

**EUR 3178.d**

**EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM**

**UNTERSUCHUNGEN AN FILTERMATERIALIEN  
AUF IHRE EIGNUNG ALS MESSFILTER  
ZUR BESTIMMUNG RADIOAKTIVER  
SCHWEBSTOFFE IN LUFT**

von

**D. HASENCLEVER**

**(Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen  
Berufsgenossenschaften)**

**1967**



**Bericht abgefasst vom  
Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen  
Berufsgenossenschaften e.V.  
Bonn — Deutschland**

**Euratom-Vertrag Nr. 004-62-12 PSTD**

## HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind, oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von DM 4.—	FF 5.—	FB 50	Lit. 620	Fl. 3.60
-----------------------	--------	-------	----------	----------

verkauft.

Es wird gebeten, bei Bestellungen die EUR-Nummer und den Titel anzugeben, die auf dem Umschlag jedes Berichts aufgeführt sind.

Gedruckt von VAILLANT-CARMANNE  
Brüssel, Mai 1967

## EUR 3178 . d

UNTERSUCHUNGEN AN FILTERMATERIALIEN AUF IHRE EIGNUNG ALS MESSFILTER ZUR BESTIMMUNG RADIOAKTIVER SCHWEBSTOFFE IN LUFT von D. Hasenclever (Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V.)

Europäische Atomgemeinschaft — EURATOM

Bericht abgefasst vom Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn (Deutschland)

Euratom-Vertrag Nr. 004-62-12 PSTD

Direktion Gesundheitsschutz

Brüssel, Mai 1967 — 32 Seiten — 9 Abbildungen — FB 50

Die hier durchgeführten Untersuchungen weisen 2 Hauptgruppen von Filtern aus :

- 1) Filter, deren Abscheidegrad (Wirksamkeit) für den hier betrachteten Korngrößenbereich von etwa 0,01 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit stark variieren kann. In dieser Gruppe werden bei den von den Stationen benutzten Anströmgeschwindigkeiten und für Schwebstoffe mit Durchmessern kleiner 0,3  $\mu\text{m}$  mittlere Abscheide-

## EUR 3178 . d

STUDIES OF FILTER MATERIALS WITH REGARD TO THEIR SUITABILITY FOR THE MEASUREMENT OF RADIOACTIVE AEROSOLS by D. HASENCLEVER (Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.).

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared by the Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn (Deutschland)

Euratom Contract No. 004-62-12 PSTD

Directorate for Health and Safety

Brussels, May 1967 — 32 Pages — 9 Figures — FB 50

The studies carried out here show that there are two main groups of filters, namely :

- 1) Those having an efficiency which may vary greatly depending on the inlet flow-rate for the 0.01-1  $\mu\text{m}$  particle size range considered here. Average efficiencies of above 85 % are not attained in this group at the inlet flow-rates used at the stations and for aerosols of less than 0.3  $\mu\text{m}$  diameter (31.5-82.6 %). In the case of oil mist (0.2-1  $\mu\text{m}$  diameter), however,

## EUR 3178 . d

STUDIES OF FILTER MATERIALS WITH REGARD TO THEIR SUITABILITY FOR THE MEASUREMENT OF RADIOACTIVE AEROSOLS by D. HASENCLEVER (Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.).

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared by the Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn (Deutschland)

Euratom Contract No. 004-62-12 PSTD

Directorate for Health and Safety

Brussels, May 1967 — 32 Pages — 9 Figures — FB 50

The studies carried out here show that there are two main groups of filters, namely :

- 1) Those having an efficiency which may vary greatly depending on the inlet flow-rate for the 0.01-1  $\mu\text{m}$  particle size range considered here. Average efficiencies of above 85 % are not attained in this group at the inlet flow-rates used at the stations and for aerosols of less than 0.3  $\mu\text{m}$  diameter (31.5-82.6 %). In the case of oil mist (0.2-1  $\mu\text{m}$  diameter), however,

## EUR 3178 . d

STUDIES OF FILTER MATERIALS WITH REGARD TO THEIR SUITABILITY FOR THE MEASUREMENT OF RADIOACTIVE AEROSOLS by D. HASENCLEVER (Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.).

European Atomic Energy Community — EURATOM

Report prepared by the Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn (Deutschland)

Euratom Contract No. 004-62-12 PSTD

Directorate for Health and Safety

Brussels, May 1967 — 32 Pages — 9 Figures — FB 50

The studies carried out here show that there are two main groups of filters, namely :

- 1) Those having an efficiency which may vary greatly depending on the inlet flow-rate for the 0.01-1  $\mu\text{m}$  particle size range considered here. Average efficiencies of above 85 % are not attained in this group at the inlet flow-rates used at the stations and for aerosols of less than 0.3  $\mu\text{m}$  diameter (31.5-82.6 %). In the case of oil mist (0.2-1  $\mu\text{m}$  diameter), however,

grade von mehr als 85 % nicht erreicht (31,5 % bis 82,6 %). Gegenüber Ölnebel (0,2 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser) können je nach Anströmgeschwindigkeit jedoch Abscheidegrade bis zu 99,98 % und mehr erreicht werden (7,0 % bis >99,98 %). Bei dem gleichen Filtermaterial können starke Schwankungen des Abscheidegrades von Meßfilter zu Meßfilter auftreten, die nicht vorhandene Konzentrationsschwankungen des radioaktiven Schwebstoffgehaltes der Luft vortäuschen können. Der Abscheidegrad für verschiedene Korngrößenbereiche kann sehr unterschiedlich sein. Die Filter haben Minima der Abscheidung, die von der Korngröße der Schwebstoffe und der Luftgeschwindigkeit abhängen.

- 2) Filter, deren Abscheidegrad (Wirksamkeit) für den hier betrachteten Korngrößenbereich in Abhängigkeit von den hier gewählten Anströmgeschwindigkeiten stets größer ist als 97 %. Diese Filter zeigen gegenüber Ölnebel (0,2 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser) stets Abscheidegrade von mehr als 99,7 %. Auch diese hochwertigen Filter haben mehr oder weniger ausgeprägte Minima des Abscheidegrades, die von der Korngröße der Schwebstoffe und der Luftgeschwindigkeit abhängen.

efficiencies of 7.0 to 99.98 % can be attained, depending upon the flow-rate. Using the same filter material there may be wide efficiency fluctuations from filter to filter, which create the illusion of fluctuations in the radioactive aerosol concentration. Efficiency may vary greatly with particle size. The minimum efficiencies depend upon particle size and air-velocities.

- 2) Filters whose efficiency for the relevant particle size range varies with the flow-velocity chosen but is always over 97 %. With oil mist (0.2-1  $\mu\text{m}$  diameter) their efficiency is always more than 99.7 %. Even these high-efficiency filters have fairly clearly defined minima, which vary as a function of the aerosol particle size and the air-velocity.

efficiencies of 7.0 to 99.98 % can be attained, depending upon the flow-rate. Using the same filter material there may be wide efficiency fluctuations from filter to filter, which create the illusion of fluctuations in the radioactive aerosol concentration. Efficiency may vary greatly with particle size. The minimum efficiencies depend upon particle size and air-velocities.

- 2) Filters whose efficiency for the relevant particle size range varies with the flow-velocity chosen but is always over 97 %. With oil mist (0.2-1  $\mu\text{m}$  diameter) their efficiency is always more than 99.7 %. Even these high-efficiency filters have fairly clearly defined minima, which vary as a function of the aerosol particle size and the air-velocity.

efficiencies of 7.0 to 99.98 % can be attained, depending upon the flow-rate. Using the same filter material there may be wide efficiency fluctuations from filter to filter, which create the illusion of fluctuations in the radioactive aerosol concentration. Efficiency may vary greatly with particle size. The minimum efficiencies depend upon particle size and air-velocities.

- 2) Filters whose efficiency for the relevant particle size range varies with the flow-velocity chosen but is always over 97 %. With oil mist (0.2-1  $\mu\text{m}$  diameter) their efficiency is always more than 99.7 %. Even these high-efficiency filters have fairly clearly defined minima, which vary as a function of the aerosol particle size and the air-velocity.

**EUR 3178.d**

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT — EURATOM

**UNTERSUCHUNGEN AN FILTERMATERIALIEN  
AUF IHRE EIGNUNG ALS MESSFILTER  
ZUR BESTIMMUNG RADIOAKTIVER  
SCHWEBSTOFFE IN LUFT**

von

**D. HASENCLEVER**

(Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen  
Berufsgenossenschaften)

**1967**



**Bericht abgefasst vom  
Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen  
Berufsgenossenschaften e.V.  
Bonn — Deutschland**

**Euratom-Vertrag Nr. 004-62-12 PSTD**

## ZUSAMMENFASSUNG

Die hier durchgeführten Untersuchungen weisen 2 Hauptgruppen von Filtern aus :

- 1) Filter, deren Abscheidegrad (Wirksamkeit) für den hier betrachteten Korngrößenbereich von etwa 0,01 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit stark variieren kann. In dieser Gruppe werden bei den von den Stationen benutzten Anströmgeschwindigkeiten und für Schwebstoffe mit Durchmessern kleiner 0,3  $\mu\text{m}$  mittlere Abscheidegrade von mehr als 85 % nicht erreicht (31,5 % bis 82,6 %). Gegenüber Ölnebel (0,2 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser) können je nach Anströmgeschwindigkeit jedoch Abscheidegrade bis zu 99,98 % und mehr erreicht werden (7,0 % bis >99,98 %). Bei dem gleichen Filtermaterial können starke Schwankungen des Abscheidegrades von Meßfilter zu Meßfilter auftreten, die nicht vorhandene Konzentrationsschwankungen des radioaktiven Schwebstoffgehaltes der Luft vortäuschen können. Der Abscheidegrad für verschiedene Korngrößenbereiche kann sehr unterschiedlich sein. Die Filter haben Minima der Abscheidung, die von der Korngröße der Schwebstoffe und der Luftgeschwindigkeit abhängen.
- 2) Filter, deren Abscheidegrad (Wirksamkeit) für den hier betrachteten Korngrößenbereich in Abhängigkeit von den hier gewählten Anströmgeschwindigkeiten stets größer ist als 97 %. Diese Filter zeigen gegenüber Ölnebel (0,2 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser) stets Abscheidegrade von mehr als 99,7 %. Auch diese hochwertigen Filter haben mehr oder weniger ausgeprägte Minima des Abscheidegrades, die von der Korngröße der Schwebstoffe und der Luftgeschwindigkeit abhängen.

## INHALTSVERZEICHNIS

VORWORT . . . . .	4
1 — VORBEMERKUNG . . . . .	5
2 — BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANORDNUNGEN . . . . .	6
2.1 — Grundsätzliche Überlegungen . . . . .	6
2.2 — Prüfung mit Ölnebel . . . . .	7
2.3 — Prüfung mit radioaktiv indizierten, atmosphärischen Aerosolen kleiner 0,3 $\mu\text{m}$ Durchmesser . . . . .	9
2.4 — Die Messung des Durchflusswiderstandes . . . . .	12
3 — Untersuchungen und Messergebnisse . . . . .	12
3.1 — Anströmgeschwindigkeiten . . . . .	12
3.2 — Zusammenfassende Darstellung aller Messergebnisse und Erläuterungen	13
4 — Diskussion der Messergebnisse . . . . .	20
4.1 — Voraussetzungen . . . . .	20
4.2 — Diskussion . . . . .	20
5 — Zusammenfassung und Folgerungen . . . . .	23
5.1 — Zusammenfassung . . . . .	23
5.2 — Empfehlungen . . . . .	23
LITERATUR . . . . .	24

**Die Übersetzung des Vorworts und des Kapitels « Zusammenfassung und Folgerungen » ins Französische, Italienische und Niederländische befinden sich am Ende des Textes.**

Avant-propos . . . . .	25
Résumé et Conclusions . . . . .	26
Prefazione . . . . .	27
Riassunto e conclusioni . . . . .	28
Voorword . . . . .	30
Samenvatting en conclusies . . . . .	31

## VORWORT

Um sich ein klares Bild über die zur Messung der Luftradioaktivität benutzten Filter zu verschaffen, hat die Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft eine vergleichende Prüfung der in den Mitgliedstaaten der Gemeinschaft am meisten benutzten Filtermaterialien durchführen lassen.

Im Zuge dieser Untersuchung hat das Staubforschungsinstitut Bonn Vorrichtungen entwickelt, die für die ihm übertragenen Messungen besonders geeignet waren, und zwar sowohl hinsichtlich der physikalisch-chemischen Eigenschaften der Aerosole als auch in bezug auf die praktischen Anforderungen, die in den laufend mit Filtern arbeitenden Meßstationen an die Filtermaterialien gestellt werden.

Der abschließende Bericht des Staubforschungsinstitutes umfaßt zwei Teile; im ersten Teil werden die verschiedenen zur Durchführung der von der Kommission in Auftrag gegebenen Studie benutzten Methoden beschrieben und die angewandten mathematischen Formeln aufgeführt, während im zweiten Teil die Ergebnisse der Messungen in tabellarischen Übersichten zusammengefaßt werden.

Die in dem Bericht enthaltenen theoretischen Erörterungen und die verschiedenen Versuchsergebnisse dürften die Benutzer von Filtern in die Lage versetzen, die an der Filterung von Schwebstoffteilchen entscheidend beteiligten Vorgänge besser zu verstehen und den Wirkungsgrad der für die Bestimmung solcher Teilchen in Frage kommenden Meßfilter richtiger zu beurteilen.

Dr. P. Recht.

**UNTERSUCHUNGEN AN FILTERMATERIALIEN  
AUF IHRE EIGNUNG ALS MESSFILTER ZUR BESTIMMUNG  
RADIOAKTIVER SCHWEBSTOFFE (\*) IN LUFT (\*\*)**

**1 — VORBEMERKUNG**

Mit Vertrag Nr. 004-62-12 PSTD beauftragte die Europäische Atomgemeinschaft (EURATOM), vertreten durch ihre Kommission, das Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn, Langwartweg 103, mit der Prüfung von Filtermaterialien, die in den verschiedenen Meßstationen der Länder der Gemeinschaft für die Messung der Radioaktivität der Atmosphäre benutzt werden. In Absprache mit der Kommission wurden folgende Filtermaterialien geprüft :

Hersteller	Type	Gemessenes Flächengewicht g/m <sup>2</sup>
J. C. Binzer, Hatzfeld/Eder	Ederol Nr. 265	117,0
Delbag Luftfilter GmbH, Berlin	99/97-Microsorban-4/200	310,2
Drägerwerk, Lübeck	Meßfilterpapier Nr. 766	240,0
Membranfiltergesellschaft GmbH, Göttingen	Membranfilter " Co 5 „	46,0
Mine Safety Appliances Co., Pittsburgh, USA (vertrieben von Auergesellschaft GmbH, Berlin)	Nr. 1106 b	58,0
H. Reeve Angel u. Co. LTD, London	Whatman Filter Nr. 541	77,5
	Whatman Filter AG.F/A	58,7
Schleicher u. Schüll, Dassel, Krs. Einbeck	Nr. 589/1	80,5
	Nr. 589/2	80,5
	Nr. 984	128,0
	Nr. 2430	125,0
	Nr. 9743	160,0
Schneider-Poelman, Charenton (Seine)	Blau, HYN 75 %	65,0
	Gelb, HYN 97 %	125,0
	Rosa, HYN 100 %	165,0

Die von der Kommission angegebenen Anströmgeschwindigkeiten der Luft an die Filteroberflächen sind bei den einzelnen Stationen außerordentlich unterschiedlich. Es fanden sich Geschwindigkeiten von wenigen cm/s bis zu mehreren m/s. Die Beurteilung der Versuchsergebnisse und die daraus sich ergebenden Folgerungen sollen in erster Linie vom Standpunkt der diskontinuierlichen Messung aus erfolgen.

(\*) Unter Schwebstoffe werden alle schwebefähigen festen und flüssigen Teilchen mit Durchmessern kleiner als  $5 \cdot 10^{-4}$  cm verstanden.

(\*\*) Manuskript erhalten am 14. Oktober 1966.

## 2 — BESCHREIBUNG DER VERSUCHSANORDNUNGEN

### 2.1 — Grundsätzliche Überlegungen

Bei den untersuchten Filtern handelt es sich — mit Ausnahme des Membranfilters — ausschließlich um Faserfilter (Papiere, Vliese oder Faserschichten). Für die Abscheidung von Aerosolen in Faserfiltern sind grundsätzlich folgende Effekte maßgebend :

- 1) Sperr- oder Siebeffekt,
- 2) Trägheits- oder Pralleffekt,
- 3) Diffusionseffekt,
- 4) Absetzeffekt,
- 5) Elektrische Kräfte.

Bei den hier zu untersuchenden Filtern können die elektrischen Kräfte, mit Ausnahme des Membranfilters, nach den bisher vorliegenden Erfahrungen vernachlässigt werden. Das gleiche gilt für die Absetzeffekte (Sedimentation), da sie für Teilchen von  $1 \mu\text{m}$  ( $10^{-4} \text{ cm}$ ) erst bei Durchtrittsgeschwindigkeiten der Luft von weniger als  $0,04 \text{ cm/s}$  wirksam werden.

Der Filtrationsvorgang für atmosphärische Aerosole kann durch folgende allgemeine Filtergleichung wiedergegeben werden :

$$n = n_0 \cdot e^{-x \cdot b} = n_0 \cdot e^{-(Av^2 + Dv^{-1/2} + J) \cdot b}$$

Hierin bedeuten :

$n_0$  die Konzentration vor und  $n$  die Konzentration nach dem Filter mit der Dicke  $b$ , welches mit der Durchtrittsgeschwindigkeit  $v$  durchströmt wird.  $A$  ist ein Parameter für die Abscheidung durch Trägheitseffekte (Inertial),  $D$  ein solcher für die Abscheidung durch Diffusion und  $J$  ein Parameter für die Abscheidung durch den Sperreffekt (Interception). Für die Abscheidung von radioaktiven Schwebstoffen, Spaltprodukten oder Folgeprodukten sind die Trägheits- und Diffusionseffekte bei den heute üblichen Filtermaterialien (Faserfilter) besonders bedeutend. Es sind viele Versuche gemacht worden, die Parameter  $A$  und  $D$  näher zu bestimmen.

Friedlander findet für den Abscheidegrad eines Filters mit gegebener Dicke folgenden Ausdruck :

$$\eta = \frac{6\gamma^{2/3}}{v^{1/6} d_F^{1/2} d_p^{2/3} v^{1/2}} + \frac{3d_p^2 V^{1/2}}{v^{1/2} d_F^{3/2}}$$

worin  $\gamma = k \cdot T / 3\pi\mu$  und  $v = \mu/\rho$  ist.

$k$  ist die Boltzmann-Konstante,  $T$  die absolute Temperatur des Gases,  $\mu$  die Viskosität,  $\rho$  die Dichte,  $d_F$  bedeutet den Faserdurchmesser,  $d_p$  den Teilchendurchmesser und  $V$  die Geschwindigkeit des Gases.

Diese Gleichung ist experimentell gesichert für Aerosole von  $0,15$  bis  $1,3 \mu\text{m}$  Durchmesser und für Filterfaser-Durchmesser zwischen  $2$  und  $9,5 \mu\text{m}$ . Das erste Glied stellt die Abscheidung durch Diffusion, das zweite durch Trägheitskräfte dar. Wenn auch das 2. Glied bei der Prüfung mit Nebeln mit einem Teilchendurchmesser von  $0,3 \mu\text{m}$  nicht restlos bestätigt werden konnte, so gibt die Gleichung doch verhältnismäßig gute Näherungen.

Differenziert man diese Gleichung nach  $d_p$ , wobei alle übrigen Variablen konstant gesetzt werden, und setzt  $= 0$ , so erhält man einen Ausdruck für den Partikeldurchmesser

$d_{pm}$ , bei dem bei gegebenem Faserdurchmesser und einer bestimmten Luftgeschwindigkeit  $V_m$  ein Minimum der Abscheidung vorliegt.

$$d_{pm} = 0,855 \frac{\gamma^{1/4} \nu^{1/8} d_f^{3/8}}{V_m^{3/8}}$$

Die Existenz dieses Minimums ist gesichert, da die zweite Ableitung stets positiv ist. Das gleiche gilt, wenn man nach  $V$  differenziert, so daß zu einer gegebenen Aerosolgröße und einem bestimmten Faserdurchmesser eine Geschwindigkeit  $V_m$  existiert, bei der ein Minimum der Abscheidung in Abhängigkeit von der Durchströmgeschwindigkeit vorliegt. Die Existenz solcher Minima konnte auch bei den hier durchgeführten Untersuchungen bestätigt werden.

Bei grundlegenden Untersuchungen von Faserfiltern muß also versucht werden, durch Prüfung mit einem oder mehreren Prüfaerosolen möglichst viele Eigenschaften der Filtermaterialien eindeutig und reproduzierbar zu messen. Dabei ist die Korngrößenverteilung der festen und flüssigen Schwebestoffe so zu wählen, daß die nach der Theorie zu erwartenden Minima der Abscheideleistung bzw. die Maxima der Durchlässigkeit bei den zu prüfenden Filtertypen und den von den Stationen gegebenen Anströmgeschwindigkeiten mit Sicherheit erkannt werden. Gelingt es außerdem, Gruppen von Kornverteilungen und Materialien zu benutzen, die den in der Praxis vorkommenden möglichst ähnlich oder gar gleich sind, ist das Höchstmaß an Aussagekraft einer solchen Prüfung erreicht.

Es wurden folgende Prüfaerosole und -verfahren benutzt :

## 2.2 — Prüfung mit Ölnebel : (Durchmesser etwa 0,2-1 $\mu\text{m}$ )

### 2.2.1 — Darstellung des als Prüfaerosol benutzten Ölnebels

Es werden Nebelentwickler (Hersteller : Drägerwerk, Lübeck, Baumuster VI) benutzt, deren Wirkungsweise wie folgt ist (siehe Bild 1). Ein mit einem definierten Paraffinöl (techn. rein; harz- und alkalifrei; Dichte 0,853 g/cm<sup>3</sup> bei 20 °C; Viskosität bei 20 °C 4-5 Englergrade bzw. 30-38 Centistokes; Flammpunkt bei +180 °C; Stockpunkt bei -14 °C) gefülltes Vernebelungsgefäß (8) befindet sich in einem durch eine Heizschlange (25) auf Siedetemperatur gehaltenen Wasserbad (9). Das Vernebelungsgefäß, rechts oben im Bild getrennt gezeichnet, enthält einen Düsenstock, der drei in Dreiecksform stehende Einzelvernebelungsdüsen enthält.

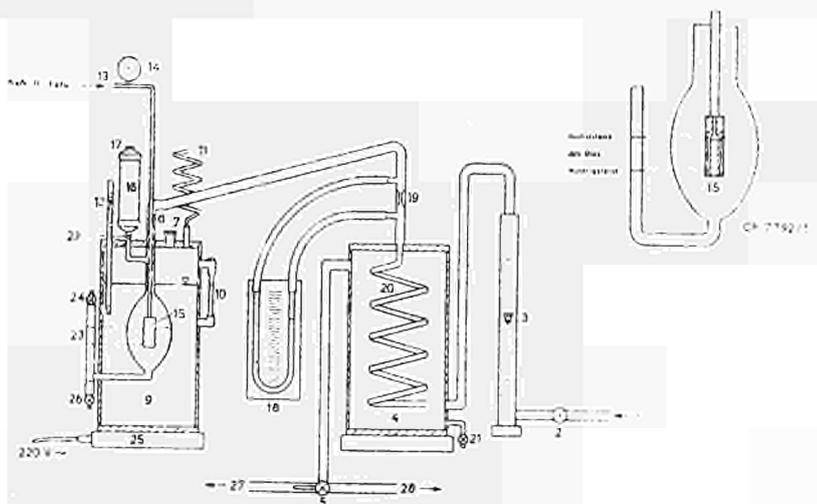


Bild 1 — Schema eines Nebelentwicklers

Die Düsen haben Bohrungen von 0,4 mm Durchmesser und sind so gewählt, daß mittels gut gefilterter Preßluft bei einem Vordruck des Manometers (14) von 2,4 atü eine Nebelluftmenge von 13,5 l/min entwickelt wird. Paraffinöl hat normalerweise einen sehr niedrigen Dampfdruck. Auf der anderen Seite ist bekannt, daß beim Vernebeln einer Flüssigkeit der Dampfdruck und die Verdampfungsgeschwindigkeit mit abnehmendem Teilchendurchmesser zunimmt. Die Vernebelung geschieht hier bei einer Temperatur von 100 °C. Diese Temperatur hat einen dreifachen Effekt :

- 1) Ein Bad im Dampf siedenden Wassers ist ein einfacher, guter Thermostat, garantiert also immer gleiche Vernebelungstemperatur.
- 2) Bei 100 °C haben alle Öle eine geringere Viskosität; geringe Unterschiede in der kalt bestimmten Viskosität haben bei 100 °C keinen merklichen Einfluß mehr.
- 3) Bei dieser Temperatur verdampfen die feinsten Nebeltröpfchen fast restlos, die größeren zumindest teilweise.

In dem in der Mitte sichtbaren, schräg nach oben weisenden Auslaßrohr, welches über eine Kontrolldüse (19) und eine Rohrschlange (20) in ein Mischgefäß (4) führt, befindet sich also ein Gemisch von Luft, Öldampf und Ölnebel. Im Gefäß (4) wird dieses Gemisch pro Minute mit etwa 50 l kalter Preßluft verdünnt, wobei eine Kondensation des Öldampfes stattfindet.

Die dabei entstehenden Aerosole bilden den Hauptbestandteil des Nebels. Der aus der Apparatur austretende Nebel hat eine Konzentration von etwa 3000 mg/m<sup>3</sup>. Dieser Nebel wird über einen Pressluftinjektor mit hochwertig gefilterter Luft soweit verdünnt, daß vor dem zu prüfenden Filtermaterial eine Konzentration von 7 bis 9 mg/m<sup>3</sup> herrscht. In seiner Kornverteilung entspricht dieser Nebel weitgehend derjenigen von Rauchen und Nebeln der Industrie. Die Durchmesser der Tröpfchen liegen zwischen 0,2 und 1 µm (siehe Bild 2). Dabei haben 80 bis 85 % der Teilchen einen Durchmesser zwischen 0,3 und 0,5 µm. Dieses Korngrößengebiet ist deshalb besonders interessant, weil Sperreffekte (Interception) praktisch nicht mehr (Ausnahme Membranfilter), Trägheitseffekte nur vermindert und Diffusionseffekte noch nicht oder erst schwach wirksam werden.

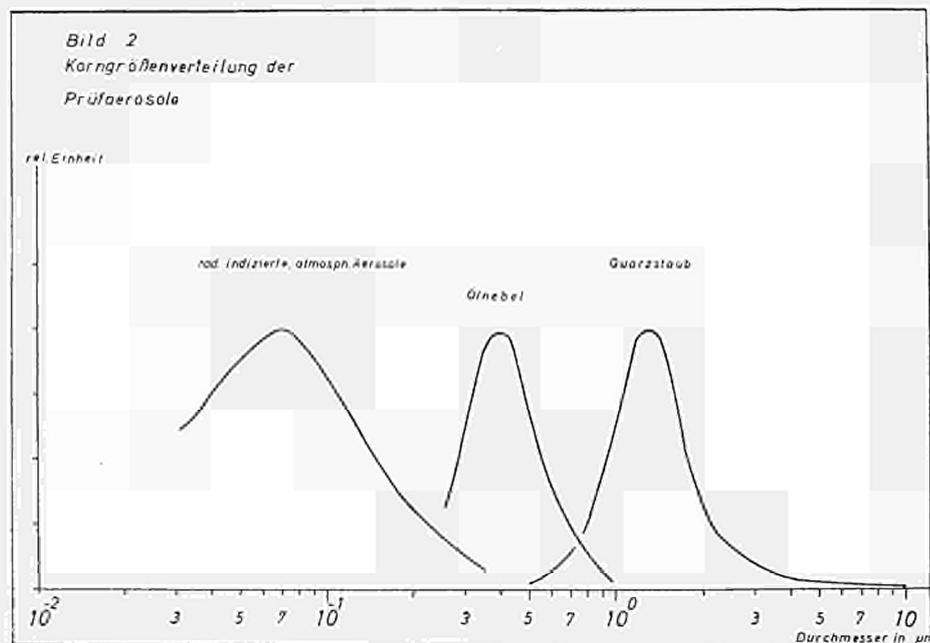


Bild 2

### 2.2.2 — Die Prüfanordnung und die Messung des Abscheidegrades

Eine schematische Darstellung der Prüfeinrichtung gibt Bild 3. Der vom Ölnebelgenerator *G* erzeugte Nebel (siehe 2.2.1) wird in einem Pressluftinjektor *i* mit Pressluft soweit verdünnt, daß eine Nebelkonzentration von 7 bis 9 mg/m<sup>3</sup> erzeugt wird. Die zur Verdünnung benutzte Pressluft wird mit einem Kompressor *k* erzeugt und in einem 3-stufigen Filter *F*<sub>1</sub> von allen Schwebestoffen befreit. Die dem Ölnebelgenerator zugeführte Pressluft ist über ein gleichartiges Filter *F*<sub>3</sub> ebenfalls höchstwertig gefiltert. Das den Injektor *i* verlassende Nebel-Luft-Gemisch wird über die Dreiwegehähne *D*<sub>1</sub> und *D*<sub>2</sub> dem zu prüfenden Filter *F*<sub>p</sub> zugeführt. Die Bestimmung des Abscheidegrades (bzw. der Durchlässigkeit) des Filters geschah in jeder Minute der Prüfzeit durch Konzentrationsmessung vor und nach dem Filter mittels des Tyndallometers *T* (30-Watt-Lampe) der Fa. Leitz, Wetzlar.

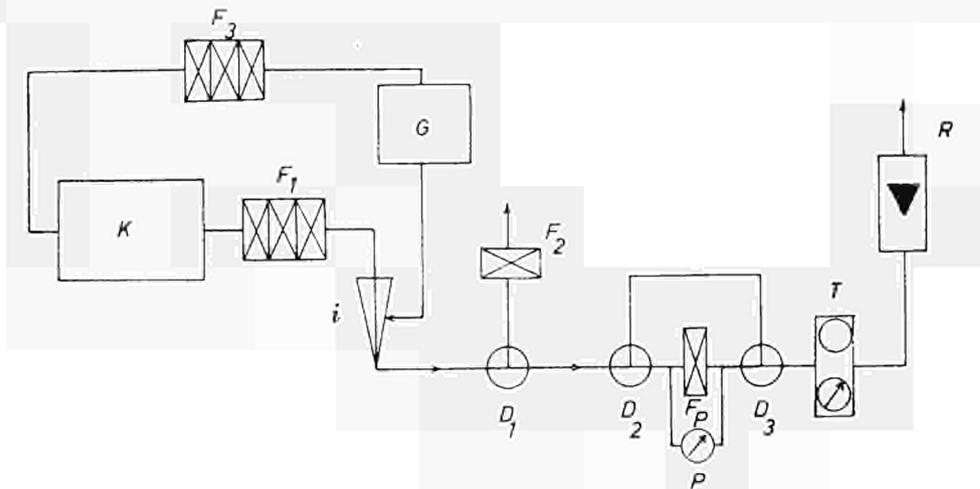


Bild 3

Mit diesem Gerät wird die relative Intensität des von Schwebstoffen gestreuten Lichtes als Maß für die Nebelkonzentration gemessen. Durch Umschalten der Dreiwegehähne *D*<sub>2</sub> und *D*<sub>3</sub> kann abwechselnd die Konzentration vor und nach dem Filter *F*<sub>p</sub> gemessen werden. Alle Filter liegen auf einem Stützsieb mit einer Maschenweite von ca 1 × 1 cm. Manometer *P* dient zur Bestimmung des Druckverlustes. Die Luftmenge wird mit einem Durchflußmesser *R* gemessen. Sie kann über einen Regulierhahn *D*<sub>1</sub> geregelt werden. Dabei wird ein mehr oder weniger großer Anteil der Nebelluft über ein Filter *F*<sub>2</sub> nach außen abgegeben. Bild 4 zeigt den Meßstand zur Prüfung von Materialproben auf Durchlässigkeit gegenüber Ölnebel.

Im Vordergrund erkennt man verschiedene Sonden mit Ringleitungen zur Messung des Druckverlustes. Links befindet sich ein Manometer, das im Bereich von 0-200 mmWS die Druckdifferenz auf 1/100 mmWS genau angibt. In der Mitte des Bildes sieht man das Tyndallometer zur Messung der Ölnebelkonzentration und rechts einen Satz Durchflußmesser. Im Hintergrund sind 2 Ölnebelgeneratoren zu erkennen.

### 2.3 — Prüfung mit radioaktiv indizierten, atmosphärischen Aerosolen kleiner 0,3 μm Durchmesser (siehe Bild 2)

#### 2.3.1 — Darstellung der als Prüfaerosol benutzten radioaktiv indizierten Aerosole

Das Prüfaerosol wird dadurch erzeugt, daß man den Inhalt einer oder mehrerer 25 l fassenden Waschflaschen, welche mit vorgefilterter Luft gefüllt sind, im geschlossenen

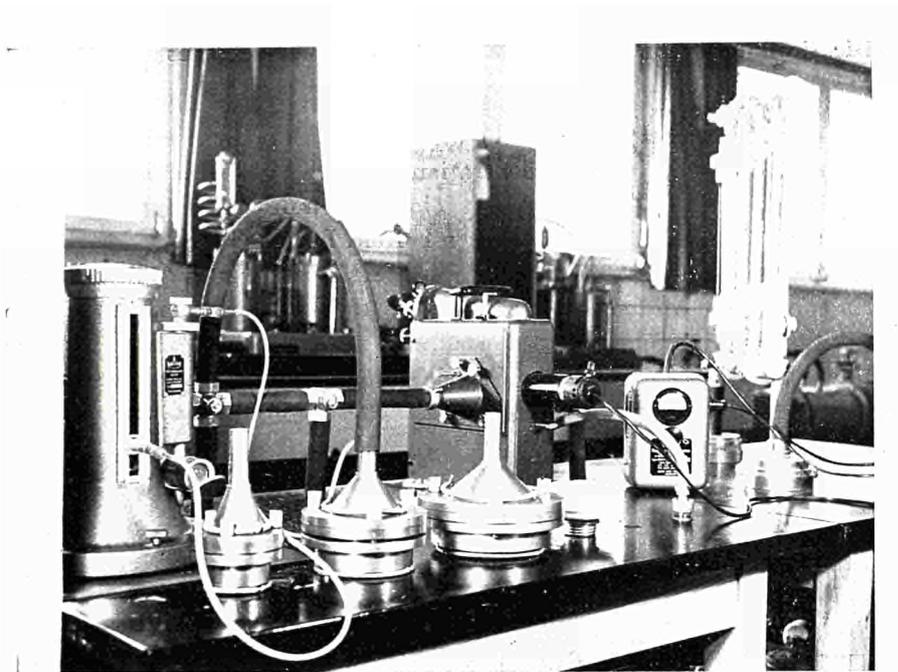


Bild 4 — Meßstand zur Prüfung von Filterproben auf Durchlässigkeit gegenüber Ölnebel

Kreislauf über ein hochemanierendes Radiothorpräparat (Th 228) pumpt. Durch die Vorfilterung soll die Luft weitgehend von allen Schwebstoffen  $>0,3 \mu\text{m}$  befreit sein (5). Man erhält so ein Gemisch von Luft, Schwebstoffteilchen und Thoriumemanation (Rn 220; Em 220). Ist die Aktivität der Luft in der Flasche groß genug, werden Ein- und Auslaßhahn an der Waschflasche verschlossen. Das Gemisch Luft, Schwebstoffteilchen und Thoriumemanation wird nun mindestens 10 Minuten sich selbst überlassen. In dieser Zeit ist die

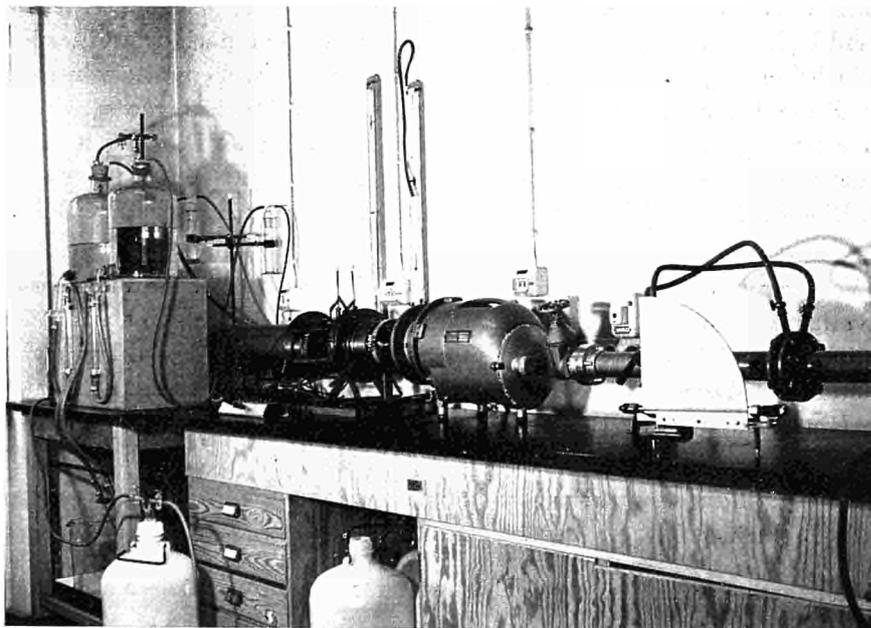


Bild 5 — Anlage zur Prüfung von Filtern mittels radioaktiv indizierter Aerosole

Thoriumemanation bis auf einen Rest von weniger als 1 ‰ zerfallen, und die in der Luft vorhandenen Schwebstoffteilchen sind durch Anlagerung der gebildeten Thorium-B-Atome radioaktiv gekennzeichnet. Durch Einlaufen von Wasser wird dann das radioaktive Schwebstoffluftgemisch verdrängt und über eine halbkugelförmige Sonde, die nach allen Richtungen feine Auslaßöffnungen hat, der von der Prüfanlage angesaugten Raumluft im Ansaugrohr gleichmäßig beigemischt.

### 2.3.2 — Die Prüfanordnung und die Messung des Abscheidegrades

Die Anlage ist in Bild 5 gezeigt. Sie besteht aus einem Chirongebläse (2800 U<sub>pm</sub>; 0,33 kW, 25 m<sup>3</sup>/h; 440 mmWS), welches über ein 1030 mm langes Rohr von 140 mm lichter Weite Raumluft durch eine hinter dem Ansaugrohr befindliche Spezialeinspannvorrichtung saugt und über eine Durchflußmeßstrecke ins Freie bläst. Zur Durchflußmessung wird eine Normblende von 18,5 mm Durchmesser nach DIN 1952 benutzt und der Differenzdruck mit einem Mikromanometer gemessen. Unmittelbar hinter dem Gebläse sitzt ein Drosselhahn zur Regulierung der durchgesaugten Luftmenge. Bei Belastungen der Filterproben von weniger als 2 m<sup>3</sup>/h wurden statt der Normblende Rotamesser benutzt.

Die Einspannvorrichtung für die Filterproben besteht aus 2 Rohrstücken von je 70 mm Länge, einem Innendurchmesser von 140 mm und einem Außendurchmesser von 160 mm, zwischen die das zu prüfende Filter samt einem Stützgewebe gespannt wird. Die Maschenweite des Stützgewebes betrug ca. 1 × 1 cm. Jeder Einsatz trägt außen einen Stutzen, der mit 5 gleichmäßig über den Umfang verteilten Meßstellen zur Messung des statischen Druckes verbunden ist. Die beiden Einsatzstücke samt dem dazwischenliegenden Ring mit Stützgewebe und Filter stehen in einer Führung. Durch Verdrehen eines festliegenden Gewindes wird ein Laufring zum Gebläse hin geschraubt, der über drei an ihm befestigte Stäbe das auf Rollen gelagerte Ansaugrohr fest und gleichmäßig gegen die Einsatzstücke drückt und eine zuverlässige Abdichtung gewährleistet.

Die freie Filterfläche des zu prüfenden Materials beträgt hierbei 154 cm<sup>2</sup>. Bedingt durch die zum Teil sehr hohen Anströmgeschwindigkeiten der Stationen und der dem Institut zur Verfügung stehenden Gebläseleistungen mußte ein großer Teil der Prüfungen mit kleineren Filteroberflächen durchgeführt werden (5; 20 und 64 cm<sup>2</sup>). In jedem Falle wurden dann so viele Prüfungen pro Material und pro Anströmgeschwindigkeit durchgeführt, daß mindestens 300 cm<sup>2</sup> oder mehr Filterfläche beaufschlagt wurden.

Ausgehend von der Überlegung, daß die Abscheidung in Schwebstoffiltern der Sonderstufe S nach einem Exponential-Gesetz erfolgt, kann folgender Ansatz gemacht werden: Schaltet man zwei Probestücke des Filtermaterials F<sub>1</sub> und F<sub>2</sub>, deren Abscheidegrade  $\eta_1$  und  $\eta_2$  sein mögen, hintereinander und beaufschlagt sie mit Luft, die kurzlebige radioaktive Schwebstoffe enthält, so mißt man mittels eines Zählrohres nach dem Versuch auf dem Filter F<sub>1</sub> eine Aktivität von N<sub>F<sub>1</sub></sub> und auf dem Filter F<sub>2</sub> eine solche von N<sub>F<sub>2</sub></sub>. Nach Abklingen der Aktivität auf den Probestücken wiederholt man den Versuch, nur daß man jetzt das im ersten Versuch an zweiter Stelle gelegene Filter F<sub>2</sub> an die erste Stelle setzt, d.h. die Reihenfolge der Filter vertauscht. Bezeichnet man die nach diesem Versuch gefundenen Aktivitäten entsprechend mit N'<sub>F<sub>2</sub></sub> und N'<sub>F<sub>1</sub></sub>, so findet man, ohne die jeweiligen Rohluftkonzentrationen kennen zu müssen, für die Abscheidegrade folgende Beziehung:

$$\eta_{F_1} = \frac{N_{F_1} \cdot N'_{F_2} - N_{F_2} \cdot N'_{F_1}}{N_{F_1} \cdot N'_{F_2} + N_{F_2} \cdot N'_{F_1}}$$

$$\eta_{F_2} = \frac{N_{F_1} \cdot N'_{F_2} - N_{F_2} \cdot N'_{F_1}}{N_{F_1} \cdot N'_{F_2} + N_{F_1} \cdot N'_{F_1}}$$

Diese Versuchsanordnung hat den großen Vorteil, daß man nicht auf Roh- und Reinluftmessung angewiesen ist und dadurch von Fehlern der Meß- und Sondeneinrichtung sowie von einem nicht genau definierten Abscheidegrad des benutzten Staubmeßgerätes für diese radioaktiven Aerosole freibleibt.

Der Abstand der beiden Filter kann so klein gehalten werden — praktisch Zehntel Millimeter —, daß ein nachweisbarer Fehler durch teilweise Abscheidung der durch das erste Filter hindurchgegangenen Staubteilchen durch Diffusion oder durch elektrische Bildkräfte an die Wände nicht entsteht. Je kleiner die benutzten Materialausschnitte sind, um so größer werden die Abweichungen von  $\eta_{F_1}$  und  $\eta_{F_2}$  sein, da der Abscheidegrad eines Filtermaterials z.B. infolge von Dichte- oder Dickenschwankungen nicht an jeder Stelle der Fläche gleich ist. Je größer der Materialausschnitt gewählt werden kann und je gleichmäßiger das Material gefertigt ist, um so mehr werden sich  $\eta_{F_1}$  und  $\eta_{F_2}$  nähern. Ist  $\eta_{F_1} = \eta_{F_2} = \eta$ , so vereinfacht sich die Formel zu

$$\eta = 1 - \frac{N_{F_2}}{N_{F_1}}$$

Bei den hier durchgeführten Untersuchungen wurde stets nach dieser vereinfachten Formel gerechnet. Da Filtermaterialien mit unterschiedlichen Wirkungsgraden von Probestück zu Probestück oder sehr niedrigen Abscheidegraden als Meßfilter nicht geeignet erscheinen, konnte die in diesen Fällen auftretende größere Streuung der Ergebnisse ohne weiteres in Kauf genommen werden. (Siehe auch Abschnitt 3.2.2, Fehlerbetrachtungen.)

Die Aktivitäten der Probestücke wurden unter einem Proportionalzählrohr oder in einem Durchflußzählrohr oder in einer Ionisationskammer entsprechender Größe sorgfältig bestimmt. Vor den Aktivitätsmessungen wurde die Erreichung des radioaktiven Gleichgewichtszustandes zwischen dem Thorium B (Pb 212) und seinen nachgebildeten Folgeprodukten abgewartet. Das ist nach einer Zeit von mehr als 5 Stunden der Fall.

#### 2.4 — Die Messung des Durchflußwiderstandes

Die Filterhalterungen sind unmittelbar hinter dem eingespannten Filter mit über den Umfang der Sonde verteilten Bohrungen versehen, die in einer Ringleitung zusammenlaufen. (Siehe Bild 4). Je nach erforderlichem Meßbereich wird der Differenzdruck (Druck hinter dem Filter minus Druck vor der frei angeströmten Filterfläche) mittels Minimeter, Schrägrohr- oder U-Rohrmanometer oder Quecksilbermanometer gemessen.

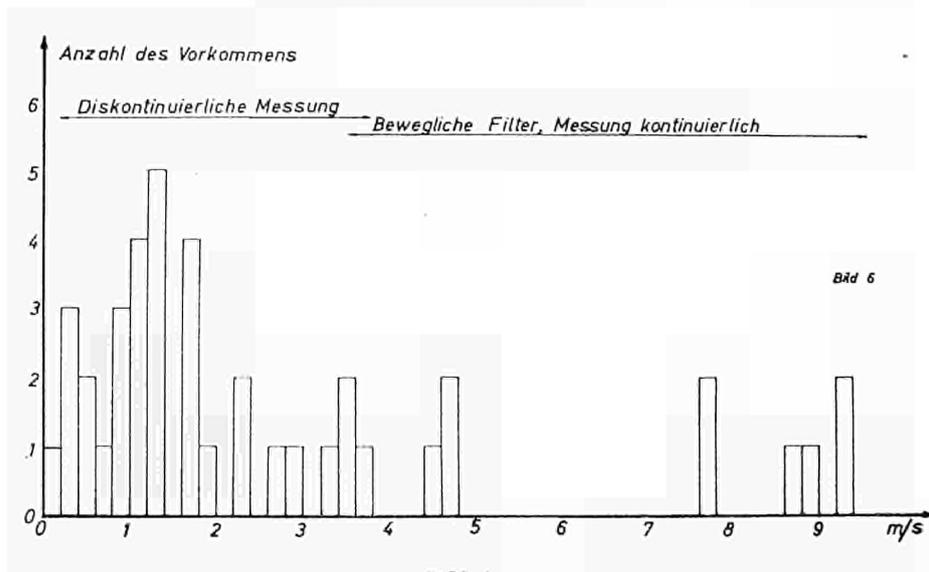
### 3 — UNTERSUCHUNGEN UND MESSERGEBNISSE

#### 3.1 — Anströmgeschwindigkeiten

Von den einzelnen Stationen wurden insgesamt 44 verschiedene Anströmgeschwindigkeiten der Luft an die planen Filtermaterialien angegeben. Die Verteilung der Geschwindigkeiten nach Gruppen zeigt Bild 6. Fast 66 % der benutzten Geschwindigkeiten sind kleiner als 2,4 m/s. Geschwindigkeiten von mehr als 4 m/s werden fast ausschließlich nur von kontinuierlich arbeitenden Geräten mit beweglichem Filterband benutzt. Das Schwergewicht der Untersuchungen über das Verhalten von Filtermaterialien lag entsprechend der hier gezeigten Verteilung bei Geschwindigkeiten kleiner als 2,4 m/s. Ausführliche Untersuchungen über die Abhängigkeit von Abscheidegrad gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen und Anströmgeschwindigkeit wurden bei Filtern durchgeführt, die in ihrem Aufbau charakteristisch für eine Gruppe von Materialien waren. Bei den übrigen Filtern wurde die Prüfung

bei der Geschwindigkeit vorgenommen, die für das Filter von den Stationen am häufigsten benutzt wurde. In einigen Fällen reichte die zur Verfügung stehende Gebläseleistung nicht aus, um die geforderten hohen Geschwindigkeiten zu erreichen. In solchen Fällen wurde mit der höchsten erreichbaren Geschwindigkeit geprüft.

Verteilung von 44 Anströmgeschwindigkeiten auf 17 verschiedene Filtermaterialien  
(nach Angaben der Kommission)



### 3.2 — Zusammenfassende Darstellung aller Meßergebnisse und Erläuterungen

#### 3.2.1 — Tabellarische Darstellung

Für alle hier untersuchten Filtermaterialien sind die gemessenen Resultate in Tabelle I zusammengestellt.

Neben dem Filtertyp enthält sie das an Proben für die Ölnebelprüfung ermittelte Flächengewicht (Flächengewichtswaage QW 201 der Fa. Sartorius) und die für die jeweiligen Anströmgeschwindigkeiten gemessenen Durchflußwiderstände und Abscheidegrade gegenüber Ölnebel (0,2-1,0 µm Durchmesser) und gegenüber natürlichen, radioaktiv indizierten Aerosolen (kleiner 0,3 µm Durchmesser).

#### 3.2.2 — Fehlerbetrachtungen

##### 3.2.2.1. — Flächengewicht

Die hier gegebenen Werte sind Mittelwerte. Die Standardabweichung liegt in Abhängigkeit vom Material zwischen  $\pm 0,9$  und  $\pm 10$  %.

##### 3.2.2.2 — Anströmgeschwindigkeit

Die hier gegebenen Anströmgeschwindigkeiten können um  $\pm 2$  % abweichen.

TABELLE I

Filter	Flächen- gewicht g/m <sup>2</sup>	Anström- geschwindig- keit cm/s	Widerstand mmWS	Abscheidegrad für Ölnebel 0,2-1 µm Ø in %			Abscheidegrad für rad. indiz. Aerosole <0,3 µm Ø in %		
				kleinster	mittlerer	höchster	kleinster	mittlerer	höchster
Ederol Nr. 265 Kunst Faser Papier	117,0	400	209	41,28	42,75	44,78	—	—	—
		40	11,5	—	—	—	59,517	70,664	81,851
99/97-Microsorban-4/200	310,2	5	25,5	99,90	99,91	99,93	99,698	99,754	99,795
		20	95,0	99,80	99,83	99,84	99,668	99,685	99,695
		50	240,0	99,85	99,86	99,86	97,140	97,883	98,733
		77,8	—	—	—	—	99,180	99,223	99,244
		100	472,0	99,888	99,901	99,916	99,754	99,831	99,946
		200	930,0	99,951	99,956	99,976	—	—	—
Meßfilterpapier Nr. 766	240,0	25	266	99,974	>99,980	>99,980	99,928	99,971	99,991
		40	430	>99,980	>99,980	>99,980	99,927	99,975	99,997
		64	675	>99,980	>99,980	>99,980	—	—	—
		100	1094	>99,980	>99,980	>99,980	99,939	99,973	99,998
CO 5 Neue Bezeichnung MF 50	46,0	5	506	99,951	99,961	99,976	—	—	—
		20	1496	99,954	99,960	99,972	99,845	99,950	99,996
		40	2992	99,912	99,934	99,956	—	—	—
		50	3536	99,923	99,937	99,951	—	—	—
		70	4352	99,851	99,890	99,930	—	—	—
Auer-MSA 1106 b	58,0	120	693	99,943	99,943	99,945	99,108	99,422	99,810
Whatman Nr. 541 Whatman AGF/A Neue Bezeichnung GF/A	77,5 58,7	25	130	74,34	74,91	75,51	60,744	79,970	92,217
		5	33	99,976	>99,980	>99,980	—	—	—
		30	193	99,977	99,977	99,977	—	—	—
		50	315	>99,980	>99,980	>99,980	—	—	—
		100	640	99,978	>99,980	>99,980	—	—	—
		130	—	—	—	—	99,170	99,614	99,908



TABELLE I (Fortsetzung)

Filter	Flächengewicht g/m <sup>2</sup>	Anströmgeschwindigkeit cm/s	Widerstand mmWS	Abscheidegrad für Ölnebel 0,2-1 µm Ø in %			Abscheidegrad für rad. indiz. Aerosole <0,3 µm Ø in %		
				kleinster	mittlerer	höchster	kleinster	mittlerer	höchster
Blau HYN 75 %	65,0	7	—	—	—	—	32,027	44,373	54,321
		10	18	—	—	—	32,321	52,564	63,544
		16	—	—	—	—	32,926	36,092	38,921
		70	117	78,31	78,81	79,13	17,672	31,574	56,955
		100	168	88,13	88,37	88,58	21,482	42,142	54,302
		160	302	96,85	96,93	96,99	47,500	56,959	66,776
		236	468	98,63	98,65	98,66	—	—	—
		260	—	—	—	—	58,100	68,170	86,800
		335	635	99,14	99,18	99,20	—	—	—
Gelb HYN 97 %	125,0	133	—	—	—	—	74,962	81,942	86,407
		297	1555	99,87	99,899	99,923	—	—	—
Rosa HYN 100 %	165,0	5	106	99,84	99,87	99,900	99,772	99,799	99,822
		50	633	99,911	99,912	99,913	99,784	99,850	99,884
		86	—	—	—	—	96,542	97,756	98,461
		300	3264	99,889	99,910	99,935	—	—	—

### 3.2.2.3 — Durchflußwiderstände

Die hier gegebenen Widerstände beruhen jeweils auf der Messung an einem Probestück. Die Standardabweichung der so ermittelten Werte beträgt etwa  $\pm 2,5$  %. In dieser Streuung ist die Variationsstreuung, d.h. die Streuung der Meßgröße selbst, bedingt durch unterschiedliche Dicke und Dichte von Probe zu Probe, nicht enthalten.

### 3.2.2.4 — Abscheidegrade

Der Fehler der ermittelten Abscheidegrade setzt sich zusammen aus der Streuung der Schwebstoffkonzentrationsmessungen vor und nach dem Filter, der Variationsstreuung des Abscheidegrades, bedingt durch Dichte-, Dicke- und Strukturunterschiede der einzelnen Filterproben und aus der Streuung der Durchfluß- bzw. Luftvolumenmessung. Untersucht man die gemessenen Abscheidegrade eines Filters bei einer Anströmgeschwindigkeit, die an 30 bis 120 Filterproben gemessen wurden, so stellt man fest, daß diese Meßwerte sehr häufig keiner normalen Gaußverteilung unterliegen. Es ist deshalb sinnlos, die mittlere Abweichung (Streuung) oder ein Vielfaches davon anzugeben. Für alle Abscheidegrade ist deshalb der arithmetische Mittelwert und die Variationsbreite d.h. kleinster und größter gemessener Wert angegeben. Die beim Abscheidegrad gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen bei einigen Filtern auftretenden größeren Variationsbreiten beruhen darauf, daß

- 1) sehr viel mehr Filterproben mit kleinerer Filterfläche untersucht wurden als bei der Prüfung mit Ölnebel, die meist nur an einer Filterprobe erfolgte und daß
- 2) der für diesen Korngrößenbereich maßgebende Filtereffekt (Diffusion) sehr viel empfindlicher auf Änderungen des Porenvolumens, der spezifischen Faserdurchmesser- und der Dicke des Filters reagiert, als der Abscheidemechanismus für den Korngrößenbereich des Ölnebels.

### 3.2.3 — Anmerkungen zu den in der Tabelle I aufgeführten Meßfiltern, ihren Eigenschaften und einzelnen Meßergebnissen

*Ederol, Nr. 265* : Bei der Prüfung auf Abscheidevermögen gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen konnte wegen mangelnder Gebläseleistung die geforderte Anströmgeschwindigkeit von 400 cm/s nicht erreicht werden. Daß der Abscheidegrad für diese Aerosole bei einer Anströmgeschwindigkeit von 40 cm/s höher ist als derjenige für Ölnebel bei 10-fach größerer Anströmgeschwindigkeit, steht im Einklang mit der Theorie.

*99/97 Microsorban-4/200* : Hierbei handelt es sich um ein lösliches Kunststoff-Faserfilter (Lösungsmittel sind z.B. Benzol, Trichloräthylen u.a.). Der Abfall des Abscheidegrades gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen bei einer Anströmgeschwindigkeit von 50 cm/s ist experimentell durch Messung von 3 Filterpaaren, d.h. 6 Filtern, mit einer Gesamtoberfläche von 924 cm<sup>2</sup> gesichert.

*Meßfilterpapier Nr. 766* : Zellulose-Asbest Filterpapier. Die Abscheidegrade gegenüber Ölnebel liegen so hoch, daß genauere Werte wegen Erreichens der oberen Meßgrenze nicht gemacht werden können. Nur sehr geringe Eindringtiefe der Staubteilchen in das Filtermaterial. (Siehe auch 1106 b.)

*Co 5* : Es handelt sich um ein Membranfilter. Bei diesem Filtermaterial tritt mit zunehmender Belastung eine Dehnung und damit eine Weitung der Poren auf, die ein Absinken des Abscheidegrades gegenüber Ölnebeln zur Folge hat. (Siehe auch Bild 7). Auffällig ist auch die große Variationsbreite des Abscheidegrades gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen. Die hier gegebenen Werte stammen aus Meßreihen an 30 Filtern mit je einer freien Filterfläche von 20 cm<sup>2</sup> (Gesamtfläche = 600 cm<sup>2</sup>). Die kleinste und größte gemessene Durchlässigkeit verhalten sich wie 1 : 40.

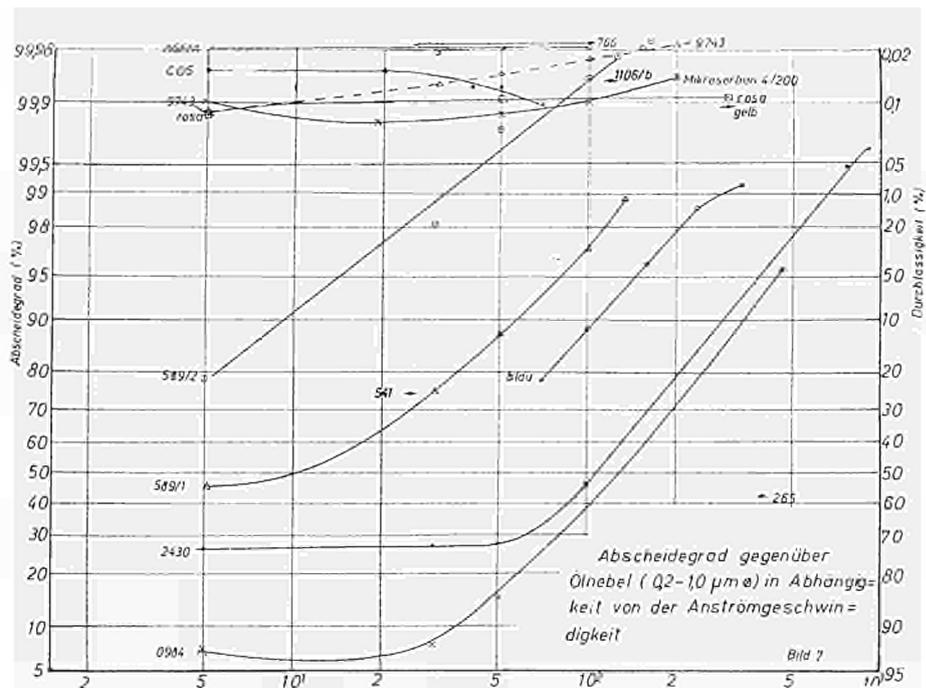


Bild 7

**1106 b** : Glasfaserpapier. Bei Untersuchungen an diesem Papier, die das Institut außerhalb der hier angestellten durchführte, zeigte sich, daß das Filter auch über weite Geschwindigkeitsbereiche ( $<120$  cm/s) sein hohes Abscheidevermögen behält, teilweise sogar besser wird. Es wurden dabei auch Untersuchungen über die Eindringtiefe der Staubteilchen in das Material gemacht. Bei Rauchen ( $0,2-0,8 \mu\text{m}$  Durchmesser) und größeren Teilchen ist sie so klein, daß selbst  $\alpha$ -Strahlen nicht wesentlich geschwächt werden. So erzielt man bei der Verwendung von offenen Durchflußzählrohren mit  $2\pi$ -Geometrie Wirkungsgrade zwischen 35 und 44 %. Dieses Filterpapier wird ebenso wie das Papier 766 vom Institut auch zur Messung der Konzentration von  $\alpha$ -strahlenden Schwebestoffen eingesetzt. Das Filter zeichnet sich auch im praktischen Gebrauch durch seine Gewichtskonstanz aus.

**Whatman Nr. 541** : Zellulosefilter. Auch hierbei zeigt sich eine große Variationsbreite bei den Abscheidegraden gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen. Es wurden 30 Filter mit je einer Fläche von  $20 \text{ cm}^2$  geprüft, (Gesamtfläche  $600 \text{ cm}^2$ ). Es handelt sich um echte Materialschwankungen. Diese lassen die Verwendung des Papieres als Meßfilter fragwürdig erscheinen. Bei der Prüfung mit Ölnebel zeigte sich, daß das Filter nur ein geringes Aufnahmevermögen für flüssige Aerosole (Nebel) hat.

**Whatman AGF/A** : Glasfaserfilter. Zeigt bezüglich Eindringtiefe und Gewichtskonstanz etwa die gleichen Eigenschaften wie Filter 1106 b. Trotz untergelegtem Stützsieb mit einer Maschenweite von etwa  $1 \times 1 \text{ cm}$  rissen einzelne Filter bei Durchflußwiderständen von 700 bis 800 mmWS. (Anströmgeschwindigkeiten oberhalb 120 bis 150 cm/s).

**Nr. 589/1** : Zellulosefilter. Dieses Filter lag in 2 Ausführungen vor. Es handelt sich um Rundfilter mit Wasserzeichen und um Bogen ohne Wasserzeichen. Die herstellende Firma teilte hierzu mit, daß neue Filter 589/1 ohne Wasserzeichenrippung gefertigt werden. Die Stoffzusammensetzung sei bei beiden Papieren die gleiche. Die Variationsbreite des Abscheidegrades (26,0 bis 47,7 %) gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen (30 Messungen) erscheint für ein Meßfilter zu hoch. Sie ist noch größer (34,2 bis 83 %) bei den geprüften Filterproben des Materials 589/1 mit Wasserzeichen, (66 Messungen,  $420 \text{ cm}^2$  Gesamtfläche).

*Nr. 589/2* : Zellulosefilter. Auch dieses Filter wird heute ohne Wasserzeichenrippung hergestellt. Die Untersuchungen wurden an diesem neuen Material vorgenommen. Für Ölnebel wurde ein stetiges Wachsen des Abscheidegrades mit der Anströmgeschwindigkeit festgestellt. Bei einer Anströmgeschwindigkeit von 125 bis 130 cm/s beträgt zwar der Abscheidegrad gegenüber Ölnebel mehr als 99,9 %, derjenige gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen jedoch im Mittel nur 82,6 %.

Vergleicht man die in Spalte 5 der Tabelle I gemessenen Widerstände mit denjenigen anderer Filter, so stellt man fest, daß das Filter 589/2 einen höheren Widerstand hat, (siehe auch Bild 9) als Filter mit höherem Abscheidegrad und kleinerer Variationsbreite (z.B. Nr. 766; AGF/A; 1106 b; 9743 und Mikrosorban 4/200). Vom filtertechnischen Gesichtspunkt aus sprechen keine Gründe — außer mechanischen — für die Verwendung dieses Materials.

*Nr. 0984* : Kunststoff-Faser-Vliespapier. Es wird in kontinuierlich arbeitenden Luftüberwachungsgeräten (vornehmlich denen der Firma Frieseke u. Hoepfner) ebenso wie das Filtermaterial „Ederol Nr. 265“ benutzt. Beide Filter ersetzen die früher benutzten Materialien CH 150 und Rovylfaserpapier Typ 1001. Gegenüber Ölnebel zeigt das Filter 0984 mit wachsender Anströmgeschwindigkeit zunehmende Abscheidegrade von ca. 7 % bis 95 %. Die Variationsbreite gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen (ca. 35 % bis 72 % bei 30 Messungen) ist außerordentlich groß und kann genauso wie andere Filter mit ähnlicher Variationsbreite bei einer Benutzung des Materials als bewegliches Filterband deshalb zeitliche Schwankungen der Konzentration radioaktiver Schwebstoffe in der Atmosphäre vortäuschen, die in Wirklichkeit nicht vorhanden sind.

*Nr. 2430* : Vermutlich Zellulosepapier. Es wird ebenfalls in kontinuierlich arbeitenden Luftüberwachungsgeräten (Landis und Gyr) eingesetzt. Wenngleich der Abscheidegrad gegenüber Ölnebeln bei Anströmgeschwindigkeiten unter 100 cm/s größer und die Variationsbreite des Abscheidegrades gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen (30 Messungen, Gesamtfläche 150 cm<sup>2</sup>) etwas kleiner ist, gilt doch das gleiche wie bei Filter 0984 gesagte.

*Nr. 9743* : Zellulose-Asbest-Filterpapier. Der Abscheidegrad gegenüber unserem Ölnebel steigt mit zunehmender Anströmgeschwindigkeit und zeigt keine Minima in dem untersuchten Geschwindigkeitsbereich. Der Abscheidegrad gegenüber radioaktiv indizierten Aerosolen dagegen zeigt ein solches in der Gegend von 30 cm/s (gemessen an 4 Filtern mit einer freien Gesamtoberfläche von 616 cm<sup>2</sup>). Die Variationsbreite ist wie bei anderen Filtern dieser Leistung befriedigend klein.

*Blau, HYN 75 %* : Zellulose-Filterpapier. Bei Anströmgeschwindigkeiten oberhalb 70 cm/s wächst der Abscheidegrad für Ölnebel mit der Zunahme der Anströmgeschwindigkeit. Ein Minimum des Abscheidegrades für radioaktiv indizierte Aerosole findet sich im Bereich zwischen 20 und 80 cm/s. Zur Bestimmung des Abscheidegrades bei einer Anströmgeschwindigkeit von 70 cm/s wurden hier 15 Filterpaare = 30 Filter mit je einer freien Filterfläche von 20 cm<sup>2</sup> (Gesamtfläche = 600 cm<sup>2</sup>) gemessen. Sehr große Variationsbreite! Das Material zeigt verhältnismäßig starke Schwankungen im Flächengewicht und im Durchflußwiderstand.

*Gelb, HYN 97 %* : Zellulose-Asbest-Filterpapier. Bei der Prüfung mit radioaktiv indizierten Aerosolen konnten wegen der vorhandenen Gebläseleistung keine höheren Anströmgeschwindigkeiten als angegeben erreicht werden.

*Rosa, HYN 100 %* : Zellulose-Asbest-Filterpapier. Im untersuchten Geschwindigkeitsbereich praktisch gleichbleibender Abscheidegrad gegenüber Ölnebel 0,2-1 µm Durchmesser. Im Abscheidevermögen gegenüber atmosphärischen, radioaktiv indizierten Aerosolen zeigt sich ein ausgeprägtes Minimum um 80 cm/s Anströmgeschwindigkeit. (Messungen an 30 Filterproben, Gesamtfläche 150 cm<sup>2</sup>).

## 4 — DISKUSSION DER MESSERGEBNISSE

### 4.1 — Voraussetzungen

Zweck der diskontinuierlichen oder kontinuierlichen Messung des Gehaltes der Luft an radioaktiven Schwebstoffen ist die rechtzeitige Erkennung von Gefahren, die dem Menschen durch Einatmen dieser Schwebstoffe entstehen können. Die Korngröße der möglicherweise vorkommenden radioaktiven festen oder flüssigen Schwebstoffe kann außerordentlich verschieden sein, sie hängt von der Art der Erzeugung oder Entstehung und den dabei vorhandenen atmosphärischen Bedingungen ab. Die Masse der mechanisch erzeugten Schwebstoffe hat Durchmesser größer als  $0,5 \mu\text{m}$ . Die Korngröße von Oxidationsaerosolen, Rauchen und Kondensationsaerosolen kann sich von  $0,1$  bis  $1 \mu\text{m}$  erstrecken. Auch Kondensationskerne, deren Teilchenzahlkonzentration sehr groß ist ( $10^3$  bis einige  $10^6$  pro  $\text{cm}^3$  Luft) können unter bestimmten Umständen (accidents) Aktivitätsträger sein (Absorption radioaktiver Gase und Dämpfe, selbst Folgeprodukt radioaktiver Edelgase). Von einem Meßfilter sollte man deshalb einen möglichst großen Abscheidegrad für alle Korngrößen oberhalb  $0,01 \mu\text{m}$  verlangen.

Wie bei jedem Meßverfahren ist es auch bei der Konzentrationsmessung radioaktiver Schwebstoffe nicht möglich, den absoluten, d.h. den wahren Wert zu messen. Der durch Messung und Rechnung ermittelte Wert soll jedoch dem wahren Wert möglichst nahe kommen. In die Fehlerbetrachtung gehen folgende Größen mit ein :

- 1) Standardabweichung der Gasvolumenmessung. Sie kann nach den bisher vorliegenden Erfahrungen bei Routinemessungen günstigenfalls mit  $\pm 3 \%$  angenommen werden.
- 2) Standardabweichung bei der Aktivitätsmessung der bestaubten Filter. Sie dürfte im Routinebetrieb bei  $\pm 1$  bis  $\pm 2 \%$  liegen.
- 3) Die Genauigkeit der Kenntnis des Wirkungsgrades der Apparatur zur Aktivitätsmessung in Abhängigkeit von der Art und der Energie der zu messenden Strahlung. Dieser Fehler ist verhältnismäßig schwer abzuschätzen, dürfte aber in der Größenordnung  $\pm 10 \%$  der Konzentrationsangabe liegen.
- 4) Die Genauigkeit der Kenntnis des Abscheidevermögens des Meßfilters gegenüber den Schwebstoffen *aller* Korngrößen bei den verschiedensten Anströmgeschwindigkeiten. Die Klärung dieses Punktes war Aufgabe vorliegender Arbeit.

Um den Fehler der Konzentrationsangabe möglichst klein zu halten, müßte ein oder mehrere Filtermaterialien gefunden werden, die bei allen benutzten Anströmgeschwindigkeiten der Stationen und für alle Korngrößen der vorkommenden Schwebstoffe möglichst den gleichen und großen Abscheidegrad aufweisen. Der Durchflußwiderstand sollte dabei möglichst klein sein.

### 4.2 — DISKUSSION

Zur besseren Übersichtlichkeit ist in Bild 7 der Abscheidegrad aller untersuchten Filter gegenüber Ölnebel ( $0,2$  bis  $1,0 \mu\text{m}$  Durchmesser) in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit im Wahrscheinlichkeitsnetz aufgetragen. Dieses Bild läßt deutlich 2 Hauptgruppen von Filtern erkennen.

- 1) Filter, deren Abscheidegrad bei kleinen Anströmgeschwindigkeiten klein ist ( $7$  bis  $80 \%$ ), mit zunehmender Luftgeschwindigkeit aber wächst und sogar Werte über  $99 \%$  erreichen kann.

Abscheidegrad gegenüber natürlichen radioaktiv indizierten Aerosolen in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit

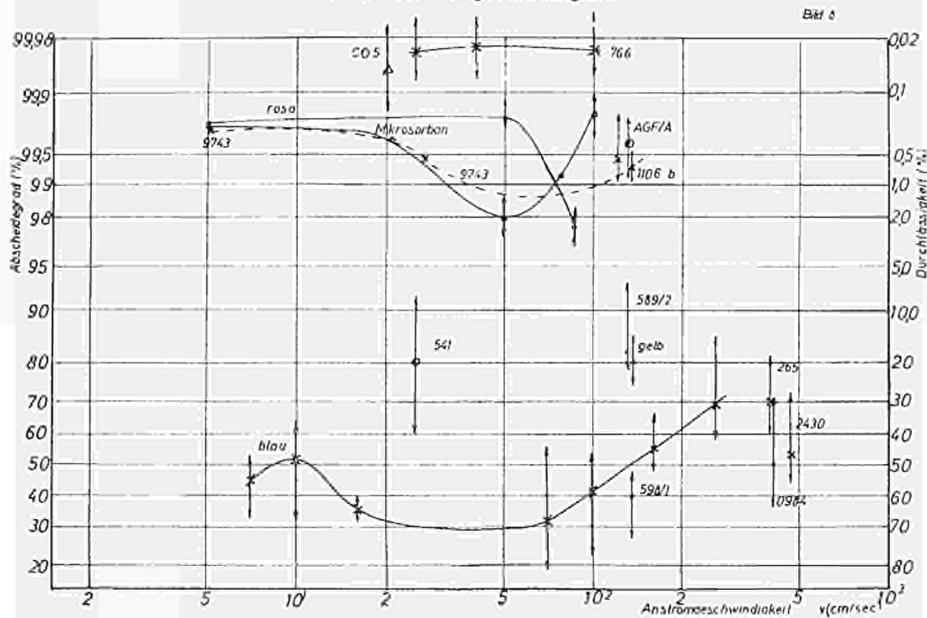


Bild 8

- 2) Filter, deren Abscheidegrad stets über 99,8 % liegt trotzdem aber in einzelnen Fällen Minima aufweisen.

Bei der ersten Gruppe handelt es sich ausnahmslos um Zellulose- oder Kunststofffaser-Filter, Bei der zweiten Gruppe handelt es sich — mit Ausnahme des Filters Co 5 — um Mischfaser-Filter, die einen gewissen Anteil an Fasern mit Durchmessern um oder unter  $1 \mu\text{m}$  haben.

In Bild 8 ist der Abscheidegrad aller untersuchten Filter gegenüber radioaktiv indizierten, atmosphärischen Aerosolen mit Durchmessern kleiner  $0,3 \mu\text{m}$  in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit ebenfalls im Wahrscheinlichkeitsnetz aufgetragen. Zu jedem Wert ist die Variationsbreite eingetragen. Wenngleich die meisten Filter jeweils nur in dem am häufigsten benutzten Geschwindigkeitsbereich geprüft wurden, ergeben sich auch hier 2 Hauptgruppen.

- 1) Filter, deren Abscheidegrad bei den untersuchten Anströmgeschwindigkeiten im Mittel weniger als 85 % beträgt. Bei diesen Filtern können zusätzlich ausgesprochene Minima der Abscheideleistung in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit auftreten.
- 2) Filter, deren Abscheidegrade bei den untersuchten Anströmgeschwindigkeiten stets mehr als 97 % betragen, trotzdem aber in einzelnen Fällen ausgeprägte Minima aufweisen.

Es gibt Empfehlungen, nach denen zur Messung gesundheitsschädlicher, nicht radioaktiver Stäube nur Meßfilter verwendet werden sollen, die ein Abscheidevermögen von mehr als 99 % für alle Korngrößen und Anströmgeschwindigkeiten haben sollen. Grundsätzlich ist nicht einzusehen, warum die gleichen Forderungen nicht auch für die Messung gesundheitsschädlicher, radioaktiver Stäube gelten sollen. Die Forderung, daß die zu benutzenden Meßfilter ein Abscheidevermögen von 99 % oder mehr für alle Korngrößen innerhalb eines bestimmten Anströmgeschwindigkeitsbereiches haben sollen, würde bedeuten, daß die angegebenen Konzentrationen unter den in 4.1 gegebenen Voraussetzungen maximal um 15 % vom wahren Wert abweichen könnten.

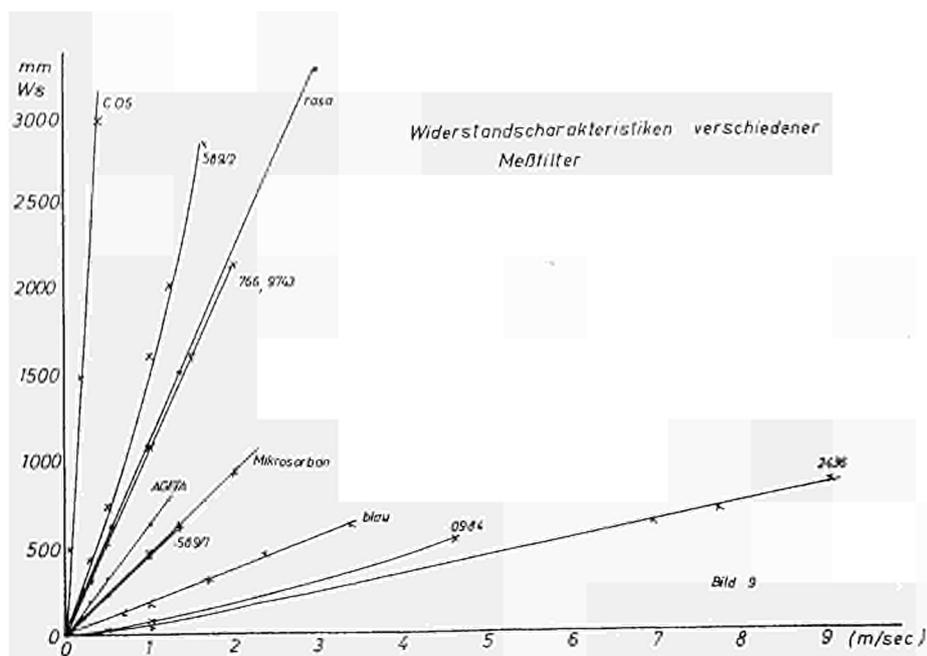


Bild 9

Im Bild 9 sind die Widerstandscharakteristiken verschiedener Meßfilter wiedergegeben. Dabei steht das Filter AGF/A stellvertretend auch für das Filter Nr. 1106 b.

Man sieht, daß bestimmte Filter sich wegen des hohen Widerstandes für Routinemessungen kaum durchsetzen werden. Sie werden aber für bestimmte Fragestellungen mit Erfolg eingesetzt werden können. (Separierung einzelner „ heißer Teilchen “; Messung der Konzentration von  $\alpha$ -Strahlern usw). Die Zellulose-Asbestfilter haben etwa einen 6 bis 7-fachen höheren Luftdurchlaß bei gleichem Widerstand als das Membranfilter. Auch sie eignen sich wegen der geringen Eindringtiefe der Teilchen zur Messung von  $\alpha$ -Strahlern. Die Glasfaserfilter haben einen etwa 11 bis 13-fachen höheren Luftdurchsatz bei gleichem Widerstand als das Membranfilter. Auch sie eignen sich hervorragend zur Messung von  $\alpha$ -Strahlern.

Die in ihrem Abscheidevermögen für alle Korngrößen konstantesten und sichersten Filtermaterialien sind nach diesen Untersuchungen zweifellos bestimmt die Zellulose-Asbest-Filterpapiere.

Bei Verwendung bestimmter Glasfaserfilter muß beachtet werden, daß sie mehr oder weniger große Anteile des Isotops Kalium-40 enthalten. Ob der dadurch hervorgerufene „ background “ noch stört, hängt von der Aktivität der auf dem Filter gesammelten Schwebstoffe ab. Der Wirkungsgrad für alle Korngrößen beträgt 99,0 % oder mehr. Die mechanische Stabilität von Glasfaser- oder Zellulose-Asbestfilter kann durch Unterlegen von Stützgeweben, „ Japan-Papier “, oder von Stützsieben kleiner Maschenweite erheblich gesteigert werden.

Einen Wirkungsgrad von 99,0 % oder mehr gegenüber allen Korngrößen kann man in dem hier betrachteten Geschwindigkeitsbereich auch für bestimmte Membranfilter ansetzen.

Es ist deshalb nicht einzusehen, weshalb weiter Filter benutzt werden, die bei gleicher Anströmgeschwindigkeit Abscheidegrade zwischen 26 % und 99 % je nach Korngrößenverteilung des atmosphärischen Aerosols aufweisen. Schließlich gibt es ja Filter, die für alle Korngrößen Abscheidegrade von 99,9 % oder mehr haben.

Auch die Schwankungen des Abscheidegrades von Filterausschnitt zu Filterausschnitt innerhalb des gleichen Filtermaterials bei gleicher Anströmgeschwindigkeit belastet die Konzentrationsangaben der Stationen mit einer zusätzlichen Streuung, die nicht notwendig ist.

## 5 — ZUSAMMENFASSUNG UND FOLGERUNGEN

### 5.1 — Zusammenfassung

Die hier durchgeführten Untersuchungen weisen 2 Hauptgruppen von Filtern aus :

- 1) Filter, deren Abscheidegrad (Wirksamkeit) für den hier betrachteten Korngrößenbereich von etwa 0,01 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit stark variieren kann. In dieser Gruppe werden bei den von den Stationen benutzten Anströmgeschwindigkeiten und für Schwebstoffe mit Durchmessern kleiner 0,3  $\mu\text{m}$  mittlere Abscheidegrade von mehr als 85 % nicht erreicht (31,5 % bis 82,6 %). Gegenüber Ölnebel (0,2 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser) können je nach Anströmgeschwindigkeit jedoch Abscheidegrade bis zu 99,98 % und mehr erreicht werden (7,0 % bis >99,98 %). Bei dem gleichen Filtermaterial können starke Schwankungen des Abscheidegrades von Meßfilter zu Meßfilter auftreten, die nicht vorhandene Konzentrationsschwankungen des radioaktiven Schwebstoffgehaltes der Luft vortäuschen können. Der Abscheidegrad für verschiedene Korngrößenbereiche kann sehr unterschiedlich sein. Die Filter haben Minima der Abscheidung, die von der Korngröße der Schwebstoffe und der Luftgeschwindigkeit abhängen.
- 2) Filter, deren Abscheidegrad (Wirksamkeit) für den hier betrachteten Korngrößenbereich in Abhängigkeit von den hier gewählten Anströmgeschwindigkeiten stets größer ist als 97 %. Diese Filter zeigen gegenüber Ölnebel (0,2 bis 1  $\mu\text{m}$  Durchmesser) stets Abscheidegrade von mehr als 99,7 %. Auch diese hochwertigen Filter haben mehr oder weniger ausgeprägte Minima des Abscheidegrades, die von der Korngröße der Schwebstoffe und der Luftgeschwindigkeit abhängen.

### 5.2 — Schlussfolgerungen

#### 5.2.1 — Diskontinuierliche und kontinuierliche Messungen

Die bisher in Messgeräten für diskontinuierlichen und kontinuierlichen Routinebetrieb verwendeten Filterstoffe müssten durch Filter ersetzt werden, deren Wirkungsgrad für alle Korngrößenbereiche mehr als 99,0 % bei den jeweils gewählten Anströmgeschwindigkeiten der Luft beträgt.

Bei den kontinuierlich betriebenen Messgeräten oder -anlagen werden sich langsam fortbewegende Filterbänder benutzt, sodass der Druckverlust (Widerstand) keine sehr entscheidende Rolle spielt. Die beiden massgeblichen Faktoren sind hier der untere Schwellwert der Strahlungsdetektoren und die Zugfestigkeit der Filter. Bei den neuen Modellen kontinuierlich betriebener Geräte sind bereits Filter aus Glasfasern mit hohem Wirkungsgrad vorgesehen. Die bisher verwendeten festen oder beweglichen Führungs-

rollen sind mit einem Maschineantrieb versehen worden, wodurch die Zugbeanspruchung der Filterbänder erheblich vermindert werden konnte.

Für diskontinuierliche Messungen höchster Genauigkeit sollten besonders hochwertige Filtermaterialien mit Abscheidegraden für alle Korngrößen von mehr als 99,95 % bei den benutzten Anströmgeschwindigkeiten verwendet werden.

### 5.2.2 — Anströmgeschwindigkeit auf dem ebenen Filter

Beim derzeitigen Stand der Technik sind Faserfilter mit hohem Wirkungsgrad nicht in der Lage, höhere Anströmgeschwindigkeiten als 150 cm/s auszuhalten.

### 5.2.3 — Zuführungsleitungen

In allen Zuführungsleitungen, die von der Entnahmestelle bis zum Meßfilter gehen, wird ein bestimmter Prozentsatz von Teilchen zurückgehalten. Dieser Prozentsatz ist abhängig von der Grösse der Teilchen, von der Temperatur und der Viskosität des Gases, vom Innendurchmesser und von der Länge der Leitung, von der Rauhigkeit der Wände und der Geschwindigkeit des Gases (der Luft). Bei diskontinuierlichen Messungen muss die betreffende Strecke kürzer als 100 cm sein.

### 5.2.4 — Gleichförmigkeit der einzelnen Filter

Die Hersteller müssten aufgefordert werden, die Fabrikation unter dem Gesichtspunkt der Konstanz des Flächengewichts, der Durchlässigkeit und des Wirkungsgrades gegenüber Aerosolen jeder Korngrösse zu überwachen und hierbei mit größtmöglicher Sorgfalt die in diesem Bericht beschriebenen Meßverfahren zu beachten.

## LITERATUR

1. S. K. FRIEDLANDER — Theorie of Aerosolfiltration. *Ind. and Eng. Chemistry* (1958), Nr. 8.
2. D. HASENCLEVER — Über die Prüfung von Filtern zur Abscheidung radioaktiver Aerosole. *Staub*, Bd. 19 (1959), Nr. 2.
3. Vorläufige Richtlinien zur Prüfung von Filtern zur Abscheidung von Schwebstoffen. Herausgegeben vom Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e. V., Bonn. *Staub*, Bd. 23 (1963), Nr. 1.
4. D. HASENCLEVER — Die Verwendung radioaktiver Indikatorstoffe zur Lösung von Staubfragen. *Staub* (1956), H. 44.
5. A. LINDER — Statistische Methoden für Naturwissenschaftler, Mediziner und Ingenieure. *Zweite, erweiterte Auflage*. Verlag Birkhäuser, Basel, 1951.

## Avant-propos

Afin d'avoir une opinion sur les filtres employés pour la mesure de la radioactivité atmosphérique, la Commission de la Communauté Européenne de l'Energie Atomique a fait procéder à une étude des principaux matériaux en usage dans les Pays membres de la Communauté.

Au cours du travail qui lui a été confié, le Staubforschungsinstitut de Bonn s'est attaché à mettre au point des dispositifs particulièrement adaptés aux mesures qui lui ont été demandées, aussi bien en ce qui concerne les caractéristiques physico-chimiques des aérosols, qu'en ce qui concerne les conditions d'emploi des filtres dans les installations qui les utilisent habituellement.

Le rapport établi par le Staubforschungsinstitut comprend deux parties : la première décrit les différentes méthodes employées pour exécuter l'étude qui a été demandée par la Commission et donne les formules mathématiques utilisées ; la seconde partie présente les résultats des mesures effectuées sous forme de tableaux synoptiques.

Les données théoriques présentées, comme les résultats obtenus au cours des diverses expériences, pourront permettre aux utilisateurs de mieux comprendre les processus qui conditionnent la filtration des particules atmosphériques et d'évaluer au mieux le rendement des filtres susceptibles d'être employés au cours de leurs mesures.

## 5 — Résumé et conclusions

### 5.1 — Résumé

De nos recherches se dégagent deux grands groupes de filtres:

- 1) Les filtres dont l'efficacité dans le domaine granulométrique considéré (0,01 à 1  $\mu\text{m}$ ) varie fortement avec la vitesse d'impact. Dans le groupe en question, aux vitesses utilisées par les stations et pour des diamètres inférieurs à 0,3  $\mu\text{m}$ , on n'obtient pas de rendement moyen supérieur à 85 % (31,5 % à 82,6 %). Toutefois, vis-à-vis des brouillards d'huile (0,2 à 1  $\mu\text{m}$  de diamètre), on peut obtenir, compte tenu de la vitesse d'impact, des rendements dépassant 99,98 % (de 7 % à 99,98 %). Pour un même matériau, il peut se produire des fluctuations dans le rendement d'un filtre de mesure à l'autre, qui risquent de faire croire à des fluctuations dans la concentration radio-active de l'air. Le taux de retenue peut varier fortement d'un domaine granulométrique à l'autre. Ces filtres présentent des minima de filtrage qui sont fonction des grosseurs de grain et de la vitesse de l'air.
- 2) Les filtres dont l'efficacité dans le domaine granulométrique et cinétique considéré est toujours supérieur à 97 %. Vis-à-vis des brouillards d'huile (diamètre allant de 0,2 à 1  $\mu\text{m}$ ), leur taux de retenue est toujours supérieur à 99,7 %. Malgré leur haut rendement, ces filtres présentent des minima plus ou moins accusés en liaison avec la grosscur de grain et la vitesse de l'air.

### 5.2 — Conclusions

#### 5.2.1 — Mesures en continu et discontinu

Les matériaux filtrants employés jusqu'ici dans des appareils de mesure fonctionnant en continu et discontinu devraient être remplacés par des filtres dont le rendement devrait pour tous les domaines granulométriques être supérieur à 99 % dans les domaines cinétiques choisis. Etant donné que dans les installations en continu, il s'agit de filtres en mouvement lent, la perte de pression (résistance) ne joue pas de rôle déterminant. Les deux facteurs déterminants sont le seuil inférieur des détecteurs de radiation et la résistance à la traction des filtres. Dans les modèles récents d'appareils fonctionnant en continu, on a d'ores et déjà prévu des filtres en fibres de verre à rendement élevé. En dotant les rouleaux de guidage fixes ou mobiles d'un entraînement mécanique, on a fortement allégé l'effort de traction qui pesait sur les bandes filtrantes.

Pour les mesures en discontinu de très grande précision, on devrait utiliser plus particulièrement des matériaux filtrants de haute qualité, présentant pour toutes les grosseurs de graines un rendement supérieur à 99,95 % dans les domaines cinétiques choisis.

#### 5.2.2 — Vitesses d'impact sur le filtre plan

Dans l'état actuel de la technique, les filtres à fibres de haut rendement ne sont pas aptes à supporter des vitesses d'impact supérieures à 150 cm/s.

#### 5.2.3 — Conduites d'amenée

Dans toutes les conduites allant du point de prélèvement jusqu'au filtre de mesure, une certaine proportion de particules se trouve retenue. Elle est fonction de la dimension des particules, de la température et de la viscosité du gaz, du diamètre intérieur et de la longueur de la conduite, de la rugosité des parois et de la vitesse du gaz (air). Dans le cas des mesures en discontinu, le parcours en question doit rester inférieur à 100 cm.

#### 5.2.4 — Uniformité des filtres d'un exemplaire à l'autre

Les fabricants de filtres devraient être invités à surveiller les fabrications sous l'angle de la constance du poids surfacique, de la perméabilité et du rendement vis-à-vis d'aérosols de toutes grosseurs de grain en observant le plus minutieusement possible les méthodes de mesure décrites dans le présent rapport.

## Prefazione

Per potersi fare un'opinione sui filtri impiegati nella misurazione della radioattività atmosferica, la Commissione della Comunità Europea dell'Energia Atomica ha fatto eseguire uno studio sui principali materiali impiegati nei Paesi della Comunità.

Nel corso del lavoro che gli era stato affidato, lo Staubforschungsinstitut di Bonn, si è dedicato soprattutto al perfezionamento dei dispositivi particolarmente adatti alle misurazioni, che gli erano state richieste, sia per quanto concerne le caratteristiche fisico-chimiche degli aerosol che le condizioni d'impiego dei filtri negli impianti che li utilizzano abitualmente.

Il rapporto redatto dallo Staubforschungsinstitut comprende due parti : la prima descrive i diversi metodi impiegati per eseguire lo studio affidatogli dalla Commissione, e indica le formule matematiche utilizzate; la seconda parte presenta, sotto forma di tavole sinottiche, i risultati delle misurazioni effettuate.

I dati presentati, insieme ai risultati ottenuti nel corso dei diversi esperimenti, potranno permettere agli utilizzatori di comprendere meglio i processi che condizionano la filtrazione delle particelle atmosferiche e di determinare con maggiore esattezza la resa dei filtri che potrebbero essere impiegati nel corso delle misurazioni.

## 5 — Riassunto e conclusioni

### 5.1 — Riassunto

Dalle nostre ricerche è risultato che due grandi gruppi di filtri rivestono particolare importanza :

- 1) I filtri la cui efficacia nel campo granulometrico preso in esame, (da 0,01 a 1  $\mu\text{m}$ ) varia notevolmente a seconda della velocità d'urto. Nel gruppo in questione, alle velocità impiegate dalle stazioni e per diametri inferiori ai 0,3  $\mu\text{m}$ , non si giunge ad una resa media superiore all'85 % (da 31,5  $\frac{1}{2}$  a 82,6 %). Tuttavia, in presenza di nebbia d'olio (da 0,2 a 1  $\mu\text{m}$  di diametro), tenendo conto della velocità d'urto si possono ottenere rese superiori al 99,98 % (da 7 % a 99,98 %). Per uno stesso materiale possono intervenire variazioni nella resa fra un filtro di misura e l'altro che potrebbero far credere a variazioni della concentrazione radioattiva dell'aria. Il tasso di ritenzione può variare sensibilmente quando si passa da un campo granulometrico all'altro. Questi filtri presentano valori minimi di filtrazione che dipendono dallo spessore del grano e dalla velocità dell'aria.
- 2) I filtri, la cui efficacia nel campo granulometrico e cinetico considerato supera sempre il 97 %. In presenza di nebbia d'olio (diametro da 0,2 a 1  $\mu\text{m}$ ), il loro tasso di ritenzione supera sempre il 99,7 %. Malgrado la loro resa elevata, tali filtri presentano valori minimi, più o meno accentuati in funzione delle dimensioni del grano e della velocità dell'aria.

### 5.2 — Conclusioni

#### 5.2.1 — Misurazioni continue e discontinue

I materiali filtranti, impiegati fino ad oggi negli apparecchi di misurazione a funzionamento continuo e discontinuo, dovrebbero essere sostituiti da filtri con una resa superiore al 99 % per tutti i campi granulometrici e per la velocità d'urto prescelte.

Poiché negli apparecchi o impianti a funzionamento continuo vengono impiegati nastri filtranti a traslazione lenta, la perdita di pressione (resistenza) non riveste importanza determinante. Nel caso specifico, i due fattori determinanti sono costituiti dal valore della soglia inferiore dei rivelatori di radiazione e dalla resistenza dei filtri alla trazione. I recenti modelli di apparecchi a funzionamento continuo sono già provvisti di filtri in fibra di vetro a resa elevata. Dotando di un dispositivo meccanico i rulli di guida fissi o mobili, utilizzati in precedenza, si è potuto alleggerire notevolmente la sollecitazione di trazione esercitata sui nastri filtranti.

Per compiere misurazioni discontinue della massima precisione si dovrebbero utilizzare materiali filtranti di alta qualità dotati di tassi di ritenzione superiori al 99,95 % per tutti i campi granulometrici e cinetici.

#### 5.2.2 — Velocità d'urto sul filtro piano

Allo stadio attuale della tecnica, i filtri costituiti da fibre a resa elevata non sono atti a sopportare velocità d'urto superiori a 150 cm/s.

#### 5.2.3 — Condutture di adduzione

Tutte le condutture che portano dal punto di prelievo al filtro di misura trattengono una certa proporzione di particelle, che dipende dalla loro granulometria, dalla temperatura e dalla viscosità del gas, del diametro interno dalla lunghezza della condotta, dalla rugosità delle pareti e dalla velocità del gas (aria). Nel caso di misurazioni discontinue il percorso deve rimanere inferiore ai 100 cm.

#### 5.2.4 — *Uniformità dei filtri*

I fabbricanti di filtri dovrebbero essere invitati a sorvegliare la fabbricazione, per quanto ne concerne l'uniformità del peso superficiale, la permeabilità e la resa di aerosol di qualsiasi granulometria e rivolgere la massima attenzione ai metodi di misurazione descritti nel presente rapporto.

## VOORWOORD

Ten einde zich een mening te kunnen vormen over de filters, die voor de meting van de radioactiviteit in de atmosfeer worden gebruikt, heeft de Commissie van de Europese Gemeenschap voor Atoomenergie een studie over de voornaamste materialen, die in de Lid-Staten van de Gemeenschap worden toegepast, in opdracht gegeven.

Het Staubforschungsinstitut te Bonn heeft tijdens de uitvoering van deze werkzaamheden aandacht geschonken aan de ontwikkeling van apparatuur die bijzonder geschikt is voor de metingen die aan het Instituut zijn opgedragen, zowel wat betreft de fysisch-chemische karakteristieken van de aërosolen, als wat betreft de gebruiksvoorwaarden van filters in de installaties waarin deze doorgaans worden toegepast.

Het door het Staubforschungsinstitut opgesteld rapport bestaat uit twee delen : het eerste deel behandelt de verschillende methodes voor de uitvoering van de door de Commissie verlangde studie en vermeldt de aangewende wiskundige formules; in het tweede deel worden de resultaten van de verrichte metingen in de vorm van synoptische tabellen weergegeven.

Zowel aan de hand van de vermelde theoretische gegevens, als met behulp van de tijdens de verschillende experimenten verkregen resultaten, krijgen de gebruikers een beter inzicht in de processen, die bij de filtering van atmosferische deeltjes een rol spelen, alsmede in het rendement van de filters, die bij hun metingen kunnen worden gebruikt.

## 5 — Samenvatting en conclusies

### 5.1 — Samenvatting

Bij onze onderzoeken zijn twee grote groepen van filters naar voren gekomen :

- 1) De filters waarvan de doeltreffendheid bij de in aanmerking komende granulometrie (0,01 tot 1  $\mu\text{m}$ ) sterk varieert met de doorstroomsnelheid. In deze groep wordt bij de door de stations gebruikte snelheden en bij diameters van minder dan 0,3  $\mu\text{m}$  geen gemiddeld rendement van meer dan 85 % (31,5 % tot 82,6 %) verkregen. Ten opzichte van olienevels (0,2 tot 1  $\mu\text{m}$  doorsnede), kan men evenwel naar gelang van de doorstroomsnelheid rendementen verkrijgen van meer dan 99,98 % (van 7% tot 99,98 %). Bij een zelfde materiaal kunnen zich variaties in het rendement van een filter voor de verschillende metingen voordoen, zodat men geneigd zou zijn aan te nemen dat variaties in de concentratie van de radioactiviteit in de lucht optreden. Het vangstpercentage kan sterk variëren naar gelang van het granulometrisch bereik. Deze filters vertonen minimum filtercapaciteiten, die afhankelijk zijn van de korrelgrootten en de doorstroomsnelheid van de lucht.
- 2) De filters waarvan de doeltreffendheid door alle korrelgrootten en doorstroomsnelheden steeds meer bedraagt dan 97 %. Ten opzichte van olienevels (doorsnede van 0,2 tot 1  $\mu\text{m}$ ) is de filtercapaciteit steeds groter dan 99,7 %. Ondanks dit hoge rendement, vertonen deze filters min of meer duidelijke minima naar gelang van de korrelgrootte en de doorstroomsnelheid.

### 5.2 — Conclusies

#### 5.2.1 — Continue en niet-continue metingen

De tot dusverre in de meetapparaten voor routinematige continue en niet-continue meting gebruikte filtermaterialen zouden moeten worden vervangen door filters met een rendement van ten minste 99 % voor alle betrokken korrelgrootten en aanzuigsnelheden van de lucht. Aangezien bij de installaties voor continue meting het filtermateriaal beweegt, speelt het drukverlies (weerstand) geen beslissende rol. De twee beslissende factoren zijn hier de drempelwaarde van de stralingsdetectoren en de trekvastheid van de filters. De recente modellen van apparatuur voor continue meting werken thans reeds met filters van glasvezel met hoog rendement. Door de vaste of beweegbare geleidcrollen, die voorheen werden gebruikt, van een mechanische aandrijving te voorzien, heeft men de trekkracht, die op de filterbanden wordt uitgeoefend, zeer sterk kunnen verminderen.

Voor niet-continue metingen van zeer grote nauwkeurigheid dient gebruik te worden gemaakt van bijzonder hoogwaardig filtermateriaal met afscheidingsgraden voor alle korrelgrootten van meer dan 99,95 % bij de gebruikte aanzuigsnelheden.

#### 5.2.2 — Aanzuigsnelheden op de vlakke filter

Bij de huidige stand van de techniek zijn de vezelfilters met hoog rendement nog niet geschikt voor aanzuigsnelheden van meer dan 150 cm/sec.

#### 5.2.3 — Toevoerleidingen

Bij alle leidingen vanaf het punt van monsterneming tot aan het meetfilter, wordt een bepaalde hoeveelheid deeltjes achtergehouden. Deze hangt af van de afmeting van de deeltjes, de temperatuur en de viscositeit van het gas, de inwendige doorsnede en de lengte

van de leiding, de ruwheid van de wanden en de snelheid van het gas (lucht). Bij niet-continue metingen moet het af te leggen traject minder dan 100 cm bedragen .

#### 5.2.4 — *Uniformiteit van de filters*

De fabrikanten van filters zouden moeten worden verzocht hun produkten te controleren vanuit het oogpunt van een constant gewicht per oppervlakte, de doorlaatbaarheid en het rendement ten opzichte van aërosolen van elke korrelgrootte, waarbij zo nauwkeurig mogelijk de in dit rapport beschreven meetmethodes in acht moeten worden genomen.

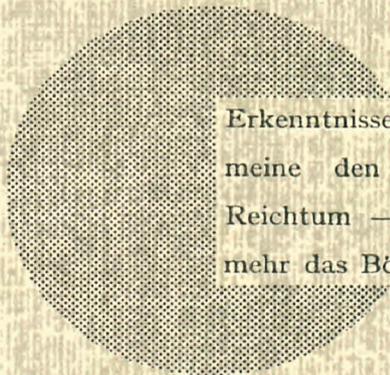
**AN UNSERE LESER**

Alle Euratom-Berichte werden nach Erscheinen in der von der Zentralstelle für Information und Dokumentation (CID) herausgegebenen Monatszeitschrift **EURATOM INFORMATION** angezeigt. Abonnements (1 Jahr : DM 60) und Probehefte sind erhältlich bei :

**Handelsblatt GmbH**  
**"Euratom Information"**  
**Postfach 1102**  
**D-4 Düsseldorf (Deutschland)**

oder

**Office central de vente des publications**  
**des Communautés européennes**  
**2, Place de Metz**  
**Luxembourg**



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

## VERTRIEBSSTELLEN

Alle Euratom-Berichte sind bei folgenden Stellen zu den auf der Rückseite des Umschlags angegebenen Preisen erhältlich (bei schriftlicher Bestellung bitte die EUR-Nummer und den Titel, die beide auf dem Umschlag jedes Berichts stehen, deutlich angeben).

### OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

#### BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE  
40-42, rue de Louvain - Bruxelles  
BELGISCH STAATSBLAD  
Leuvenseweg 40-42 - Brussel

#### DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER  
Postfach - Köln 1

#### FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
26, rue Desaix - Paris 15°

#### ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO  
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

#### LUXEMBOURG

OFFICE CENTRAL DE VENTE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
9, rue Goethe - Luxembourg

#### NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ  
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

#### UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE  
P. O. Box 569 - London S.E.1

EURATOM — C.I.D  
51-53, rue Belliard  
Bruxelles (Belgique)