

Dr. Stefan Seeger, BAM-IV.24
 Dr. Olaf Wilke, BAM-IV.22

Ergebnisbericht zum Projekt Charakterisierung der Wirksamkeit von DEXWET-Partikelfiltern

1. Übersicht der Messungen

Zur Charakterisierung der Wirksamkeit von DEXWET-Partikelfiltern für Laserdrucker wurden in Anlehnung an die Prüfvorschrift RAL UZ-122 (Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten für die Vergabe des UBA-Umweltzeichens *Blauer Engel* für Bürogeräte) an drei Laserdrucker-Fabrikaten in einer 1 m³-Emissionsprüfkammer vergleichende Messungen und Analysen von Partikelemissionen im Größenbereich 10 nm bis 20 µm, sowie Messungen und Analysen zur möglichen Reduktion von VOC-Emissionen durchgeführt. Tabelle 1 listet die durchgeführten Messungen auf. Für die Messungen wurden sowohl fabrikneue Filter als auch gezielt vorbelastete Filter der Fa. Dexwet eingesetzt.

Tabelle1:

Nr.	Datum	Drucker	Druckphase von - bis (hh:mm) Dauer (min) Seitenzahl	TSI-Spektren (Runs)	Grimm- Spektren	Bemerkungen
-	17.10.06	Drucker-1 farbig	9:28 -	MDW1 (#32 -)	GRIMM-DW1+2	ohne Filter Standardposition (1) Abbruch wegen SMPS Error
DW1	17.10.06	"	11:38-11:47 9,3 150	MDW1 (#97- #99)	GRIMM-DW1+2	ohne Filter Standardposition (1) Runs #98 + #99 Drain Error, ab Run #100 ok!
DW2	17.10.06	"	14:28-14:37 9,15 150	MDW2 (#56 - #61)	GRIMM-DW1+2	mit neuem Filter Standardposition (1)
DW3	-	-	-	-	-	mit gebrauchtem Filter nicht durchgeführt
DW4	18.10.06	Drucker-2 farbig	9:30-9:45 15,3 200	MDW4 (#31 - #38)	GRIMM-DW4+5+6 Test1	ohne Filter Standardposition (1) Kammertür (2)
DW5	18.10.06	"	12:28-12:45 15,9 200	MDW5 (#62 - #69)	GRIMM-DW4+5+6 Test1_mit	mit 3 neuen Filtern Standardposition (1) Kammertür (2) Seitenfilter abgefallen im letzten Drittel des Druckjobs
DW6	18.10.06	"	15:28-15:44 15,8 200	MDW6 (62 - #69)	GRIMM-DW4+5+6 Test1_mit_schmutzig	mit 3 gebr. Filtern Standardposition (1) Kammertür (2) Seitenfilter abgefallen um 15:31 im 1. Drittel des Druckjobs
DW7	19.10.06	Drucker-3 s/w	9:29 - 9:43 14,0 390	MDW7 (#25 - #31)	GRIMM-DW7+8+9 Drucker-3_ohne	ohne Filter Standardposition (1) Kammertür (2)
DW8	19.10.06	"	12:32 - 12:46 14,0 390	MDW8 (#66 - #72)	GRIMM-DW7+8+9 Drucker-3_ohne	mit neuem Filter Standardposition (1) Kammertür (2)
DW9	19.10.06	"	15:30 - 15:44 14,0 390	MDW9 (#62 - #68)	GRIMM-DW7+8+9 Drucker-3_ mit_verschmutzt	mit gebr. Filter Standardposition (1) Kammertür (2)
DW10	20.10.06	Drucker-1 farbig	9:28- 9:38 9,8 150	MDW10 (#33 - #37)	GRIMM-DW10+11 Drucker-1_ohne	ohne Filter Standardposition (1) Kammertür (2)
DW11	20.10.06	"	12:26 - 12:36 9,8 150	MDW11 (#62 - #66)	GRIMM-DW10+11 Drucker-1_mit	mit neuem Filter Standardposition (1) Kammertür (2)

2. Geräte und Materialien

Drucker:

Es wurden Laserdruckertypen drei verschiedener Hersteller verwendet. Die Laserdrucker waren bereits in nicht weiter quantifiziertem Umfang gebraucht und mit gebrauchten Original-Tonerkartuschen bestückt. Die Funktionsfähigkeit und Ansteuerbarkeit der Laserdrucker wurde vor Versuchsbeginn kontrolliert. Die Auswahl der Laserdrucker erfolgte gemeinsam durch Fa. Dexwet und BAM.

Filter:

Neue Filter wurden von der Fa. Dexwet aus ihrem Lagerbestand zur Verfügung gestellt. Belastete Filter wurden nach Angaben der Fa. Dexwet folgendermaßen hergestellt: Neue Filter wurden von einem Mitarbeiter der Fa. Dexwet mit farbigem Tonermaterial durch manuelles Auftragen/Aufstreuen belastet. Nach dieser Behandlung waren die Filterstäbe deutlich sichtbar vollständig mit farbigem Tonerstaub belegt. Das aufgebrachte Tonerpulver haftete gut auf der Oberfläche der Filterstäbe. Art und Umfang dieser Vorbelastung von Dexwet-Filtern wurden weder von der Fa. Dexwet noch während der Untersuchungen an der BAM quantitativ oder qualitativ spezifiziert. Die Dexwet-Filter wurden jeweils von Mitarbeitern der Fa. Dexwet an den Druckern montiert.

Papier:

Für die Untersuchungen wurde Papier eingesetzt, welches den Anforderungen der DIN-EN 12281 (2003-01) entspricht (weißes Papier, 80 g/m³, Typ "Desk-Top" X'tensa, Lieferant: Fa. Roy Schulz, Berlin).

Testkammer:

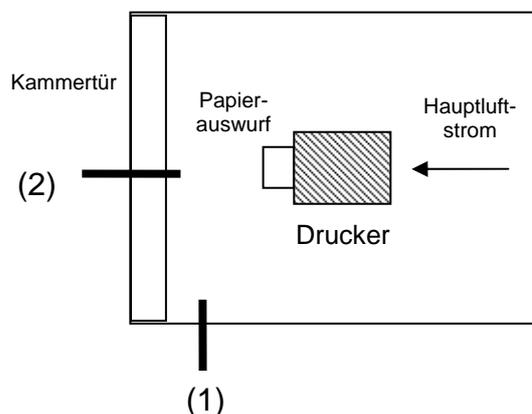
1 m³-Testkammer (Fa. Weiss) mit folgenden Spezifikationen:

- Reinstluftversorgung (VOC-, ozon- und staubarm)
- Reinstwasserversorgung
- Kammerwände aus Edelstahl
- Weitgehender Verzicht auf Dichtungsmaterialien
- Effektive Luftdurchmischung
- Temperatur 23 °C ± 2 K
- Relative Luftfeuchtigkeit 50 % ± 5 %
- Regelbare Luftaustauschrate
- Luftströmungsgeschwindigkeit 0,1 - 0,3 ms⁻¹

Partikelspektrometer:

- TSI 3080 Scanning Mobility Particle Sizer (SMPS), mit Differential Mobility Analyser (DMA) 3081, Water Based Condensation Particle Counter (WCPC) 3785; Messbereich 10 nm bis 470 nm, Auflösung 105 logarithmisch gleichverteilte Kanäle, Zeitauflösung: 90 Sekunden pro Full Scan, Probenvolumenstrom 1 L/min, Probenleitung LF-Silikon, 0,5 m x 0,19 Zoll Innendurchmesser.
- GRIMM Lasercounter Typ 1.108, Messbereich 300 nm bis 20 µm, 16 Kanäle logarithmisch gleichverteilt, Zeitauflösung 6 Sekunden / Full Scan, Probenvolumenstrom 1 L/min, Probenleitung V2A, 0,5 m x 2 mm Innendurchmesser.

Messpositionen:



Der Laserdrucker wurde jeweils in der Mitte der Kammer positioniert. Die Position (1) kennzeichnet die Standard-Luftentnahmestelle für die Partikelspektrometer. An Position (2) wurden mit einem zweiten Grimm 1.108-Spektrometer bei einigen Versuchen zusätzliche Messungen durchgeführt (siehe Tabelle 1).

3. Standardablauf der Messungen

Die Messungen wurden in Anlehnung an das Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten im Rahmen der Vergabe des Umweltzeichens Blauer Engel für Bürogeräte mit Druckfunktion nach RAL UZ 122 durchgeführt.

- a. **Kammerbeladung**
Einstellen des Prüfobjektes in den Prüfraum, Schließen der Kammer.
- b. **Konditionierungsphase, Dauer ~ 60 min**
Normalklima (23°C, 50 % r. F.), LW 1, Prüfobjekt zur Konditionierung mit eingelegtem Papier in der Kammer. (LW = Luftaustauschrate [h^{-1}])
- c. **Bereitschaftsphase, Dauer ~ 50 min**
Normalklima, LW 1, Prüfobjekt ist eingeschaltet und betriebsbereit, dass der Druck in kürzest möglicher Zeit beginnen kann, Beginn VOC- und Partikelmessungen.
- d. **Umschaltung auf LW 4, Dauer ~ 15-20 min**
- e. **Druckphase, Dauer ~ 15 min**
Prüfung des Prüfobjektes im Druckbetrieb, Fortsetzung VOC- und Partikelmessungen.
- f. **Nachlaufphase Dauer ~ 45 min**
Stopp der VOC-Messung nach 15 min, Beobachtung des Abklingens der Partikelkonzentration im Prüfraum.

4. Auswertungen des Partikel-Rückhaltevermögens

Die hier gemessenen Drucker emittieren überwiegend Partikel im Bereich unterhalb 500 nm Partikeldurchmesser. Die Partikelgrößenfraktion oberhalb 500 nm Partikeldurchmesser macht typischerweise deutlich weniger als 1 Promille der gemessenen Gesamtpartikelzahl aus, hat jedoch aufgrund des entsprechend höheren Volumens der Partikel einen Anteil von rund 90% der Gesamtpartikelmasse.

Das Partikel-Rückhaltevermögen wird auf zwei verschiedenen Wegen ermittelt:

- größen aufgelöstes Partikelrückhaltevermögen, R_G
- integrales Partikelrückhaltevermögen, R_Σ

Zur Ermittlung des größen aufgelösten Partikelrückhaltevermögens R_G werden die mit- und ohne Filter jeweils direkt nach Ende eines Druckjobs gemessenen differentiellen bzw. größen aufgelösten Partikelgrößenspektren ins Verhältnis gesetzt:

$$R_G(\text{Partikelgröße})[\%] = \frac{100 \cdot (S_1 - S_2)}{S_1}$$

S_1 bezeichnet das ohne Filter gemessene Größenspektrum, S_2 bezeichnet das mit Filter gemessene Größenspektrum.

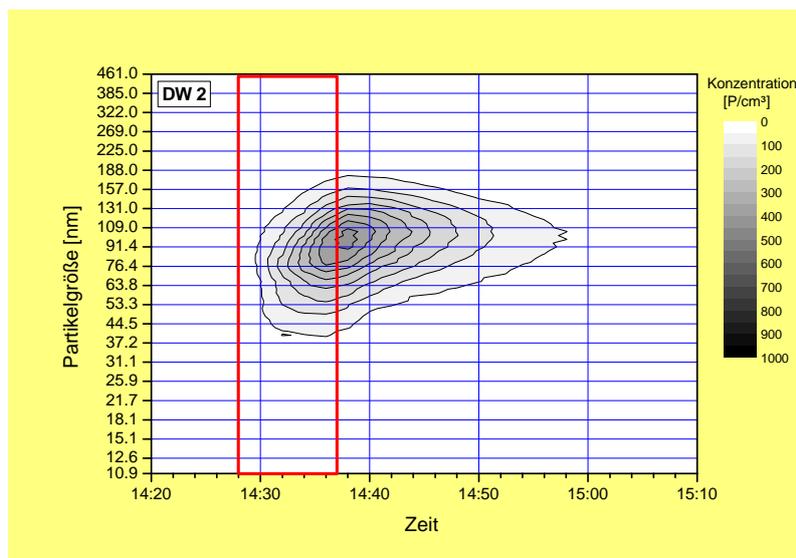
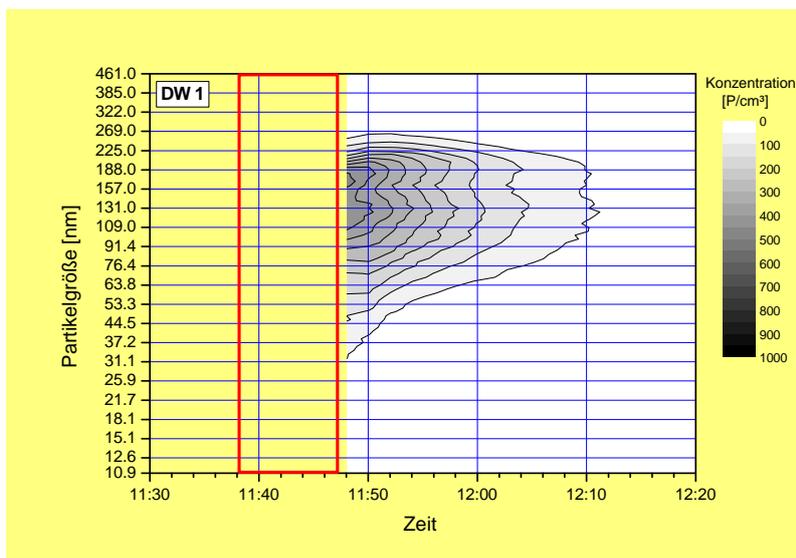
Zur Ermittlung des kumulativen Rückhaltevermögens R_Σ wird die kumulative Partikelkonzentration im Messbereich des TSI-Spektrometers (10 nm bis 470 nm), jeweils mit- und ohne Filter direkt nach Ende eines Druckjobs gemessenen, ins Verhältnis gesetzt:

$$R_\Sigma(10\text{nm} - 470\text{nm})[\%] = \frac{100 \cdot (\Sigma_1 - \Sigma_2)}{\Sigma_1}$$

Σ_1 bezeichnet die ohne Filter gemessene kumulative Partikelkonzentration im Messbereich, Σ_2 bezeichnet die mit Filter gemessene kumulative Partikelkonzentration.

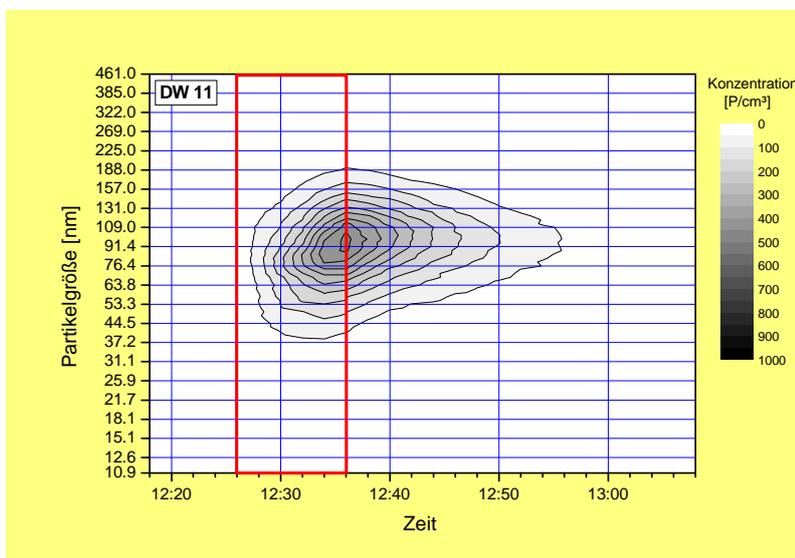
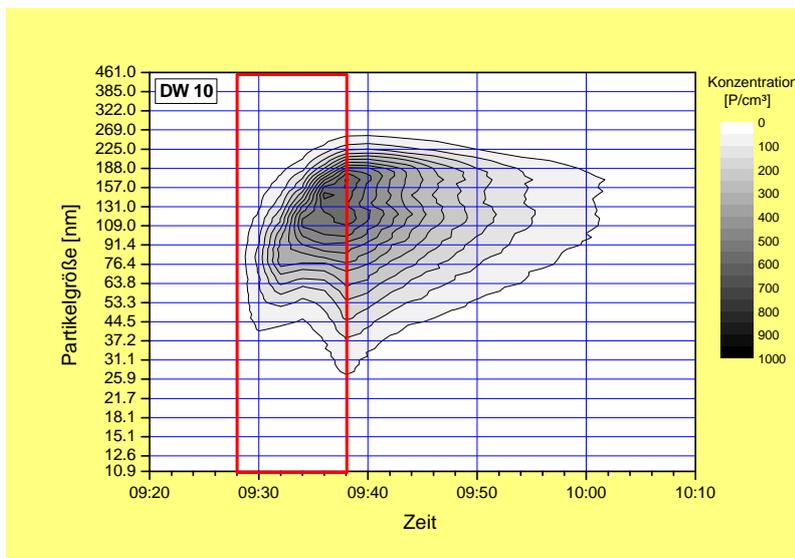
5. Ergebnisse

5.1 Emissionsspektren der Messungen DW1, DW2, DW10 und DW11 (die roten Kästen markieren die Zeitbereiche der Druckjobs):

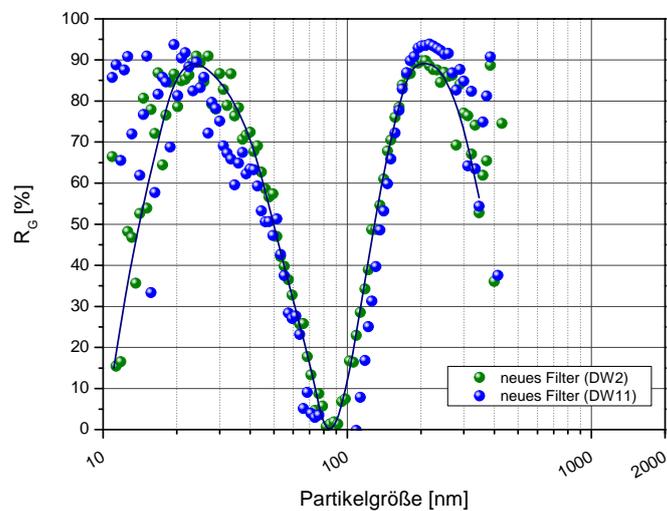


Im Spektrum DW1 wurde aufgrund eines technischen Fehlers nicht der gesamte Zeitbereich der Messung aufgezeichnet.

(5.1 Fortsetzung)



Größenaufgelöstes Rückhaltevermögen R_G :

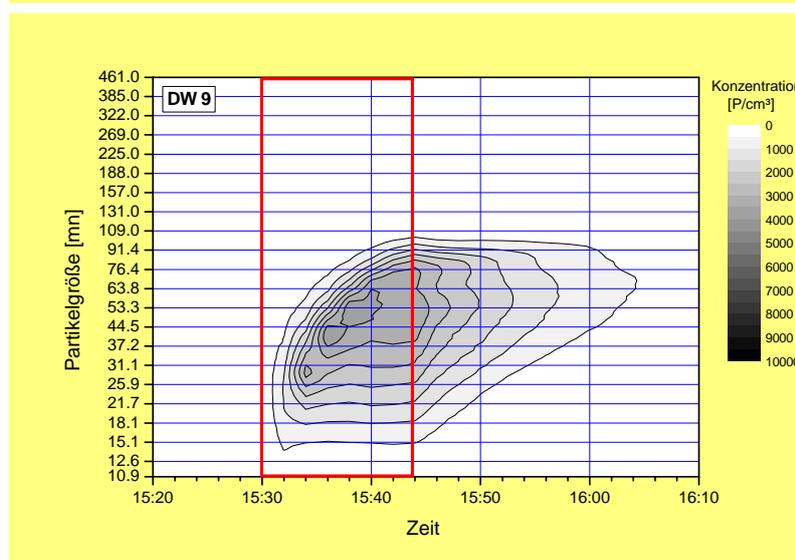
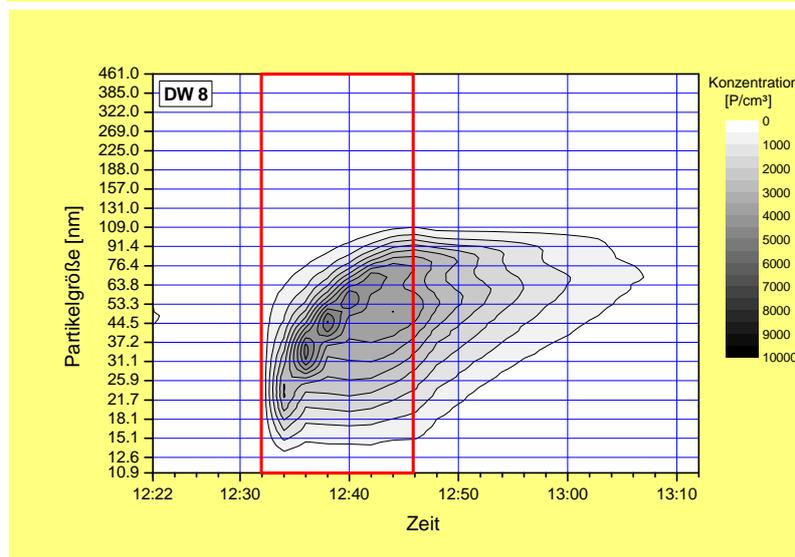
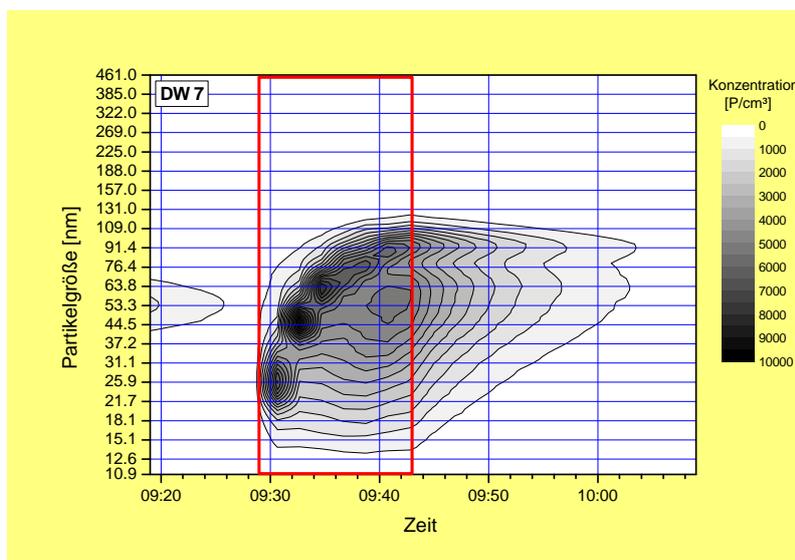


(5.1 Fortsetzung)

Kumulatives Rückhaltevermögen R_{Σ} :

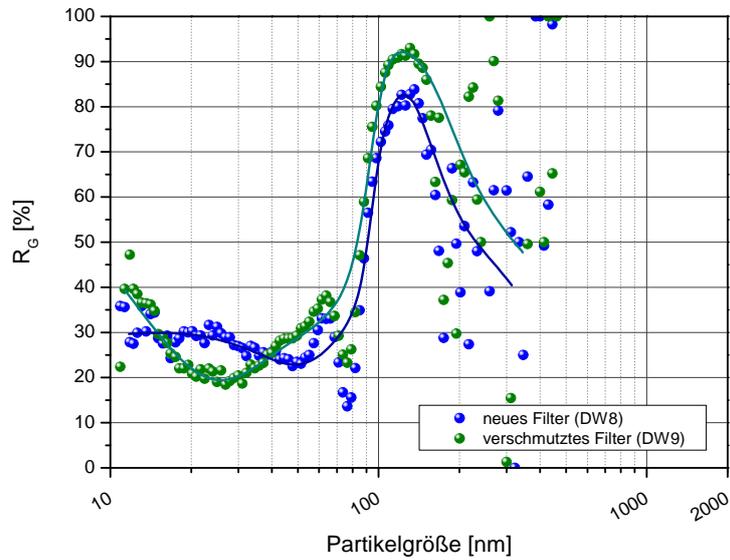
Messung	Kumulative Konzentration (Bereich 10 nm bis 470 nm)	R_{Σ} (10-470 nm)
Referenz - DW1 / Run #100	$1,5 \cdot 10^4$ Partikel/cm ³	-
neues Filter - DW2 / Run #62	$0,79 \cdot 10^4$ Partikel/cm ³	$47 \pm 1 \%$
Referenz - DW10 / Run #38	$2,0 \cdot 10^4$ Partikel/cm ³	-
neues Filter - DW11 / Run #67	$1,12 \cdot 10^4$ Partikel/cm ³	$44 \pm 1 \%$

5.2 Emissionsspektren der Messungen DW7, DW8 und DW9 (die roten Kästen markieren die Zeitbereiche der Druckjobs):



(5.2 Fortsetzung)

Größenaufgelöstes Rückhaltevermögen R_G :

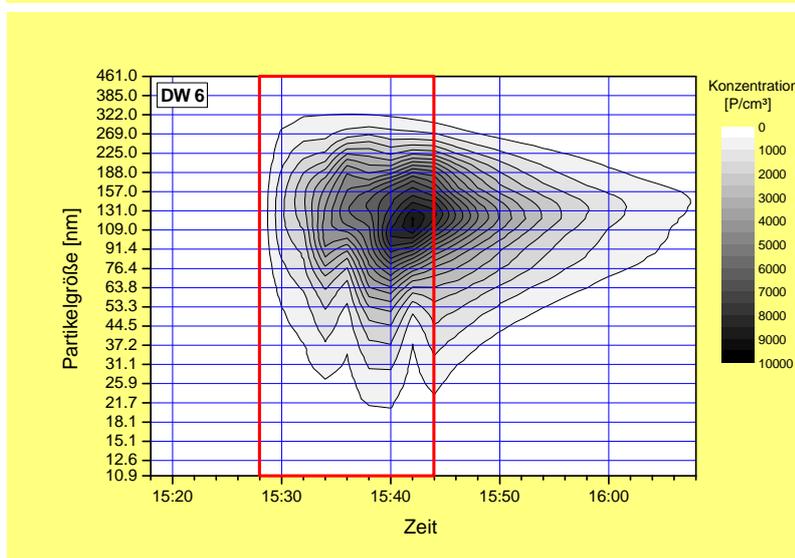
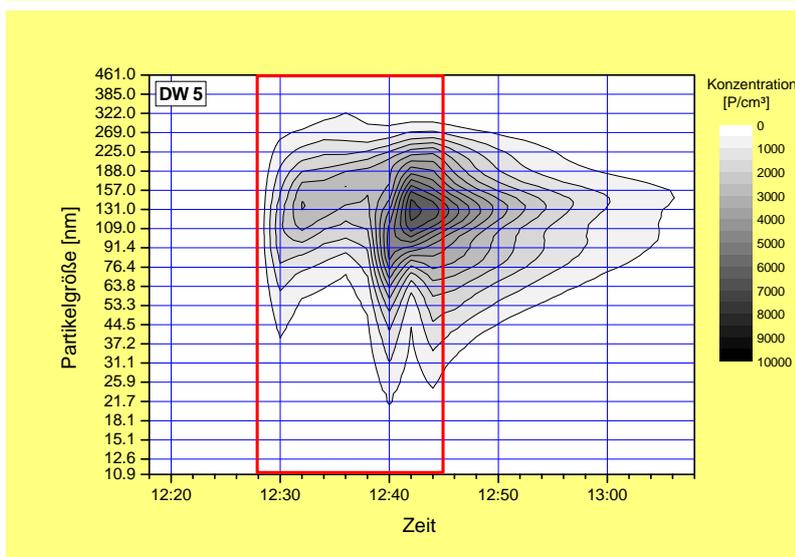
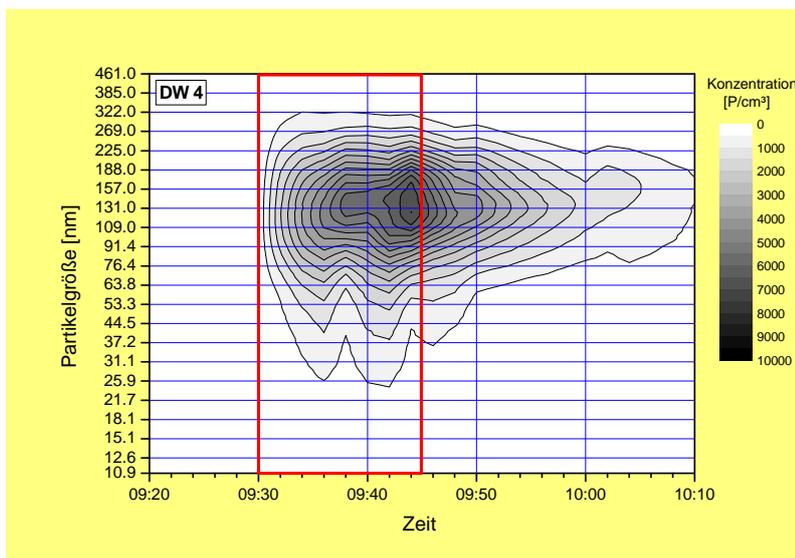


Kumulatives Rückhaltevermögen R_{Σ} :

Messung	Kumulative Konzentration (Bereich 10 nm bis 470 nm)	R_{Σ} (10-470 nm)
Referenz - DW7 / Run #32	$1,96 \cdot 10^5$ Partikel/cm ³	-
neues Filter - DW8 / Run #73	$1,32 \cdot 10^5$ Partikel/cm ³	33 ± 1 %
gebr. Filter - DW9 / Run #69	$1,25 \cdot 10^5$ Partikel/cm ³	36 ± 1 %

5.3 Emissionsspektren der Messungen DW4, DW5 und DW6:

Die Emissionsspektren der Messungen DW5 und DW6 sind nicht in gleicher Weise wie oben interpretierbar, da in diesen Messungen jeweils während des Druckjobs einer von drei montierten Dexwet-Filtern (Position an der Seite des Druckergehäuses) abgefallen war. Das Rückhaltevermögen kann für diese Messungen daher nicht exakt ausgewertet werden.



(5.3 Fortsetzung)

Messung	Kumulative Konzentration (Bereich 10 nm bis 470 nm)	R_{Σ} (10-470 nm)
Referenz – DW4 / Run #39	$1,7 \cdot 10^5$ Partikel/cm ³	-

Es kann aufgrund der Messprotokolle davon ausgegangen werden, dass sich während der 1. Hälfte der Druckjobs zumindest für die Messung DW5 das Filter noch an seiner Position befand. Eine Abschätzung der Maxima der Partikelemissionen in den Spektren DW4 und DW5 im Bereich der 1. Hälfte des Druckjobs ergibt die folgenden Werte:

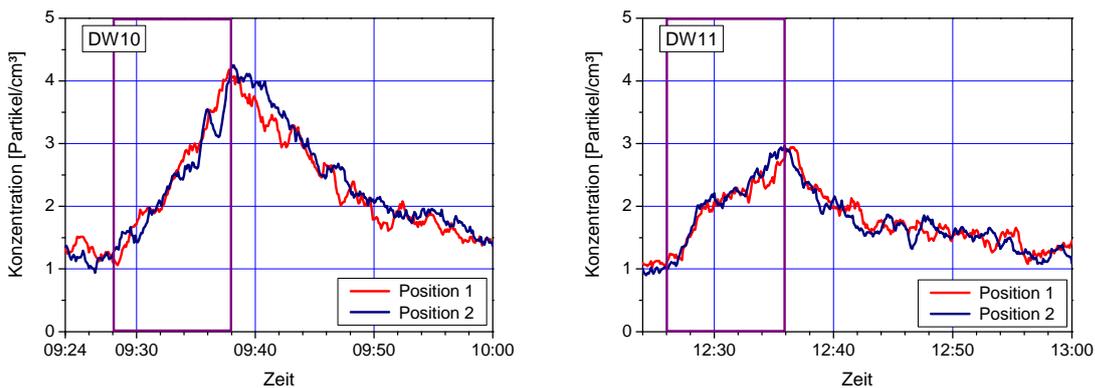
DW4: Maximum bei 5760 P/cm³ in Partikelgrößenklasse "136 nm"

DW5: Maximum bei 2850 P/cm³ in Partikelgrößenklasse "136 nm"

Daraus ergibt sich ein geschätztes Rückhaltevermögen von R_G (131 nm) ~ 50 %.

Aufgrund dieser Details der Emissionsspektren DW4 und DW5 ist auch für den Drucker-2 eine Reduzierung der Partikelemission durch ein neues Dexwet-Filter belegbar.

5.4 Vergleiche der Messergebnisse mit den GRIMM-Partikelspektrometern



Die beiden Diagramme zeigen jeweils die an den Positionen 1 und 2 gemessenen Gesamtpartikelkonzentrationen im Messbereich 0.3 µm bis 20 µm während der Messungen DW10 und DW11. Die farbigen Kästen markieren die Zeitbereiche der Druckjobs. Die durch die unterschiedliche Zeiteinstellung der beiden Grimm-Messgeräte bedingte Zeitshift wurde korrigiert. Es ergibt sich eine sehr gute quantitative Übereinstimmung der Spektren im Detail. Die übrigen vergleichenden Messungen an Position 1 und 2 zeigen den gleichen Befund. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die Messpositionen 1 und 2 unter den beschriebenen Bedingungen für die Messung mit dem Grimm-Spektrometer äquivalent sind.

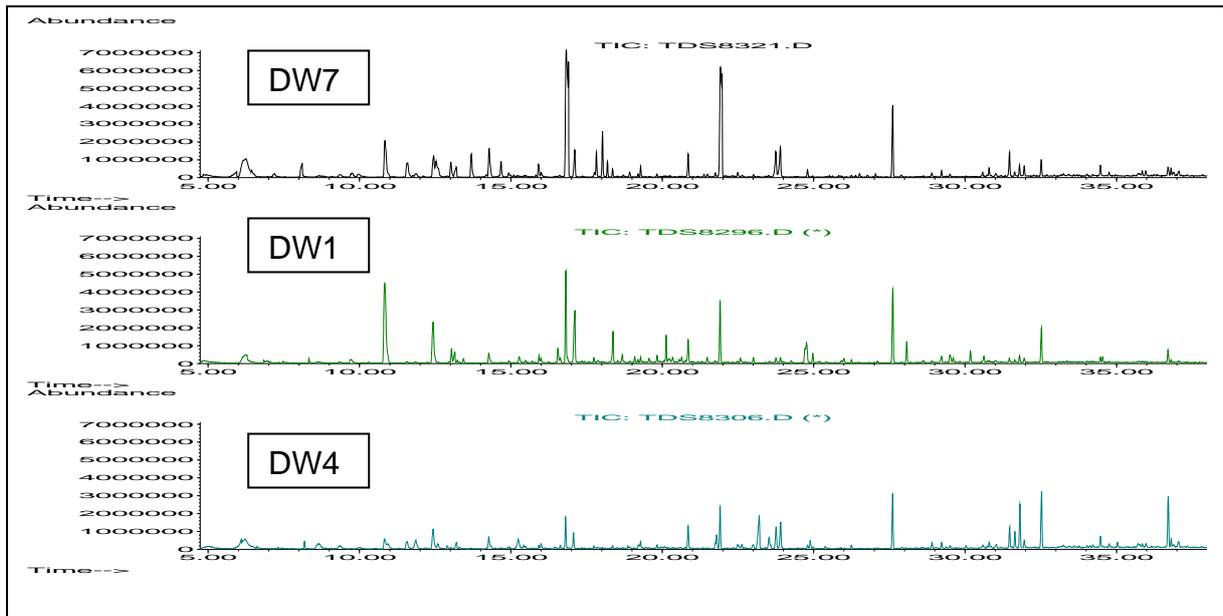
6. Auswertungen der VOC-Messungen

Die VOC-Messungen wurden für die Versuche DW1, 2, 4, 5, 7 und 8 in der Bereitschaftsphase und der Druckphase durchgeführt; für die Versuche DW 6 und 9 erfolgte die VOC-Messung nur in der Druckphase.

Durch dieses Vorgehen konnten die VOC-Emissionen in Drucker(material)-Emissionen, Druckprozess-Emissionen und Emissionen aus dem/den Dexwet-Filter(n) unterteilt werden.

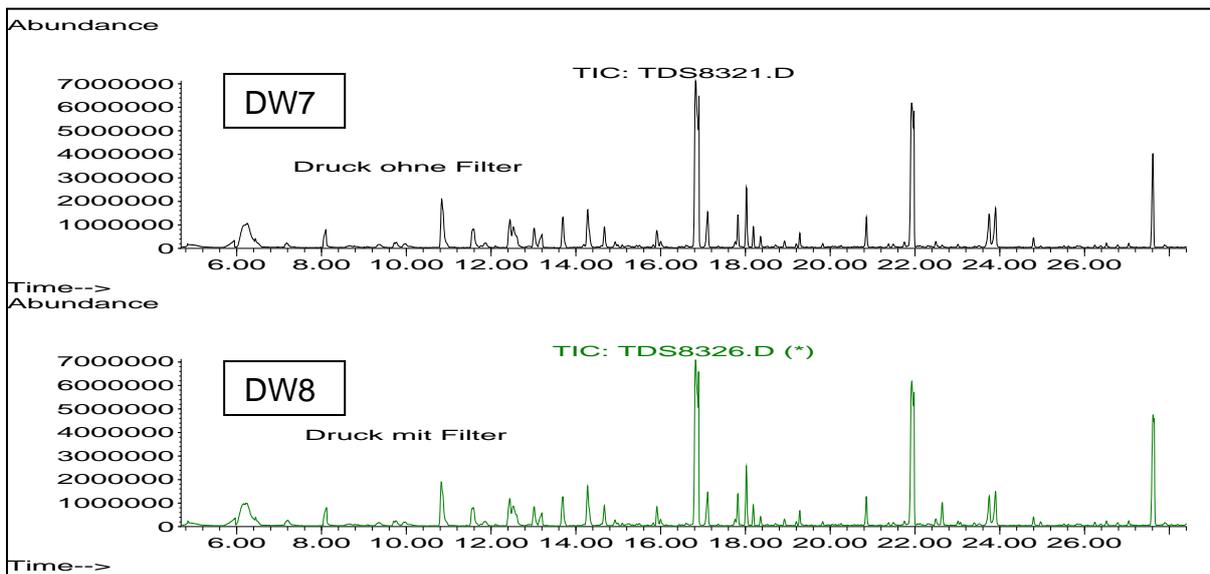
Die VOC-Emissionen der drei untersuchten Druckertypen waren erwartungsgemäß unterschiedlich.

Chromatogramme der Messungen in der Druckphase ohne Dexwet-Filter:



Das größte Spektrum an VOC zeigte Drucker-3, der u. a. Ethylbenzol, Styrol, Propylbenzol und Ethylhexanol emittierte. Für diese VOC und auch für andere hier nicht aufgeführte oder nicht zu identifizierende VOC zeigte sich beim Vergleich der Messungen mit und ohne Dexwet-Filter bei allen drei Druckerprüfungen kein Unterschied der in der Prüfkammer gemessenen Konzentration.

Chromatogramme zum Vergleich einer Druckerprüfung ohne (oben) und mit (unten) Dexwet-Filter:



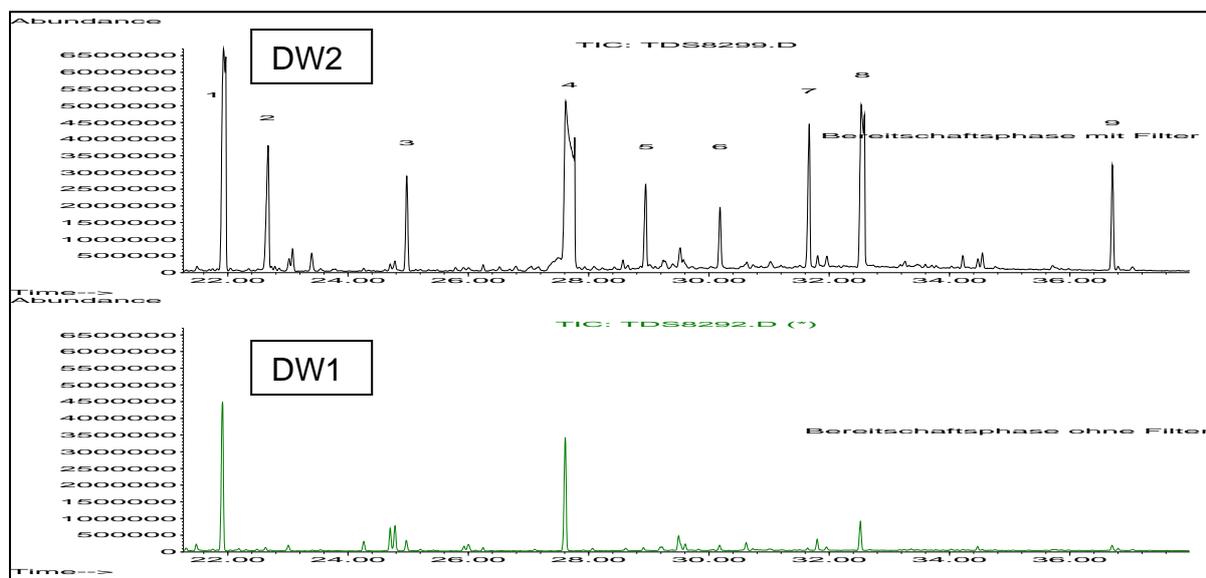
Durch den Dexwet-Filter selbst werden einige VOC bzw. SVOC emittiert. Dabei handelt es sich um folgende Substanzen: Decamethylcyclopentasiloxan (1), Dodecen (2), Dodecamethylpentasiloxan (3), Tetradeceen (5), Phenol (7) sowie zwei weitere nicht genau zu identifizierende Siloxane (4 und 6) im VOC-Bereich und ein Siloxan (9) im SVOC-Bereich (siehe Diagramm DW2).

Für die TVOC-Emission eines produktionsfrischen Dexwet-Filters wurden in der Bereitschaftsphase Emissionsraten zwischen **0,12 und 0,22 mg/h** bestimmt. (Der einzuhaltende TVOC-Wert für den Blauen Engel nach RAL UZ 122 beträgt **1 mg/h** in der Bereitschaftsphase).

In der Druckphase wurden für die TVOC-Emission eines Dexwet-Filters Emissionsraten zwischen **0,29 und 1,50 mg/h** bestimmt. (Der einzuhaltende TVOC-Wert für den Blauen Engel nach RAL UZ 122 beträgt **10 mg/h** in der Druckphase). Die Erhöhung der Emissionsrate im Vergleich zur Bereitschaftsphase ist dabei vermutlich auf die während des Druckbetriebes wärmere Abluft des Druckers, die den Filter durchströmt, zurückzuführen. Die TVOC-Emissionsrate der Dexwet-Filter wird dabei anscheinend stark vom jeweiligen Drucker beeinflusst.

Die TVOC Emissionen eines produktionsfrischen Dexwet-Filters unterschritten somit die einzuhaltenden TVOC Werte für den Blauen Engel nach RAL UZ 122 sowohl in der Bereitschaftsphase als auch in der Druckphase.

Chromatogramme zum Vergleich der Bereitschaftphasenemission mit (oben) und ohne (unten) Dexwet-Filter:



7. Zusammenfassung

7.1 Rückhaltevermögen von DEXWET-Filtern für Ultrafeinpartikel

Das Rückhaltevermögen von DEXWET-Filtern für aus Laserdruckern emittierte Ultrafeinpartikel wurde quantitativ und qualitativ nachgewiesen. Die Partikelemissionen aus Druckern mit und ohne DEXWET-Filter zeigen signifikante Unterschiede in dem für Laserdrucker typischen Partikelgrößenbereich von ca. 20 nm bis ca. 300 nm.

Die Ergebnisse sind insgesamt nicht interpretierbar als ein genereller Nachweis der Filtereffektivität, da das angewendete Versuchsdesign (Kammermessung) nicht differenziert zwischen den aus einem Laserdrucker emittierten gefilterten und ungefilterten, partikelbelasteten Teilluftströmen.

Das hier gewählte Versuchsdesign erlaubt jedoch auf der Grundlage der Messergebnisse die Bewertung des Rückhaltevermögens der DEXWET-Filter für Partikelemissionen aus Laserdruckern durch Vergleich von Partikelkonzentrationen an einer Referenzposition in einer Umweltsimulationskammer.

Es ergaben sich zwischen verschiedenen Druckerfabrikaten signifikante Unterschiede in den Details der Partikelemissionen und der Auswirkungen der Filter auf die Partikelemissionen. Diese Unterschiede sind zurückzuführen auf:

1. Die unterschiedlichen Emissionscharakteristiken der mit verschiedenen Tonerkartuschen und Tonerpulvern ausgerüsteten Drucker. Diese Emissionscharakteristiken wurden anhand der Referenzmessungen (DW1, DW4, DW7, DW10) dokumentiert. Während die Messungen DW7 eine zeitliche und in den Partikelgrößen stark variierende Emission während des Druckjobs belegt zeigen die Messungen DW1, DW4 und DW 10 ein eher gleichmäßiges Emissionsverhalten ohne schnelle zeitliche Variationen.
2. Die unterschiedlichen Luftströmungen in den Druckern. Es ist davon auszugehen, dass Teilluftströme des aus einem Drucker emittierten Gesamtluftstroms die montierten DEXWET-Filter nicht passieren, sondern z.B. durch die Papierausgabe oder andere Öffnungen ungefiltert entweichen können. Gerätespezifisch und beeinflusst durch die Geometrie der Strömungspfade, sowie die Größe und Geschwindigkeit der Teilluftströme kann es dazu kommen, dass bestimmte Partikelgrößenfraktionen in diesen Teilluftströmen bevorzugt transportiert und freigesetzt werden. Weder im Forschungsvorhaben noch an anderer Stelle wurden solche Teilluftströme und ihre Partikelfrachten bisher quantifiziert. Mit dieser Hypothese sind jedoch die nachgewiesenen Unterschiede zwischen den Druckern im Rückhaltevermögen plausibel und zwanglos erklärbar.

Das größen aufgelöste Rückhaltevermögen ist aus den oben aufgeführten Gründen uneinheitlich, es ist jedoch hervorzuheben, dass die Emissionen einzelner Partikelgrößenfraktionen im Bereich ab 130 nm bis ca. 200 nm sehr effektiv, das heißt um deutlich mehr als 50 %, reduziert werden konnten. Für einzelne Partikelgrößenklassen werden sogar Werte um 90 % erreicht.

Das kumulative Rückhaltevermögen der DEXWET-Filter im Bereich 10 nm bis 470 nm liegt bei mindestens 33 %. Die Zahl der in diesem Bereich aus einem Laserdrucker emittierten Partikel wird also durch die Ausrüstung mit DEXWET-Filtern um mindestens 33 % reduziert.

Es wurden Filter mit Tonerstaub künstlich verschmutzt, der typischerweise Partikeldurchmesser um 4 µm aufweist. Unter diesen Bedingungen wurde kein negativer Effekt der Verschmutzung auf das Rückhaltevermögen nachgewiesen. Die mit Tonermaterial vorbelasteten Filter haben sich als ähnlich wirksam erwiesen wie neuwertige Filter, eine signifikante Abnahme der Filterwirkung von auf diese Weise verschmutzten Filtern ist im Rahmen der zu berücksichtigenden Streuungen der Messwerte nicht nachweisbar.

7.2 Rückhaltevermögen von DEXWET-Filtern für VOCs

Ein Rückhaltevermögen der DEXWET-Filter für VOC konnte nicht festgestellt werden.

7.3 Empfehlungen für weitere Forschungsarbeiten

Die Untersuchungen der BAM zur Charakterisierung der Wirksamkeit von DEXWET-Partikelfiltern haben ergeben, dass der Einsatz von DEXWET Filtern einen nachweisbaren Beitrag zur Minimierung der Partikelemissionen aus Laserdruckern darstellt. Um das Entwicklungspotenzial der DEXWET-Technologie noch weiter auszuschöpfen werden folgende weiterführende Forschungsarbeiten im Rahmen einer Zusammenarbeit zwischen der BAM und der Firma Dexwet Technology Vertriebs GmbH empfohlen:

- Es sollte die Frage weiter untersucht werden, ob durch eine Veränderung der Geometrie des DEXWET-Filters (z.B. drei Filterstabreihen, dichtere Packung der Filterstäbe usw.) das Rückhaltevermögen für Partikel (insbesondere im Größenbereich um 90 nm) verbessert werden kann, ohne dass Nachteile oder Probleme bei der Kühlleistung entstehen.
- Eine Klärung des Umfangs von Nebenluftströmen und von Art und Umfang des Partikelaustrags durch Nebenluftströme (z.B. Papierausgabe), die das Filter nicht passieren, wäre interessant, um das DEXWET-Filter weiter zu verbessern. Eine typenspezifische Modifizierung der Filtergeometrie erscheint denkbar.
- Ob und bis zu welchem Ausmaß eine Verschmutzung/Belastung mit für Laserdruckeremissionen typischen ultrafeinen Partikeln im Bereich um 100 nm das Rückhaltevermögen von DEXWET-Filtern beeinflusst, kann derzeit noch nicht angegeben werden, wäre aber für die Bestimmung von Gebrauchsdauern interessant.
- Es sollte die Frage der Wirksamkeitsdauer der DEXWET-Filter weiter untersucht werden. Insbesondere wäre die Entwicklung eines für den Anwender erkennbaren Kriteriums für das Erreichen der Gebrauchsdauer interessant.
- Die Befestigungselemente für DEXWET-Filter auf gekrümmten Gehäuseflächen erscheinen verbesserungsfähig. Es sollte untersucht werden, ob klimatische Einwirkungen zu unerwünschten Ablösungen der mit Klebestreifen befestigten Halterungsschienen führen können.

Berlin, den 02.01.2007

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung

gez.

i. A. ORR Dr. Stefan Seeger

AG IV.24 - Charakterisierung von Fasern und Partikeln