Cabin and International Trends No 13-08 JSAE Symposium Society of Automotive Engineers of Japan 2009
- [4] Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft, Arbeitsgruppe „Wirkung von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN
- [5] DIN 71460, Teil 1, Straßenfahrzeuge – Luftfilter für KFZ-Innenräume, Teil 1: Prüfverfahren für Partikelfiltration, Beuth Verlag 2006
- [6] VDI 6032, Hygiene-Anforderungen an die Lüftungstechnik in Fahrzeugen zur Personenbeförderung, Februar 2004
- [7] Bredenbach, Schmidt, Finger, Haep, Prüfung von KFZ-Innenraumfiltern, Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 69 (2009) Nr. 5
- [8] Jüstel, Reinhardt, Feinstaubfiltration: der Weg zum Serieneinsatz, PKW-Klimatisierung V, Expert Verlag 2007
- [9] DIN 71460, Teil 2 Straßenfahrzeuge – Luftfilter für KFZ-Innenräume Teil 2: Prüfung der Gasadsorption von Filtern Beuth Verlag 2006
- [10] Shigeki Otsuka Toyota Motor Corporation, The present Conditions and the Future of Passenger Compartment VOC Reduction No 13-08 JSAE Symposium Society of Automotive Engineers of Japan, 2009
- [11] Schmitt, Borris, Klausnitzer, Jähne, Olfactometry – A new Tool for the Assessment of Cabin Air Filter Performance, Filtech Europe 2003

---

**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

