



**EUROVENT / CECOMAF**



**EUROVENT 4/9 - 1997**

**METHOD OF TESTING AIR FILTERS  
USED IN GENERAL VENTILATION FOR  
DETERMINATION OF FRACTIONAL  
EFFICIENCY**

**EUROVENT 4/9 - 1997**

**METHOD OF TESTING AIR FILTERS  
USED IN GENERAL VENTILATION FOR  
DETERMINATION OF FRACTIONAL  
EFFICIENCY**

# **EUROVENT 4/9**

**Second edition 1997**

**Published by EUROVENT/CECOMAF**

**15 rue Montorgueil**

**F-75001 PARIS**

**Tel 33 1 40 26 00 85**

**Fax 33 1 40 26 01 26**

## FOREWORD

For the last twenty years, the characteristics of general ventilation filters have been established using the ASHRAE 52/76 method which formed the basis for various other standards and recommendations, particularly the recommendation EUROVENT 4/5.

This method which determines the total efficiency (atmospheric dust spot efficiency or synthetic dust weight arrestance) is widely used to compare the characteristics of filters. Nevertheless, the conventional nature of the method is no longer sufficient for a technical approach in filtration. An example is the control of indoor air quality or cleanliness constraints within a process.

Developments in the aerosol technology allow to have access to filter fractional efficiency. The EUROVENT Working Group 4b has developed a new method adapted for a better use of filters in industrial process and in the field of indoor air quality. This new method Eurovent 4/9 has replaced the old Eurovent 4/5 method.

## AVANT-PROPOS

*Depuis vingt ans les caractéristiques des filtres de ventilation générale sont déterminées par la méthode ASHRAE 52-76 qui a servi de base à de nombreuses normes et recommandations, en particulier la recommandation EUROVENT 4/5.*

*Cette méthode qui détermine l'efficacité globale (rendement à la tâche ou rendement gravimétrique) est largement utilisée pour comparer les caractéristiques des filtres entre eux.*

*Néanmoins le caractère conventionnel de la méthode n'est plus suffisant pour une approche technique de la filtration, par exemple pour la maîtrise de la qualité de l'air intérieur ou le respect des contraintes de propreté dans les process.*

*Les progrès de la métrologie des aérosols permettent maintenant d'accéder aux caractéristiques des filtres en termes d'efficacité spectrale. Le groupe de travail EUROVENT 4b a développé une nouvelle méthode plus adaptée pour une meilleure utilisation des filtres dans les process industriels et dans le domaine de la qualité de l'air dans les locaux.*

## VORWORT

Für die Bestimmung der Leistungsmerkmale von Luftfiltern für die allgemeine Raumluftechnik ist in den letzten 20 Jahren die Prüfmethode nach ASHRAE Standard 52/76 maßgeblich die Grundlage für verschiedene andere Normen und Empfehlungen gewesen, insbesondere für das EUROVENT-Dokument 4/5.

Diese Methode dient zur Bestimmung des Gesamt-Wirkungsgrades (Wirkungsgrad gegenüber atmosphärischem Staub oder Abscheidegrad gegenüber synthetischem Staub) und wird weithin verwendet, um die Leistungsmerkmale von Luftfiltern vergleichen zu können. Dieses traditionelle Prüfverfahren ist jedoch nicht mehr hinreichend für die heutigen Anforderungen auf dem Gebiet der Luftfiltration. Beispiele hierfür sind die Anforderungen an die Einhaltung der Raumlufqualität und Reinheitsanforderungen bei Prozessen.

Entwicklungen auf dem Gebiet der Aerosolmessung gestatten es, Fraktionsabscheidegrade zu ermitteln. Die EUROVENT-Arbeitsgruppe 4b hat eine neue Prüfmethode entwickelt, die der Verwendung von Luftfiltern für industrielle Prozesse und für Zwecke der Raumlufqualität eher entspricht.

**PRÜFUNG VON LUFTFILTERN  
FÜR DIE ALLGEMEINE  
RAUMLUFTTECHNIK BESTIMMUNG DES  
FRAKTIONSABSCHEIDEGRADES**

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1 - EINLEITUNG</b>		<b>3</b>
<b>2 - ANWENDUNGSBEREICH</b>		<b>4</b>
<b>3 - DEFINITIONEN</b>		<b>5</b>
3.1	Prüfluft	5
3.2	Nennvolumenstrom	5
3.3	Anströmfläche	5
3.4	Anströmgeschwindigkeit	5
3.5	Freie Filterfläche	5
3.6	Durchströmgeschwindigkeit	5
3.7	Anfangsdruckdifferenz	5
3.8	Nennwert der Enddruckdifferenz	5
3.9	Anfangs-Fraktionsabscheidegrad	6
3.10	Bewerteter Fraktionsabscheidegrad	6
3.11	Gravimetrischer Abscheidegrad	6
3.12	Staubspeicherfähigkeit	6
3.13	HEPA-Filter	6
3.14	Endfilter	6
<b>4 - PRÜFSTAND UND AUSRÜSTUNG</b>		<b>7</b>
4.1	Prüfeinrichtung	7
4.2	Aerosolherzeugung und -neutralisation	8
4.2.1	DEHS-Prüfaerosol	8
4.2.2	Latex-Prüfaerosol	8
4.2.3	Aerosolneutralisation	9
4.3	Partikelzähler	10
4.4	Transport-Leitungen	10
4.5	Staubaufgabevorrichtung	11
<b>5 - PRÜFVERFAHREN</b>		<b>12</b>
5.1	Anfangsdruckdifferenz	12
5.2	Anfangsfraktionsabscheidegrad	12
5.3	Staubspeichervermögen und gravimetrischer Abscheidegrad	13
5.4	Weitere Prüfschritte	13
<b>6 - DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE (SIEHE ANHANG A)</b>		<b>15</b>
6.1	Volumenstrom, Anfangsdruckdifferenz	15
6.2	Fraktionsabscheidegrad	15
6.3	Bewerteter Fraktionsabscheidegrad	16
6.4	Gravimetrischer Abscheidegrad und Staubspeicherfähigkeit	17
6.5	Interpolieren gemessener Werte	17
6.6	Berechnung der Unsicherheit	18

<b>7 - EICHUNG DES PARTIKELZÄHLERS</b>	<b>19</b>
7.1 Eichung zur Messung der Partikelgröße	19
7.2 Eichung zur Messung der Partikelkonzentration	20
7.3 Prüfluftvolumenstrom des Partikelzählers	20
<b>8 - ABKÜRZUNGEN</b>	<b>20</b>
Bild 1 : Schematische Darstellung des Prüfstandes	21
Bild 2: Abmessungen des Prüfstandes in mm	21
Bild 3 : Schematische Darstellung des Systems für die Erzeugung von Latex-Partikeln	22
Bild 4 :Schematische Darstellung des Verneblers	23
Bild 5 : Schematische Darstellung des Strahler-Halters für den Aerosol neutralisator	24
Bild 6 : Schematische Darstellung der DEHS-Partikelerzeugung	25
ANHANG A	26
ANHANG B	28
ANHANG C	30
ANHANG D	36

## 1. EINLEITUNG

Das hier vorliegende Dokument beschreibt eine Prüfmethode unter Verwendung von Latex oder DEHS als Prüfaerosol, wobei die eingesetzten Systeme und Geräte seit mehreren Jahren für die Prüfung von Filtern verwendet werden.

Der Abscheidegrad des Filters wird ermittelt, indem die Partikel-Konzentrationen in der anströmenden und in der abströmenden Luft mit der Laser-Partikelzählmethode im Partikelgrößen-Bereich von 0,2 µm bis über 3 µm gemessen werden.

Wenn neue Prüfsysteme verfügbar sein sollten, die rasche und zuverlässige Ergebnisse bringen, kann dieses Verfahren auf einen breiteren Partikelbereich ausgedehnt werden.

Zur Zeit gibt es eine Diskussion darüber, welches Aerosol für das Prüfen von Filtern nach der Partikelzählmethode am besten geeignet ist.

Diese Diskussion ist noch nicht abgeschlossen.

Dieses Dokument ist auch ein Beitrag für die europäische Normung im Komitee CEN/TC 195 "Partikel-Luftfilter für die allgemeine Raumluftechnik".



## 2. ANWENDUNGSBEREICH

Im vorliegenden Dokument soll eine neue Prüfmethode für Luftfilter mit mittlerer und hoher Leistungsfähigkeit beschrieben werden. Früher wurden die Kennwerte solcher Filter nach der Methode ASHRAE 52/76 ermittelt, welche die Grundlage für mehrere andere Standards und Empfehlungen bildete (z.B. EUROVENT 4/5 und EN779).

Das neue Verfahren gibt die Möglichkeit, die Filtermerkmale vollständiger zu ermitteln, vor allem was Fraktionsabscheidegrade betrifft.

Im einzelnen hat die neue Prüfmethode zum Ziel:

- Filterkennwerte im Hinblick auf Gesundheitsrisiken durch bestimmte Aerosole festzulegen;
- Filterkennwerte im Hinblick auf die Reinheitsanforderungen in einem Prozeß festzulegen;
- bessere Filterkennwerte festzulegen, um in der Lage zu sein, Kennwerte von Prüfungen in die Praxis zu übertragen;
- die für die Beurteilung von Alterungserscheinungen des Filters nötigen technischen Grundlagen zur Verfügung zu stellen;
- einen Beitrag zur Schaffung einer rascheren und einfacheren Prüfmethode zu leisten, die mehr Kontrollvorgänge auf dem Prüfstand zuläßt;
- die Möglichkeit zu geben, erforderlichenfalls die Methode direkt für das Überwachen von Filteranlagen am Einsatzort zu nutzen.

Das Dokument legt die Forderungen an die Prüfausrüstung sowie die Analyse und die Darstellung der Meßergebnisse fest.

Die mit diesem Prüfverfahren ermittelten Leistungswerte allein sind nicht geeignet Filterstandzeit und Filterverhalten (Verringerung des Wirkungsgrades, mechanische Integrität) vorherzusagen.

Abhängig von den jeweiligen Betriebsbedingungen können bestimmte elektrostatisch geladene Filtermaterialien neutralisiert werden und an Wirkung verlieren.

Die Methode gilt für Luftfilter in der allgemeinen Raumluftechnik mit einer Anströmgeschwindigkeit von mindestens 0,6 m/s.

### **3. DEFINITIONEN**

#### **3.1 Prüfluft**

Die für Prüfzwecke vorgesehene Luft, die durch ein Filter mit hohem Wirkungsgrad gefiltert ist und eine den Anwendungserfordernissen des Filters entsprechende Luftfeuchtigkeit aufweist oder definitionsgemäß unter 70 % relative Luftfeuchtigkeit liegt.

#### **3.2 Nennvolumenstrom**

Zeitbezogenes gefördertes Luftvolumen, für das der Prüfling ausgelegt ist und wie es vom Hersteller angegeben ist (ausgedrückt in  $\text{m}^3/\text{s}$  bei einer Luftdichte von  $1,20 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

#### **3.3 Anströmfläche**

Innere Querschnittsfläche des Prüfkanals direkt vor dem Prüfling (Nennwerte  $0,61 \times 0,61 \text{ m} = 0,37 \text{ m}^2$ ).

#### **3.4 Anströmgeschwindigkeit**

Quotient aus Volumenstrom und Anströmfläche (ausgedrückt in  $\text{m}/\text{s}$ ).

#### **3.5 Freie Filterfläche**

Oberfläche des Filtermediums, die von der Prüfluft angeströmt wird (ausgedrückt in  $\text{m}^2$ ).

#### **3.6 Durchströmgeschwindigkeit**

Quotient aus Volumenstrom und freier Filterfläche (ausgedrückt in  $\text{m}/\text{s}$ ).

#### **3.7 Anfangsdruckdifferenz**

Druckdifferenz des unbestaubten Filters bei Nennvolumenstrom (ausgedrückt in  $\text{Pa}$ ).

#### **3.8 Nennwert der Enddruckdifferenz**

Größte Betriebs-Druckdifferenz des Prüflings gemäß der Empfehlung des Herstellers bei Nennvolumenstrom (ausgedrückt in  $\text{Pa}$ ).

### **3.9 Anfangs-Fraktionsabscheidegrad**

Der Fraktionsabscheidegrad des unbestaubten Filters bei Nennvolumenstrom (ausgedrückt in % für jede Partikelgröße)

### **3.10 Bewerteter Fraktionsabscheidegrad**

Das bewertete Mittel der Fraktionsabscheidegrade bei unterschiedlichen Staubeinspeicherungen.

### **3.11 Gravimetrischer Abscheidegrad**

Das Verhältnis der vom Filter zurückgehaltenen Staubmenge zu der zugeführten Staubmenge (ausgedrückt in %).

### **3.12 Staubspeicherfähigkeit**

Die Menge des dem Filter zugeführten Staubes multipliziert mit dem gravimetrischen Abscheidegrad bis zum Erreichen der Enddruckdifferenz (ausgedrückt in Gramm).

### **3.13 HEPA-Filter**

Ein für die anströmseitige Reinigung der Prüfluft vorgesehenes Luftfilter mit einem Dekontaminierungsfaktor über 10 000 (gemäß EUROVENT 4/4) bei Nennvolumenstrom.

### **3.14 Endfilter**

Luftfilter, das zum Abscheiden des Prüfstaubes dient, der durch den Prüfling hindurchtritt.

## 4. PRÜFSTAND UND AUSRÜSTUNG

### 4.1 Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung ist so zu gestalten, daß im Prüfstand ein stabiles Aerosol mit homogener Konzentration zur Verfügung steht.

Der Prüfstand (siehe Bild 1) besteht aus mehreren Kanalstücken mit quadratischem Querschnitt bei einem Nennmaß von 610 x 610 mm, mit Ausnahme von Kanalstück 3 zur Aufnahme des Prüflings. Dieses Kanalstück hat ein Nennmaß zwischen 616 und 622 mm. Die Länge dieses Kanalstückes muß das 1,1-fache der Länge des Prüflings, mindestens aber 1 m betragen.

Dem Kanalstück 1 mit der Einspeisung für das Aerosol ist auf der Eintrittseite ein Gehäuse für ein HEPA-Filter vorgeschaltet.

Kanalstück 2 enthält auf der Eintrittseite die Mischöffnung, in deren Mitte die Staubzufuhr erfolgt. Abströmseitig von der Staubzufuhr ist eine Lochplatte zur Vergleichmäßigung der Staubverteilung angeordnet. Im letzten Drittel dieses Kanalstückes befindet sich die anströmseitige Probenahmesonde. Bei Abscheidegradprüfungen mit synthetischem Staub muß diese Probenahmesonde abgedeckt sein.

Kanalstück 5 ist an der Eintrittseite mit einem Endfilter für die Abscheidegradprüfung und an der Austrittseite mit der abströmseitigen Probenahmesonde ausgestattet.

Die Maße des Prüfstandes und die Anordnung der Druckmeßstellen sind aus Bild 2 ersichtlich.

Die Prüfeinrichtung kann sowohl bei Unterdruck als auch bei Überdruck betrieben werden. Der Überdruckbetrieb (Ventilator auf der Anströmseite) gewährleistet jedoch eine bessere relative Dichtigkeit der Prüfeinrichtung im Vergleich zum Unterdruckbetrieb. Die Prüfeinrichtungen sind weiterhin mit einer Volumenstrom-Meßeinrichtung nach einer genormten Meßmethode auszustatten.

## **4.2 Aerosolerzeugung und -neutralisation**

Das Prüfaerosol für die Bestimmung des Fraktionsabscheidegrades sollte aus DEHS- oder Latex-Partikel bestehen.

### **4.2.1 DEHS-Prüfaerosol**

Das mit einer Laskindüse erzeugte Prüfaerosol aus DEHS (DiEthylHexyl Sebacat) wird häufig bei der Prüfung von Filtern verwendet und hat das DOP-Prüfaerosol ersetzt.

Die Vorrichtung zur Aerosolerzeugung besteht aus einem kleinen Behälter mit DEHS-Flüssigkeit und einer Laskin-Düse (siehe Bild 6).

Das Aerosol wird mit einer geringen Menge partikelfreier Luft erzeugt, die der Laskindüse zugeführt wird. Die kleinen Tröpfchen werden dann direkt in den Prüfstand geleitet (siehe Bild 1).

Eine Neutralisation muß nicht erfolgen.

Der Druck und der Volumenstrom für die Düse sind abhängig vom Prüfvolumenstrom, der Temperatur der Flüssigkeit und von der Füllstandshöhe des DEHS.

Für einen Prüfvolumenstrom von  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  beträgt der Druck etwa 17 kPa, entsprechend einem Volumenstrom von etwa  $0,39 \text{ dm}^3/\text{s}$  ( $1,4 \text{ m}^3/\text{h}$ ) durch die Düse. Vor dem Prüfvorgang ist die anströmseitige Konzentration zu regeln, damit eine stabile Konzentration unter dem Koinzidenzniveau des Partikelzählers vorliegt.

Jeder, vom Laskin-Generator abweichende Aerosolgenerator, der im der Lage ist Tröpfchen in genügen der Konzentration im Partikelgrößenbereich von  $0,1\text{-}3 \text{ }\mu\text{m}$  zu erzeugen, kann eingesetzt werden. Ein Generatortyp wird im französischen Standard NF X 44060 beschrieben.

### **4.2.2 Latex-Prüfaerosol**

Die "Latex"-Partikel, die das Prüfaerosol bilden, sind kleinste Kügelchen eines industriell hergestellten synthetischen Harzes. Die genaue Bezeichnung des Produktes ist homopolymeres Vinylacetat. Es bietet die Möglichkeit, einen Partikelgrößenbereich von  $0,1$  bis  $> 5 \text{ }\mu\text{m}$  abzudecken. Diese Emulsion wird in entionisiertem Wasser auf eine Konzentration von 2 % verdünnt und dann mit einem Vernebler dispergiert.

Das System für die Partikelerzeugung besteht aus einer Verdünnungskammer, in der die Latexlösung versprüht wird (siehe Bild 3). Nach Trockung in der Verdünnungskammer werden die Latexpartikel durch einen Neutralisator geführt, um die elektrische Ladungsverteilung des Aerosols zu neutralisieren. Es wird ein "Collison"-Vernebler verwendet. Das Rohr für die Druckluftzufuhr und die Düse (siehe Bild 4) sind in der Mitte der Verdünnungskammer angeordnet.

Der untere Teil der Düse ist über einen flexiblen Schlauch mit dem Behälter für die Latexlösung verbunden.

Die zerstäubten Tröpfchen, die auf die Wände der Verdünnungskammer prallen, fließen in den Vorratsbehälter zurück und gewährleisten so einen fast konstanten Füllstand der Lösung.

Der Düse wird gefilterte Druckluft mit einem Druck von 180 kPa zugeführt, entsprechend einem Luftstrom von  $0,083 \text{ dm}^3/\text{s}$  ( $0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Die Verdünnungskammer wird mit gefilterter, trockener Luft versorgt (relative Feuchte = 10 % bei  $20^\circ\text{C}$ , Abscheidegrad = 99,99 % nach EUROVENT 4/4) bei einem Volumenstrom von  $5,56 \text{ dm}^3/\text{s}$  ( $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ).

Vor dem Prüfvorgang ist die anströmseitige Konzentration zu regeln, damit eine stabile Konzentration unter dem Koinzidenzniveau des Partikelzählers vorliegt.

#### **4.2.3 Aerosolneutralisation**

Die meisten Aerosolgeneratoren erzeugen stark geladene Aerosole durch mechanische Scherbeanspruchung. Diese Ladungen müssen neutralisiert werden, um Abscheidungen durch elektrische Felder zu minimieren. Für DEHS-Aerosol ist im Gegensatz zu Latex-Aerosol keine Neutralisierung erforderlich.

Die neutralisierten Partikel werden dann unmittelbar an der Wand von Kanalstück 1 in den Prüfstand eingeleitet.

Ein geeigneter radioaktiver Neutralisator ist in Bild 5 beschrieben. Er besteht aus einem Zylinder von 40 mm Durchmesser, der drei radioaktive Strahlungsquellen aus Americium 241 mit je  $3,7 \text{ MBq}$  enthält.

Eine geeignete Alternative zu dem radioaktiven Neutralisator ist ein elektrostatischer Neutralisator, der in der Lage ist, eine hohe Zahl bipolarer Ionen zu erzeugen, die das Aerosol wirksam neutralisieren.

Es sollte jedoch bedacht werden, daß elektrostatische Neutralisatoren eine große Zahl ultrafeine Partikel erzeugen können, die sich auf das Aerosol auswirken.

### **4.3 Partikelzähler**

Das hier vorgestellte Verfahren erfordert den Einsatz von mindestens einem optischen Partikelzähler mit einer Laserlichtquelle, der Partikelgrößen zwischen  $0,2 \mu\text{m}$  und mindestens  $> 3 \mu\text{m}$  mit hoher Zählleistung erfassen kann.

Der Partikelzähler muß regelmäßig mit monodispersen Latexpartikeln geeicht werden.

Als Alternative zum Einsatz von einem Partikelzähler zur Messung der anström- und abströmseitigen Konzentration kann auch ein Dual Laser-System benutzt werden (siehe Abschnitt 7).

### **4.4 Transport-Leitungen**

Zwei starre Leitungen mit gleicher Länge und äquivalenter Geometrie (Biegungen und gerade Längen) müssen die anström- und abströmseitigen isokinetischen Probenahmesonden mit dem Partikelzähler verbinden.

Drei Einwegventile ermöglichen eine Probenahme des Aerosols auf der Anströmseite oder auf der Abströmseite des Prüflings oder die Durchführung einer Nullmessung über ein HEPA-Filter. Diese Ventile müssen geradläufig durchgängig sein.

Wenn ein Dual Laser-System benutzt wird, werden die Partikelzähler direkt mit den isokinetischen Probenahmesonden verbunden (dabei muß die Möglichkeit einer Nullmessung ebenfalls möglich sein).

Der Probenahmestrom muß so eingestellt werden, daß das Aerosol ohne größere Verluste durch Prallabscheidung oder Sedimentation zum Partikelzähler geleitet wird.

Bei einem Partikelzähler mit einem hohen Volumenstrom ( $0,47 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) kann der erforderliche Probenahmestrom durch die Pumpe des Zählers gewährleistet werden; bei einem Zähler mit einem geringeren Volumenstrom (beispielsweise  $0,047 \text{ dm}^3/\text{s}$ ) kann eine zusätzliche Pumpe eingesetzt werden. Die Leitung muß dann mit einer direkt mit dem Partikelzähler verbundenen isokinetischen Probenahmesonde ausgestattet sein, um isokinetische Bedingungen von  $\pm 10 \%$  zu erreichen.

#### **4.5 Staubaufgabevorrichtung**

Die Staubaufgabevorrichtung hat den Zweck, den synthetischen Staub über die Versuchsdauer gleichmäßig verteilt dem Prüfling zuzuführen.

Bei der Staubaufgabevorrichtung mit linearem Vorschub wird eine vorher abgewogene Staubmenge in die bewegliche Aufnahmeschale gegeben. Die Schale bewegt sich mit konstantem Vorschub, der Staub wird durch eine Förderwalze erfaßt und kontinuierlich zum Staubansaugschlitz des Injektors geführt.

Der Injektor dispergiert den Staub mittels Druckluft und führt ihn über ein Staubeintragrohr dem Prüfstand zu.

Die Druckluft muß sauber, trocken und ölfrei sein.

Wenn die Staubaufgabevorrichtung masseabhängig betrieben wird, kann die Menge des zugeführten Staubes während der Staubspeicherphase zusammen mit der Druckdifferenz des Prüflings kontinuierlich aufgezeichnet werden. Eine solche Vorrichtung ermöglicht es, die Staubaufgabe bei einer vorher festgelegten Enddruckdifferenz zu beenden.



## **5. PRÜFVERFAHREN**

Das Filter wird entsprechend den Angaben des Herstellers in den Prüfstand eingesetzt.

### **5.1 Anfangsdruckdifferenz**

Die Messung der Anfangsdruckdifferenz erfolgt bei mindestens vier Luftvolumenströmen von 50, 75, 100 und 125 % des vom Hersteller angegebenen Nennvolumenstromes. Die Messung der Druckdifferenz muß über Druckmeßstellen erfolgen, die entsprechend Bild 2 angeordnet sind. Die Druckmeßstellen sind über die vier Kanalausßenseiten zu verteilen und untereinander durch eine Ringleitung zu verbinden.

### **5.2 Anfangsfraktionsabscheidegrad**

Die Bestimmung des Anfangsfraktionsabscheidegrades erfolgt bei Nennvolumenstrom durch das Filter.

Die Aerosolerzeugung wird entsprechend den im Abschnitt 4.2 beschriebenen Betriebsbedingungen so geregelt, daß einerseits eine Konzentration unter dem Koinzidenzniveau des Partikelzählers, andererseits die für die Bestimmung des Fraktionsabscheidegrades erforderliche Mindestmenge vorhanden ist.

Die Messung des Fraktionsabscheidegrades erfolgt durch eine Serie von 13 je eine Minute dauernden Messungen, wobei nacheinander anström- und abströmseitig gemessen wird. Vor jeder Messung wird zur Vergleichmäßigung der Partikelkonzentration in den Leitungen entweder eine Spülzeit von einer Minute Dauer eingelegt oder eine einminütige Probenahme ohne Durchführung einer Messung durchgeführt.

Die Probenahmezeit kann, abhängig von der Partikelkonzentration und dem verwendeten Partikelzähler von einer Minute abweichen.

Bei Verwendung eines Dual Laser-Systems sind nur sechs gleichzeitig anström- und abströmseitig durchgeführte Messungen erforderlich.

Die Probenahme erfolgt über profilierte, sich verjüngende Sonden, die in der Kanalmitte vor und hinter dem Filter angeordnet sind. Die Abmessungen der Sonden müssen eine isokinetische Probenahme zulassen.

### **5.3 Staubspeichervermögen und gravimetrischer Abscheidegrad**

Zur Erfassung der Änderung von Druckdifferenz und Abscheidegrad wird der Filter mit einem Prüfstaub beladen. Der Prüfstaub entspricht dem im ASHRAE-Standard 52-1:1992 genormten Staub.

Er wird in einer Konzentration von  $70 \text{ mg/m}^3$  zugegeben, bis die erste festgelegte Druckdifferenz erreicht ist (siehe 5.4)

Das anfangs gewogene Endfilter wird aus dem Prüfstand genommen und zur Bestimmung der Masse des Staubes, der das Prüffilter passiert hat, erneut gewogen. Danach wird der gravimetrische Abscheidegrad berechnet. Das Endfilter muß so beschaffen sein, daß keine Feuchtigkeit aus der Atmosphäre aufgenommen wird. Vor der anfänglichen Gewichtsbestimmung ist das Endfilter für mindestens 30 Minuten zu konditionieren.

### **5.4 Weitere Prüfschritte**

Nach der Durchführung der in Abschnitt 5.2 und 5.3 beschriebenen Messungen werden jeweils nacheinander die Messungen des Fraktionsabscheidegrades und die Messungen des gravimetrischen Abscheidegrades unter Verwendung von ASHRAE-Prüfstaub durchgeführt. Die Druckverlustwerte, bei denen diese Messungen ausgeführt werden, sind

für Grobstaubfilter (EU1-EU4) - Abscheidegrad und Staubspeicherfähigkeit

- 1- Nach 30g Staub oder 10 Pa Druckdifferenzanstieg, je nach dem, was zuerst erreicht wird,
- 2- Nach 50, 100, 150, 250 Pa Enddruckdifferenz (wenn möglich).

für Feinstaubfilter (EU5-EU9) - Fraktionsabscheidegrad, Abscheidegrad und Staubspeicherfähigkeit

- 1- (s.o.)
- 2- Nach 150, 200, 300, 450 Pa Enddruckdifferenz (wenn möglich)

Es müssen wenigstens fünf Messungen durchgeführt werden.

Die Prüfung ist zu beenden, wenn des Abscheidegrad unter 75 % oder zwei Werte unter 85 % des maximalen Abscheidegrades fallen.

Nach jeder Bestäubung muß das Filter zur Verringerung der Abgabe von Partikeln, die aus dem teilweise beladenen Filter "freigesetzt" werden können, mit Luft gespült werden.

Für jede Partikelgröße wird dieses Freisetzungsverhältnis ausgedrückt durch das Verhältnis der "freigesetzten" Partikel zur mittleren Anzahl der anströmseitig während der Bestimmung des Fraktionsabscheidegrades ankommenden Partikeln.

Dieses Verhältnis ist ein direkter Ausdruck des Fehlers des absoluten berechneten Abscheidegrades, da hier die "freigesetzten" Teilchen berücksichtigt werden, deren Nichtberücksichtigung zu einer Unterschätzung des Fraktionsabscheidegrades führen würde.

Das Filter muß so lange mit Luft gespült werden, bis bei jeder Partikelgrößenklasse eine Freisetzungsrate von weniger als 2 % erreicht worden ist.

Beispiel:

$n_{ri}$ : Zahl der "freigesetzten" Teilchen der Größenklasse 1 (hinter dem Filter während der Spülphase).

$n_i$ : Zahl der Teilchen der Größenklasse 1, die bei der Bestimmung des Fraktionsabscheidegrades nicht abgeschieden worden sind.

$N_i$ : mittlere Teilchenzahl der Größenklasse 1 vor dem Filter während der Bestimmung des Fraktionsabscheidegrades.

Fraktionsabscheidegrad ohne Freisetzung:

$$E_i = \frac{N_i - n_i}{N_i} = 1 - \frac{n_i}{N_i}$$

Fraktionsabscheidegrad mit Freisetzung:

$$E_{ri} = \frac{N_i - (n_i + n_{ri})}{N_i} = 1 - \frac{n_i}{N_i} - \frac{n_{ri}}{N_i}$$

$$\text{Freisetzungsrate} = \frac{n_{ri}}{N_i}$$

## 6. DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE (SIEHE ANHANG A)

### 6.1 Volumenstrom , Anfangsdruckdifferenz

Die Kurve, die die Anfangsdruckdifferenz als Funktion des Volumenstromes zeigt, muß bei mindestens vier Volumenströmen von 50, 75, 100 bzw. 125 % des vom Hersteller angegebenen Nennvolumenstromes dargestellt sein.

Die angegebene Druckdifferenz muß auf eine Luftdichte von  $1,20 \text{ kg/m}^3$  korrigiert sein (siehe Anhang B).

### 6.2 Fraktionsabscheidegrad

Der Fraktionsabscheidegrad in einem bestimmten Teilchengrößenbereich (Teilchen zwischen zwei Durchmesserwerten) wird ausgedrückt durch das Verhältnis der Zahl der vom Filter zurückgehaltenen Teilchen zur Zahl der anströmseitig zugeführten Teilchen.

Die Zählungen müssen nacheinander vor und hinter dem Filter vorgenommen werden, wobei der Ablauf der Zählungen für eine bestimmte Größenklasse wie folgt aussieht:

Nummer der Zählung	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Anströmseitig	$N_1$		$N_2$		$N_3$		$N_4$		$N_5$		$N_6$		$N_7$
Abströmseitig		$n_1$		$n_2$		$n_3$		$n_4$		$n_5$		$n_6$	

Sechs « punktuelle » Fraktionsabscheidegrade sind wie folgt zu berechnen (siehe Anhang C)

$$E_1 = \left[ 1 - \frac{n_1}{\frac{N_1 + N_2}{2}} \right] 100$$

$$E_2 = \left[ 1 - \frac{n_2}{\frac{N_2 + N_3}{2}} \right] 100$$

$$E_3 = \left[ 1 - \frac{n_3}{\frac{N_3 + N_4}{2}} \right] 100$$

$$E_4 = \left[ 1 - \frac{n_4}{\frac{N_4 + N_5}{2}} \right] 100$$

$$E_5 = \left[ 1 - \frac{n_5}{\frac{N_5 + N_6}{2}} \right] 100$$

$$E_6 = \left[ 1 - \frac{n_6}{\frac{N_6 + N_7}{2}} \right] 100$$

Der Fraktionsabscheidegrad ist gleich dem Mittelwert dieser Abscheidegrade, also:

$$\bar{E} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 E_i$$

Die Mittelwerte der Fraktionsabscheidegrade sind in einer logarithmischen Kurve als Funktion des mittleren Durchmessers darzustellen. Der mittlere Durchmesser ist derjenige Durchmesser, der der Mitte des Teilchen-Größenbereiches entspricht.

Bei den Hochleistungsfiltren kann die Ordinatenkala umgekehrt logarithmisch aufgebaut sein, um eine detailliertere Darstellung des Anteils von 90 bis 100 % zu erhalten (siehe Anhang B).

Bei Benutzung des dualen Lasersystems muß der Fraktionsabscheidegrad wie folgt berechnet werden:

Nummer der Zählung	1	2	3	4	5	6
Anströmseitig	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$
Abströmseitig	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$n_5$	$n_6$

$$E_i = \left[ 1 - \frac{n_i}{N_i} \right] 100 \quad \bar{E} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 E_i$$

### 6.3 Bewerteter Fraktionsabscheidegrad

Der bewertete Fraktionsabscheidegrad ist ein gemittelter Fraktionsabscheidegrad, der die unterschiedlichen Staubspeicherphasen berücksichtigt (siehe Anhang C).

Bei einer Reihe von "n" Staubspeicherphasen ergibt sich der bewertete Abscheidegrad des Spektrums nach der folgenden Formel:

$$E_j = \sum_{i=0}^{n-1} \left[ \left( \frac{E_{i,j} + E_{i+1,j}}{2} \right) \frac{M_{i+1}}{M} \right]$$

$E_j$  = der bewertete Abscheidegrad für die Teilchengrößenklasse "j"

$E_{i,j}$  = der Fraktionsabscheidegrad für die Klasse "j" nach der Staubspeicherphase "i".

$M_i$  = Menge des während der Staubspeicherphase "i" zugeführten Staubes

$$M = \sum_{i=0}^{n-1} M_i$$

$i=0 \quad M_0=0 \quad E_{0,j}$  = Anfangsabscheidegrad

Der bewertete Fraktionsabscheidegrad muß als Funktion des mittleren Durchmessers dargestellt werden.

#### **6.4 Gravimetrischer Abscheidegrad und Staubspeicherfähigkeit**

Der Abscheidegrad "A" gegenüber synthetischem Staub für eine bestimmte Staubspeicherphase errechnet sich wie folgt:

$$A_i = 100 \left[ 1 - \frac{m_i}{M_i} \right] \%$$

$m_i$ : Masse des den Filter passierenden Staubes

$M_i$ : Masse des während der Staubspeicherphase zurückgehaltenen Staubes

Die Staubspeicherfähigkeit bei einer bestimmten Enddruckdifferenz ist gleich der Gesamtmasse des bis dahin eingespeisten Staubes, multipliziert mit dem mittleren Abscheidegrad gegenüber synthetischem Staub.

Der mittlere Abscheidegrad gegenüber synthetischem Staub  $A_m$  ergibt sich nach der folgenden Gleichung:

$$A_m = \frac{1}{M} [ M_1 A_1 + M_2 A_2 + \dots + M_n A_n ]$$

mit  $M$  : Gesamtmasse des eingespeisten Staubes  $M = M_1 + M_2 + \dots + M_n$

$M_1, M_2, \dots, M_n$ : Staubmassen, die nacheinander eingespeist worden sind, um die folgenden

Druckdifferenzen bzw. die Enddruckdifferenz zu erreichen:

$M_1, M_2, \dots, M_n$

(\* Bei den meisten Prüfungen kann der mittlere Abscheidegrad gegenüber synthetischem Staub direkt für die gesamte Dauer der Prüfung ausgedrückt werden, ohne daß die Teilwerte der gravimetrischen Abscheidegrade ( $A_1, A_2 \dots$ ) berechnet werden müssen. )

## 6.5 Interpolieren gemessener Werte

Der Prüfer sollte die unter Punkt 5.4 genannten Druckdifferenzen einhalten. Wenn die Druckdifferenz überschritten wird, kann eine lineare Interpolation zur Berechnung des bewerteten Fraktionabscheidegrades, Abscheidegrades und der Staubspeichfähigkeit vorgenommen werden. Die Werte können ebenfalls graphisch aus der Kurve der gemessenen Werte ermittelt werden.

## 6.6 Berechnung der Unsicherheit

Die Unsicherheit des mittleren Fraktionsabscheidegrades, wie er im Abschnitt 6.2 definiert worden ist, entspricht einem beidseitigen Vertrauensintervall des Mittelwertes, ausgehend von einem Vertrauensniveau von 95 %.

Nach dem Standard ISO 2854-1975 gilt:

$$E - t_{(1-\alpha/2)} \frac{\delta}{\sqrt{n}} \leq \bar{E} \leq \bar{E} + t_{(1-\alpha/2)} \frac{\delta}{\sqrt{n}}$$

$E$  : mittlerer Abscheidegrad

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum E_i$$

$E_i$ : Einzelwert des Abscheidegrades

$t_{(1-\alpha/2)}$  Wert, der vom Freiheitsgrad "v" abhängt.

$$v = n - 1 \text{ (vgl. ISO 2854-1 976)}$$

n: Zahl der berechneten Abscheidegradwerte  $E_i$

$\delta$  : Standardabweichung

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (E_i - \bar{E})^2}{n-1}}$$

## 7. EICHUNG DES PARTIKELZÄHLERS

Optische Partikelzähler geben ohne Zeitverluste Informationen über die Partikelkonzentration und die Partikelgrößenverteilung. Die Informationen über die Partikelgrößenverteilung sind abhängig von der Eichung des Partikelzählers. Bei den verschiedenen Partikelzählern bestehen Unterschiede zwischen den optischen und elektronischen Systemen sowie ihren Probenahmesystemen.

Zur Vermeidung von Problemen, die aus diesen unterschiedlichen Konstruktionsmerkmalen herrühren, muß der gleiche Partikelzähler für die an- und abströmseitigen Messungen verwendet werden. Die Eichung des Partikelzählers muß unter Verwendung eines Aerosols erfolgen, dessen Zusammensetzung der des Prüfaerosols ähnlich ist.

Wenn ein Dual-Laser-System benutzt wird (zur Vermeidung von Einflüssen durch eine instabile Aerosolkonzentration), ist eine sorgfältige Eichung beider Partikelzähler des gleichen Typs erforderlich. Es muß gewährleistet werden, daß beide für jeden Kanal die gleiche Zählrate haben.

### ***7.1 Eichung zur Messung der Partikelgröße***

Die Anfangseichung des optischen Partikelzählers (hier: ein Zähler mit Laserquelle) erfolgt mit monodispersen, kugelförmigen, isotropen Partikeln aus Latex-Polystyren mit einem Refraktionswert von 1,59.

Die Eichung muß für mindesten 4 Kanäle - verteilt über den Gesamtmeßbereich des Gerätes - durchgeführt werden.

Die monodispersen Partikel werden in einem kalibrierten Zerstäuber generiert, mit sauberer Luft getrocknet und verdünnt. Danach wird mit einem Partikelzähler eine Probe isokinetisch gezogen und die Messung durchgeführt.

Die Aerosolverdünnung im sauberen Luftstrom muß so erfolgen, daß der Koinzidenzfehler (Wahrscheinlichkeit, mehr als 1 Teilchen im Meßbereich des optischen Partikelzählers zu finden) unter 5 % liegt.



## **7.2 Eichung zur Messung der Partikelkonzentration**

Für jede Partikelgröße monodispersen Aerosols muß die Eichungskontrolle bzw. das interne Eichsystem justiert werden, um in dem Kanal die bestmögliche Zählung entsprechend dem Standardaerosol zu erreichen.

## **7.3 Prüfluftvolumenstrom des Partikelzählers**

Der Luflvolumenstrom des Zählers ist nach einem genormten Verfahren zu überprüfen. Um eine repräsentative isokinetische Probe zu erhalten, ist es insbesondere bei den größeren Teilchen (> 1 µm) wichtig, diesen Volumenstrom zu kennen.

Die Eichung des Luftstromes muß den Einfluß der Druckdifferenz der Probenahmeleitungen berücksichtigen.

## **8. ABKÜRZUNGEN**

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
CAS	Chemical Abstract
CEN	Europäisches Komitee für Normung
DEHS	DiEthylHexylsebacat
DOP	DiocetylPhthalat
DOS	Diocetylsebacat
HEPA	Schwebstofffilter (High Efficiency Particulate Air)
ISO	International Organisation for Standardization
MBq	Mega Becquerel
SAC	Standardmodell radioaktiver Quellen

Bild 1:

## Schematische Darstellung des Prüfstandes

- |       |   |
|-------|---|
| 1 - 6 | Kanalstücke des Prüfstandes   |
| 7     | HEPA-Filter   |
| 8     | Aufgabestelle für DEHS- oder Latex-Partikel                             |
| 9     | Staubeintragsrohr   |
| 10    | Mischöffnung  |
| 11    | Lochplatte  |
| 12    | Anströmseitige Probennahmesonde   |
| 13    | Abströmseitige Probennahmesonde   |
| 14    | Endfilter zur Prüfung des Abscheidegrades gegenüber synthetischem Staub |

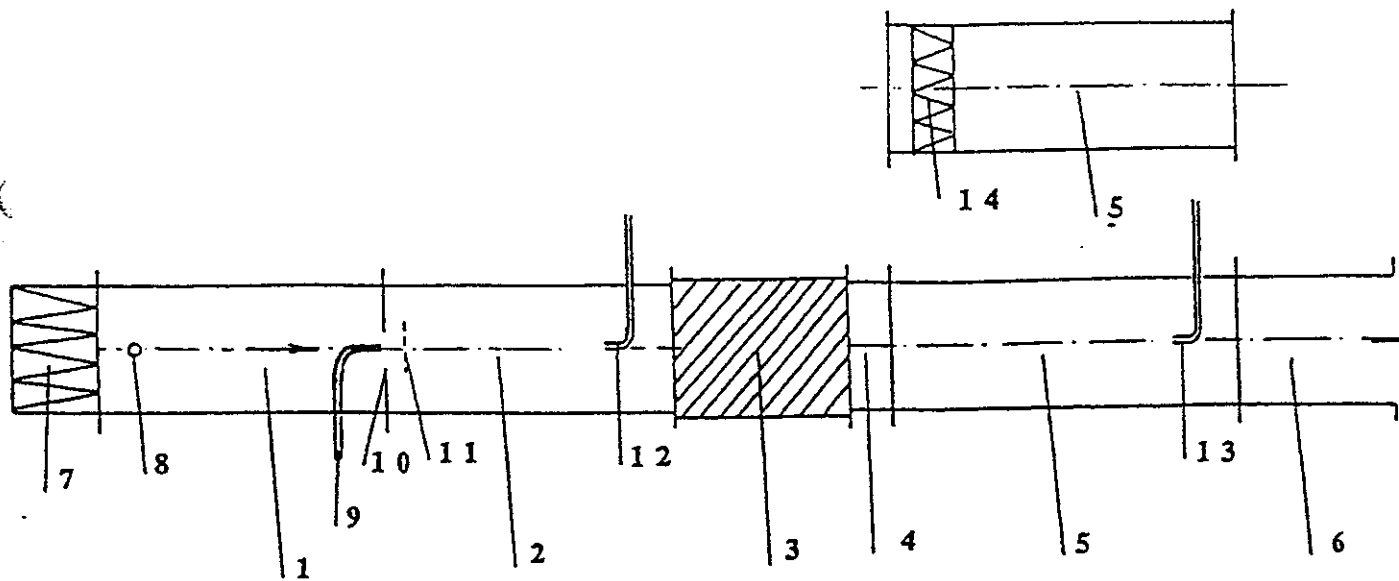
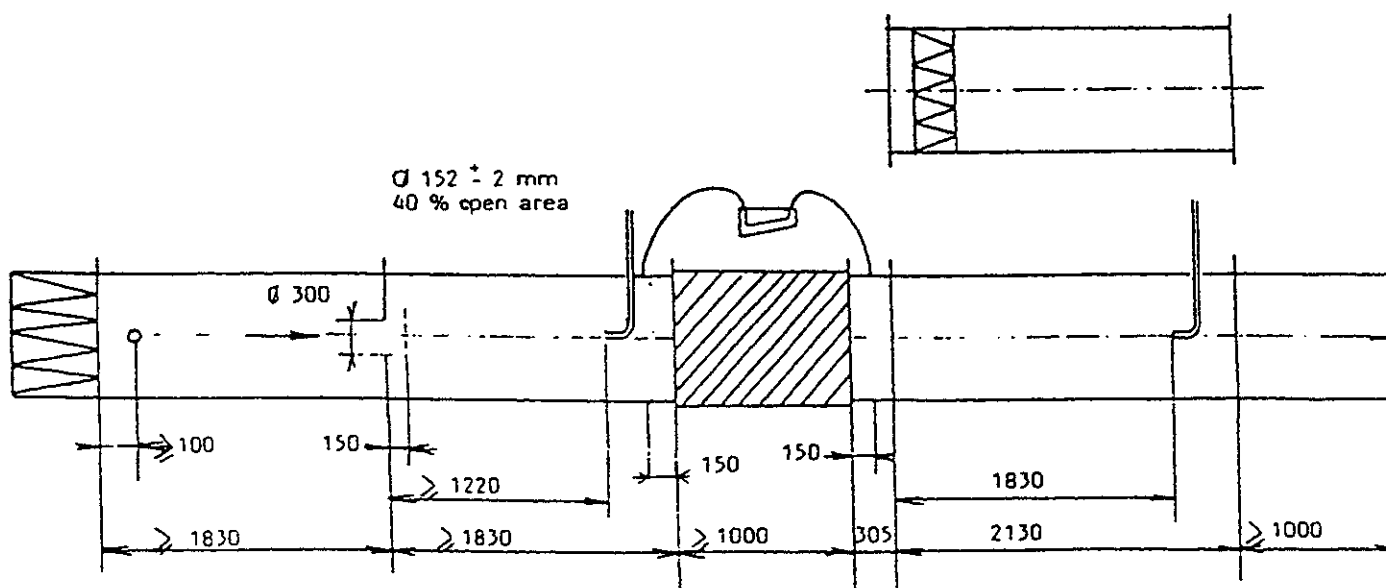


Bild 2:

## Abmessungen des Prüfstandes in mm



**Bild 3**  
**Schematische Darstellung des Systems für die Erzeugung von Latex-Partikeln**

- 1 Verdünnungskammer
- 2 Behälter mit Latexlösung
- 3 Düse
- 4 Durchflußmeßgerät
- 5 Filter
- 6 Filter
- 7 Druckminderventil
- 8 Nadelventil
- 9 Schlauch
- 10 Neutralisator
- 11 Prüfluftstrom

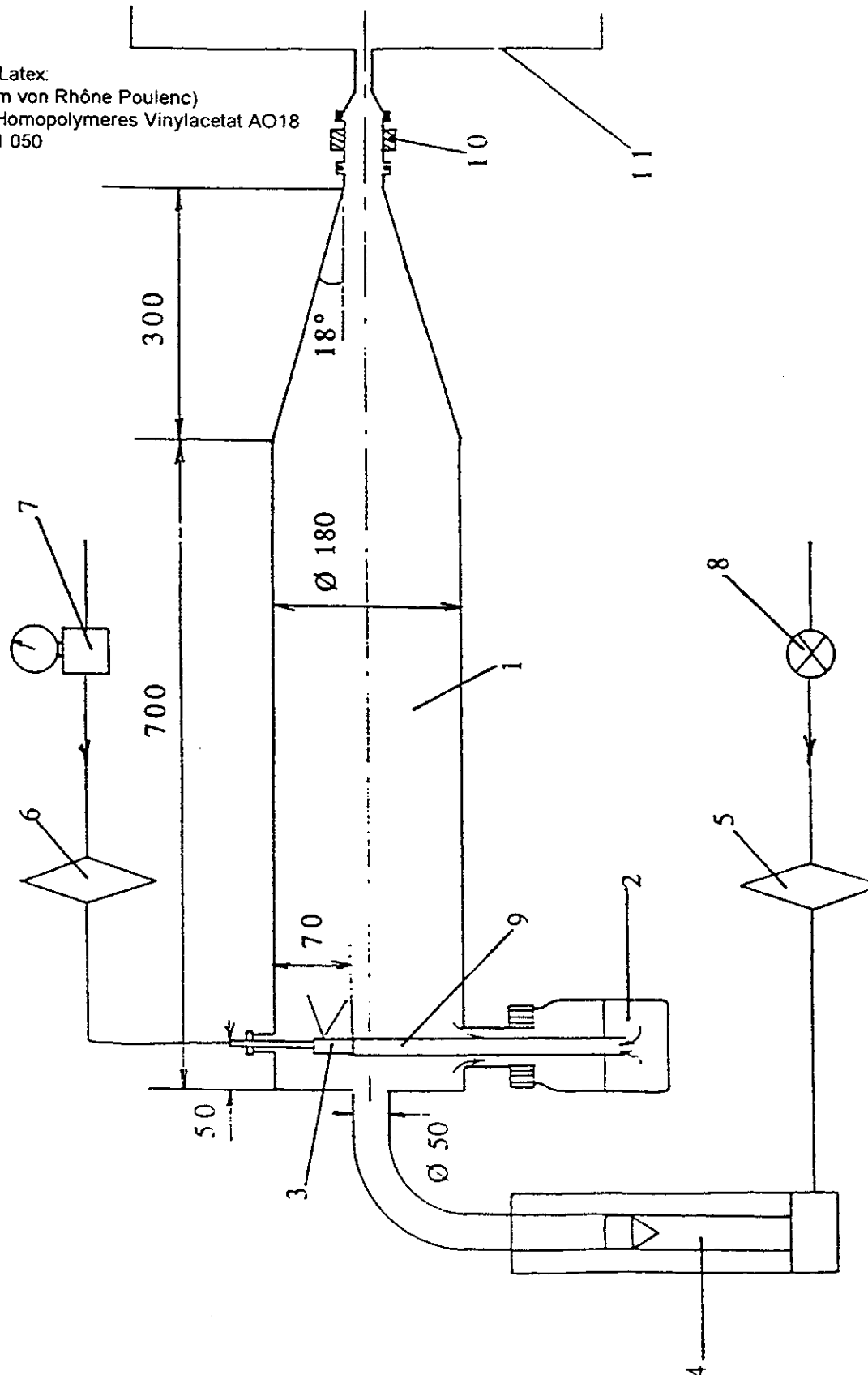
Materialeigenschaften von Latex:

(Quelle: Forschungszentrum von Rhône Poulenc)

Name: Homopolymeres Vinylacetat AO18

Dichte ( $\text{kg/m}^3$ ): 1 050

Brechungsindex: 1,47



**Bild 4 :**  
**Schematische Darstellung des Verneblers**

- 1 - Compressed air feeding pipe
- 2 - Nozzle
- 3 - Detailed diagram of the nozzle
- 4 - Three holes  $\varnothing 1,6$  equally spaced
- 5 - Three holes  $\varnothing 0,35$

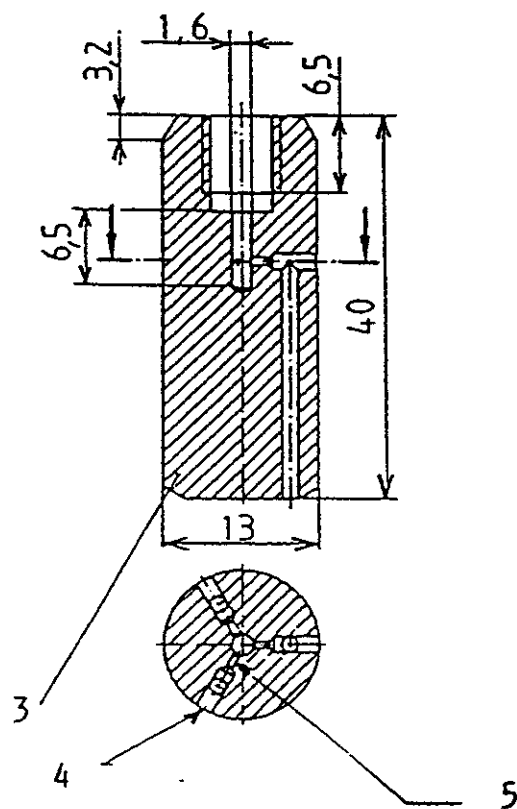
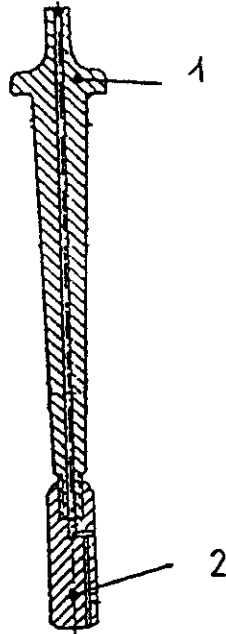
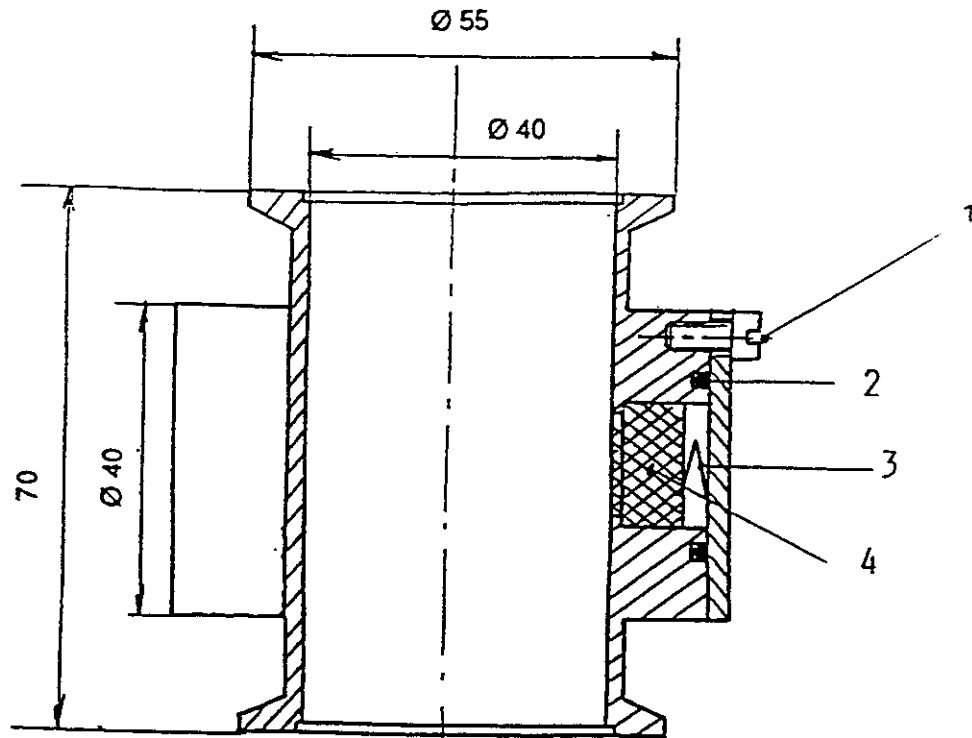


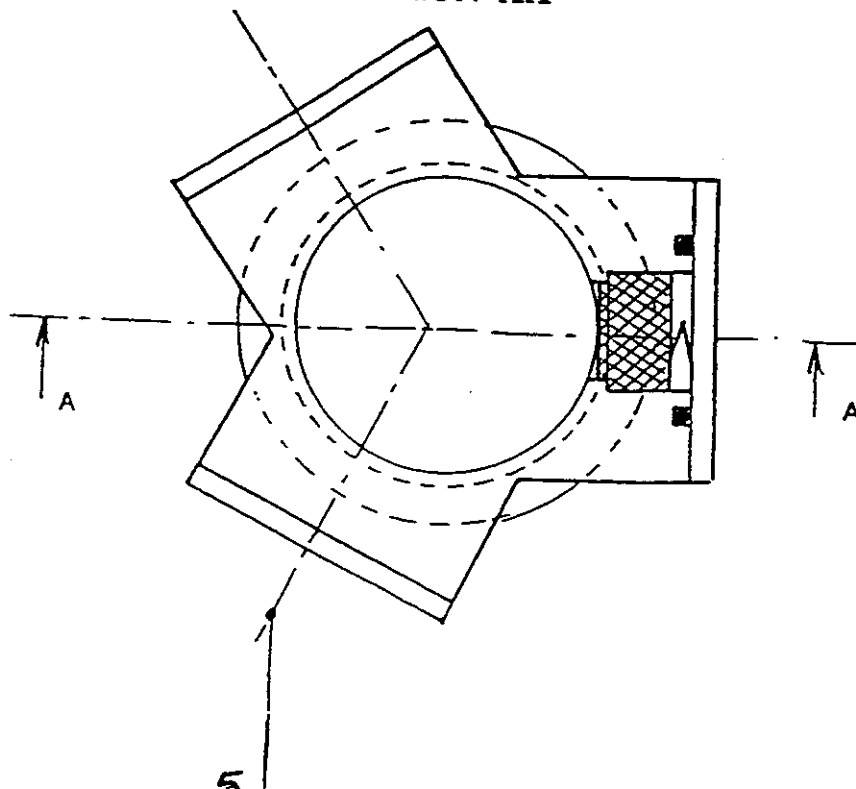
Bild 5:

Schematische Darstellung des Strahler.Halters für den Aerosolneutralisator  
(Abmessungen in mm)

- 1 Drei Befestigungsschrauben
- 2 Dichtung mit O-Ring
- 3 Blattfeder
- 4 SAC 2 - Strahler (3,7 MBq)
- 5 Drei gleichartige, separate Gehäuse für SAC 2 - Strahler



## SECTION AA



**Bild 6:**  
**Schematische Darstellung der DEHS-Partikelerzeugung**  
**(Abmessungen in mm)**

- 1 Partikelfreie Luft (Druck: 17 kPa)
- 2 Aerosolaustritt zum Prüfstand
- 3 Laskindüse
- 4 DEHS
- 5 Vier Bohrungen Durchmesser 1,0 90° versetzt, Oberkante der Bohrungen gerade die Unterseite des Kragens berührend
- 6 Vier Bohrungen Durchmesser 2,0 ausgerichtet auf die radialen Bohrungen

DEHS ist identisch mit DES Di(2-ethylhexyl) Sebacat bzw. Bis(2-ethylhexyl) Sebacat  
 oder DOS (Dioctylsebacat)

DEHS/DES/DOS-Formel:

$C_{26}H_{50}O_4$

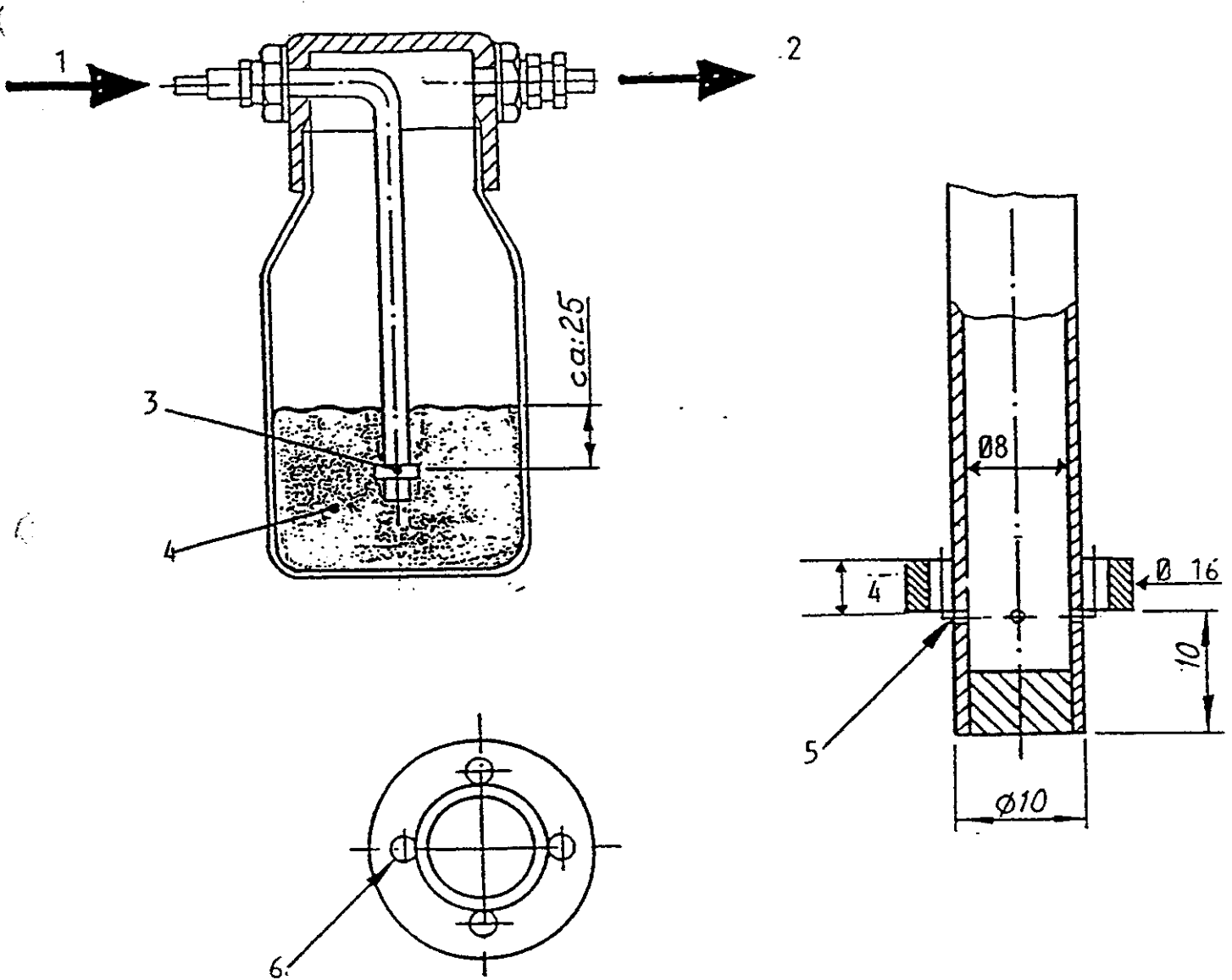
DEHS:  
 Dichte ( $kg/m^3$ ): 915

Flammpunkt ( $^{\circ}C$ ): 215

Brechungsindex: 1,451

Viskosität ( $cSt = 10^{-6} m^2/s$ ): 22

CAS-Nr.: 122-62-3



# ANHANG A

## PRÜFBERICHT ENTSPRECHEND DEM EUROVENT.DOKUMENT 4/9 DARSTELLUNG DER DATEN

### 1. Allgemeines

Bericht Nr. :

Prüfende Organisation:

Datum der Prüfung:

In Auftrag gegeben von:

### 2. Geprüftes Filter

**Hersteller:**

Modell:

Abmessungen :

freie Filterfläche:

Filtertyp:

Weitere Informationen:

### 3. Prüfergebnisse

Die gemessenen und berechneten Werte für Druckdifferenz, Abscheidegrad, Fraktionsabscheidegrad und bewerteter Fraktionsabscheidegrad sollten als Tabellen und Diagramme dargestellt werden.

#### 3.1. Zusammenfassung

Prüfvolumenstrom ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Anfangsdruckdifferenz bei Prüfvolumenstrom (Pa):

Bewerteter Fraktionsabscheidegrad ( $0,4 \mu\text{m}$  bei  $\Delta p : 450 \text{ Pa}$ ):

Staubspeicherfähigkeit ( $\Delta p : 450 \text{ Pa}$ ):

Mittlerer Abscheidegrad ( $\Delta p : 450 \text{ Pa}$ )

Filterklasse:

#### 3.2. Diagramme

- Druckdifferenz über aufgegebener Staubmenge
- Fraktionsabscheidegrad nach den einzelnen Staubaufgaben über Partikelgröße
- Abscheidegrad über aufgegebener Staubmenge.

### **3.3. Tabellen**

Zusammenfassung der bewerteten Fraktionsabscheidegrade über der Partikelgröße 0,25, 0,4, 0,5, 1,0, 2,0 und 2,5  $\mu\text{m}$  für die einzelnen Staubaufgaben.

Die Tabelle sollte ebenfalls den mittleren Abscheidegrad und die Staubspeicherfähigkeit enthalten.



## ANHANG B

Alle während der Prüfung bei Umgebungsbedingungen gemessenen Druckdifferenzen müssen auf die Bezugsdichte von  $1,1987 \text{ kg/m}^3$  korrigiert werden, welche sich bei den nachfolgenden Standardbedingungen einstellt: Temperatur  $20^\circ\text{C}$ , atmosphärischer Druck  $101,315 \text{ kPa}$ , relative Feuchte  $50 \%$ .

Solange die Luftdichte zwischen  $1,16$  und  $1,24 \text{ kg/m}^3$  liegt, müssen keine Korrekturen vorgenommen werden.

Die Druckdifferenz eines Filters kann wie folgt dargestellt werden:

$$\Delta p = c (q_v^n) \quad (1)$$

$$\text{wobei: } c = k \mu^{2-n} \rho^{n-1} \quad (2)$$

dabei sind:  $p$  = Druckdifferenz, Pa  
 $q_v$  = Volumenstrom,  $\text{m}^3/\text{s}$   
 $n$  = Exponent, -  
 $k$  = Konstante  
 $\mu$  = dyn. Viskosität d. Luft,  $\text{Pa}\cdot\text{s}$   
 $\rho$  = Luftdichte,  $\text{kg/m}^3$

Die Werte der Volumenstrom-Meßeinrichtung sollten auf einen Volumenstrom bei Umgebungsbedingungen umgewandelt werden (Filteranströmseite). Mit diesen Werten und den gemessenen Druckdifferenzen kann der Exponent  $n$  von Gleichung (1) bestimmt werden.

Mit dem bekannten Exponenten  $n$  können die gemessenen Druckdifferenzen mit Gleichung (3) auf die Standard-Luftbedingungen korrigiert werden.

$$\Delta p_0 = \Delta p \left( \frac{\mu_0}{\mu} \right)^{2-n} \left( \frac{\rho_0}{\rho} \right)^{n-1} \quad (3)$$

dabei sind für die Parameter ohne Index die entsprechenden Werte bei Umgebungsbedingungen einzusetzen, für die Parameter mit Index "0" die Werte bei Standard-Luftbedingungen ( $\rho_0 = 1,1987 \text{ kg/m}^3$ ,  
 $\mu_0 = 18,097 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ).

Der Exponent  $n$  wird nur für das unbestäubte Filter bestimmt. Während der Bestäubung kann sich der Exponent  $n$  ändern. Da es nicht wünschenswert ist, Druckverlustkurven nach jeder Bestäubungsphase aufzunehmen, sollte der Anfangswert für den Exponenten  $n$  über den gesamten Test verwendet werden.

Die Luftdichte  $\rho$  [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] bei der Temperatur  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], dem atmosphärischen Luftdruck  $P$  [ $\text{Pa}$ ] und der relativen Feuchte  $\varphi$  [%] kann durch Gleichung (4) errechnet werden.

$$\rho = \frac{P - 0,378P_W}{287,06(t + 273,15)}$$

wobei  $P_W$  [ $\text{Pa}$ ] der Wasserdampf-Partialdruck, gegeben durch Gleichung (5) ist

$$P_W = \frac{\varphi}{100} P_{ws}$$

und  $P_{ws}$  [ $\text{Pa}$ ] der Sättigungsdampfdruck von Wasser in Luft bei der Temperatur  $t$  ist. Dieser kann durch Gleichung (6) bestimmt werden.

$$P_{ws} = \exp \left[ 59,484085 - \frac{6790,4985}{t + 273,15} - 5,02802 \cdot \ln(t + 273,15) \right]$$

Die dynamische Viskosität  $\mu$  [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ] bei der Temperatur  $t$  [ $^{\circ}\text{C}$ ] kann durch Gleichung (7) bestimmt werden

$$\mu = \frac{1,455 \cdot 10^{-6} (t + 273,15)^{0,5}}{1 + 110,4 / (t + 273,15)}$$

# ANHANG C

## 1. Zählungen

Beispiel für die Bestimmung des Anfangs-Fraktionsabscheidegrades

Filter EU7

Aerosol : Latex

Partikelzähler : LASAIR 210

Probenahmefluss : 28,3 l/min

Probenahme Zeit : 30 Sekunden

Partikelgröße ( $\mu\text{m}$ )	Anströmseitig Partikelanzahl						
	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>4</sub>	N <sub>5</sub>	N <sub>6</sub>	N <sub>7</sub>
0,2 - 0,3	65495	65129	64694	61934	60843	59748	58833
0,3 - 0,5	39659	38767	38100	36267	34951	34066	33516
0,5 - 0,7	20335	19876	19349	18314	17391	17104	16725
0,7 - 1,0	16592	15885	15259	14102	13519	13208	12637
1,0 - 2,0	18097	16141	15580	14403	13626	13308	12868
2,0 - 3,0	5378	4581	4485	3960	3883	3714	3573
3,0 - 5,0	1470	1234	1124	1069	1032	948	912

Partikelgröße ( $\mu\text{m}$ )	Abströmseitig Partikelanzahl					
	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>	n <sub>4</sub>	n <sub>5</sub>	n <sub>6</sub>
0,2 - 0,3	29964	29403	28362	27713	27406	26068
0,3 - 0,5	11595	11109	10686	10464	10282	9664
0,5 - 0,7	3160	2986	2875	2729	2707	2491
0,7 - 1,0	1251	1154	1109	1151	1033	973
1,0 - 2,0	445	399	387	348	376	299
2,0 - 3,0	22	26	23	14	24	14
3,0 - 5,0	3	1	2	3	2	5

## 2. Fraktionsabscheidegrad und Unsicherheit

Beispiel für den Größenbereich 0,3 - 0,5  $\mu\text{m}$  des Anfangs-  
Fraktionsabscheidegrades

Nummer der Zählung	Anströmseitig Partikelanzahl	Abströmseitig Partikelanzahl	Abscheidegrad (%)
1	39659		
2		11595	$E_{0,1} = 70,4$
3	38767		
4		11109	$E_{0,2} = 71,1$
5	38100		
6		10686	$E_{0,3} = 71,3$
7	36267		
8		10464	$E_{0,4} = 70,6$
9	34951		
10		10282	$E_{0,5} = 70,2$
11	34066		
12		9664	$E_{0,6} = 71,4$
13	33516		
Mittlerer Fraktionsabscheidegrad			$\bar{E}_0 = 70,8$

$E_{0,1}, E_{0,2}, E_{0,3}, E_{0,4}, E_{0,5}, E_{0,6}$  : "punktuelle" Fraktionsabscheidegrade

$\delta = 0,46$  Standardabweichung

$n = 6$  Zahl der "punktuellen" Fraktionsabscheidegrade

$\nu = 5$  Freiheitsgrad

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$  = 2,57 von Freiheitsgrad abhängiger Wert

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{\delta}{\sqrt{n}} = 0,48$$

$\bar{E}_0 = 70,8 \pm 0,5 \%$  bei 95 % Vertrauensniveau

## 3. Fraktionsabscheidegrad nach Staubaufgabephasen (Bild 1)

Der Fraktionsabscheidegrad wird nach jeder Phase gemäß der Abfolge der Druckdifferenzen berechnet.

<b>Partikel-durchmesser (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	$\bar{E}_0$ (%)	$\bar{E}_1$ (%)	$\bar{E}_2$ (%)	$\bar{E}_3$ (%)	$\bar{E}_4$ (%)	$\bar{E}_5$ (%)
0,2 - 0,3	54,9	66,1	83,4	89,8	91,9	92,5
0,3 - 0,5	70,8	81,0	91,2	93,7	95,6	95,7
0,5 - 0,7	84,7	93,7	97,2	98,4	98,8	98,9
0,7 - 1,0	92,3	97,1	99,0	99,4	99,5	99,6
1,0 - 2,0	97,5	98,8	99,8	99,9	99,8	99,8
2,0 - 3,0	99,5	99,7	99,9	99,9	99,9	99,8
3,0 - 5,0	99,7	99,8	100	99,9	100	100

$\bar{E}_0$  :  $\Delta P = 120$  Pa Anfangsabscheidegrad

$\bar{E}_1$  :  $\Delta P = 150$  Pa

$\bar{E}_2$  :  $\Delta P = 200$  Pa

$\bar{E}_3$  :  $\Delta P = 300$  Pa

$\bar{E}_4$  :  $\Delta P = 400$  Pa

$\bar{E}_5$  :  $\Delta P = 450$  Pa

## 4. Bewerteter Fraktionsabscheidegrad (Bild 2)

$$E_j = \sum_{i=0}^{n-1} \left[ \left( \frac{E_{i,j} + E_{i+1,j}}{2} \right) \frac{M_{i+1}}{M} \right]$$

Beispiel mit einer Enddruckdifferenz von 300 Pa

$n = 5$	$M_1 = 30 \text{ g}$	$M_2 = 40 \text{ gws}$	$M_3 = 30 \text{ g}$
	$M_4 = 15 \text{ g}$	$M_5 = 10 \text{ g}$	$M = 125 \text{ g}$

$$E_{0,25} = 77,5 \%$$

$$E_{0,40} = 87,0 \%$$

$$E_{0,60} = 95,2 \%$$

$$E_{0,85} = 97,8 \%$$

$$E_{1,50} = 99,3 \%$$

$$E_{2,50} = 99,8 \%$$

$$E_{4,00} = 99,9 \%$$

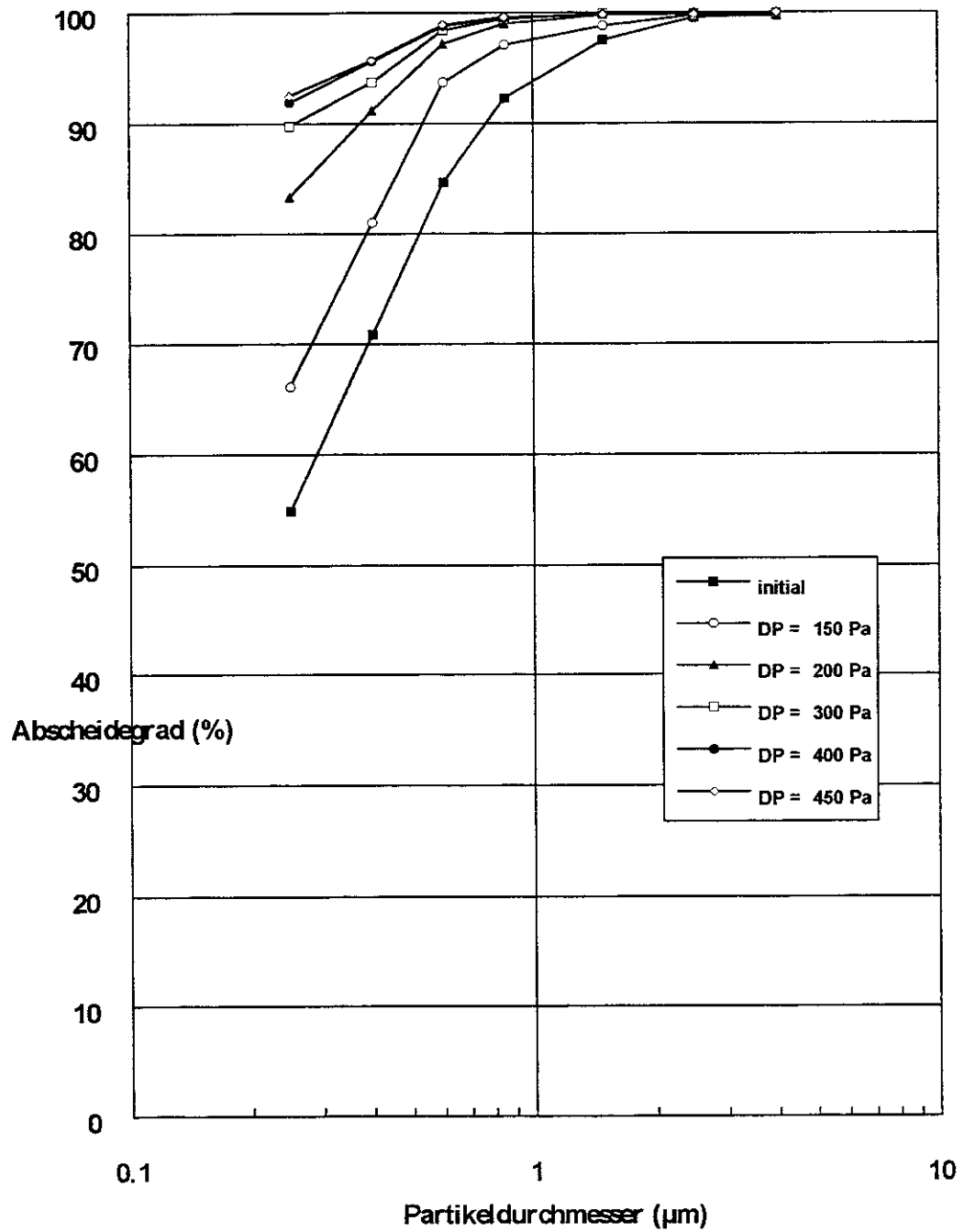
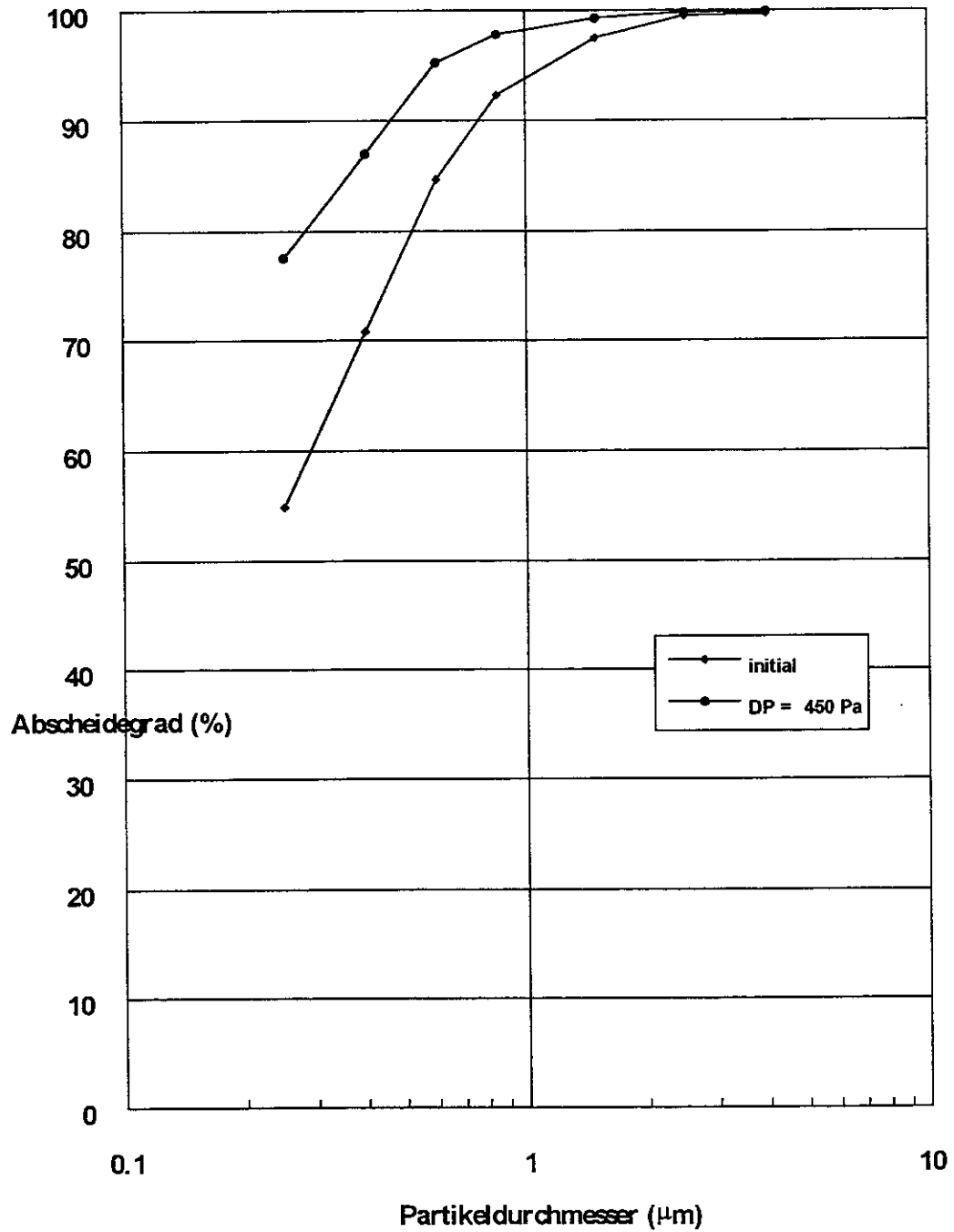
*Bild 1 Fraktionsabscheidegrad nach Staubaufgabephasen.*

Bild 2. Bewerteter Fraktionsabscheidegrad.





# ANHANG D

## KLASSIFIZIERUNG VON FEIN- UND GROBSTAUBFILTERN ENTSPRECHEND DEM FRAKTIONSABSCHIEDEGRAD

EUROVENT empfiehlt, die Eingruppierung von Filtern in die Klassen EU 5 bis EU 9 nach deren mittleren Fraktionsabschiedergrad für 0,4 µm Partikel, ermittelt gemäß EUROVENT 4/9 vorzunehmen.

- \* Die Prüfung erfolgt bei Nennvolumenstrom. Wenn dieser vom Hersteller nicht angegeben ist, wird die Prüfung bei 0,944 m<sup>3</sup>/s (3400 m<sup>3</sup>/h) durchgeführt.
- \* Die Enddruckdifferenz für Grobstaubfilter (G) beträgt 250 Pa (EU 1 - EU 4)
- \* Die Enddruckdifferenz für Feinstaubfilter (F) beträgt 450 Pa (EU 5 - EU 9)

Klassifizierung nach EUROVENT 4/9 und EN 779

EUROVENT 4/9 Filterklasse	mittlerer Abschiedergrad % A <sub>m</sub>	mittlerer Fraktionsabschiedergrad % 0,4 µm Partikel E <sub>m</sub>	EN 779 ** Filterklasse
EU 1	A <sub>m</sub> < 65		G1
EU 2	65 ≤ A <sub>m</sub> < 80		G2
EU 3	80 ≤ A <sub>m</sub> < 90		G3
EU 4	90 ≤ A <sub>m</sub>		G4
EU 5		40 ≤ E <sub>m</sub> < 60	(F5)
EU 6		60 ≤ E <sub>m</sub> < 80	(F6)
EU 7		80 ≤ E <sub>m</sub> < 90	(F7)
EU 8		90 ≤ E <sub>m</sub> < 95	(F8)
EU 9		95 ≤ E <sub>m</sub>	(F9)

\*\* Im Klassifizierungssystem nach EN 779 werden Grobstaubfilter mit G 1 ... G 4 und Feinstaubfilter mit F 5 ... F 9 bezeichnet. Die Feinstaubfilter werden nach ihrem mittleren Wirkungsgrad eingruppiert, was jedoch auf vergleichbare Werte zum mittleren Fraktionsabschiedergrad für 0,4 µm Partikel führt.

Anmerkungen :

- \* Die Klassifizierung nach EN 779 basiert auf den Enddruckdifferenzen von 250 Pa bzw. 450 Pa für Grob bzw. Feinstaubfilter. Im CEN TC 156 werden für die Klassifizierung von Filtern für Klimaanlage niedrigere Enddruckdifferenzen empfohlen (max. 150 Pa für G 1 - G 4, 250 Pa für F 5 - F 7, 350 Pa für F 8 - F 9). EUROVENT 4/9 schreibt vor, daß mittlere Fraktionsabschiedergrade für unterschiedliche Partikelgrößen auch für andere Enddruckdifferenzen berechnet werden sollen.
- \* Abhängig von den Betriebsbedingungen können bestimmte elektrostatisch geladene Filtermedien neutralisiert werden oder an Wirkungsgrad verlieren. Der elektrostatische Effekt kann über die Vergleichsprüfung eines neutralisierten Stückes Filtermaterials abgeschätzt werden.