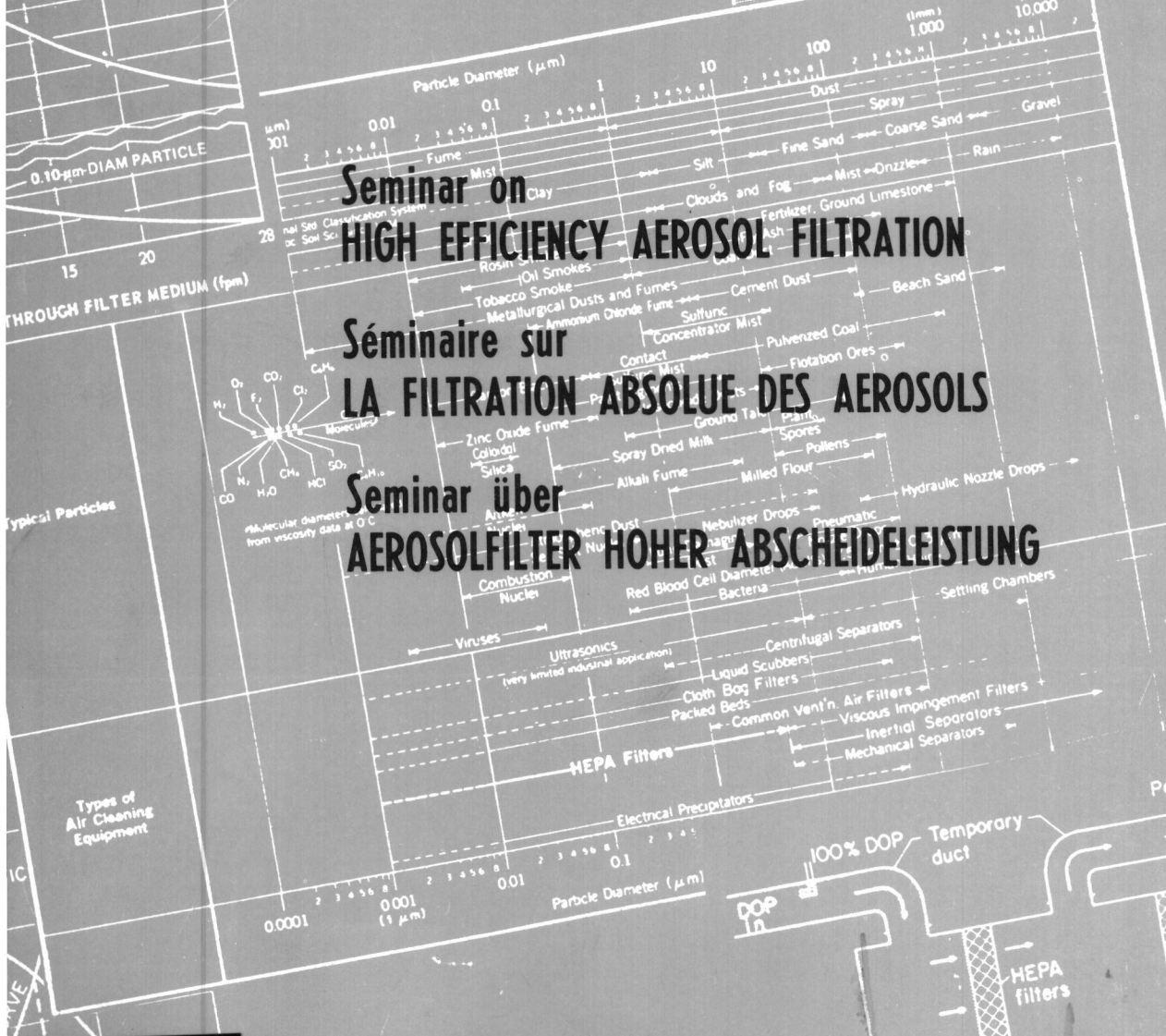


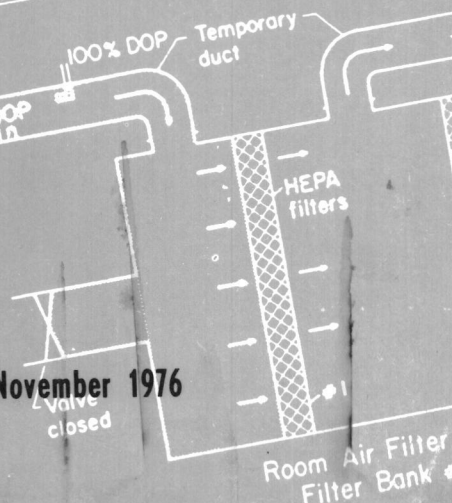
**Seminar on  
HIGH EFFICIENCY AEROSOL FILTRATION**

**Séminaire sur  
LA FILTRATION ABSOLUE DES AEROSOLS**

**Seminar über  
AEROSOLFILTRATION HOHER ABSCHIEDELEISTUNG**



Aix-en-Provence (France), 22-25 November 1976



Seminar on HIGH EFFICIENCY AEROSOL FILTRATION

Séminaire sur LA FILTRATION ABSOLUE DES AEROSOLS

Seminar über AEROSOLFILTER HOHER ABSCHIEDELEISTUNG

Aix-en-Provence (France), 22-25 Nov. 1976

ERRATA

page 20, equation 13:

$$R_0 = 1 - \frac{r_f^2}{r^2} + 2 \ln \left( \frac{r}{r_f} \right) \quad (13)$$

page 21, equation 18:

$$\gamma_m = \frac{p d_p^2}{2\pi v_a \eta d_f} \left( 1 - \frac{2R}{3} + \frac{7R^2}{12} - \dots \right) \quad (18)$$

page 21, equation 20:

$$\gamma = \frac{\varepsilon_c^2 d_f p}{2\pi \eta v_a} \quad (20)$$

where  $\varepsilon_c d_f / 2$  ( $= \varepsilon_o r_f$ ) plays the same role as  $r_p$  in the interception equation

==

COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES

---

PROCEEDINGS — ACTES — TAGUNGSBERICHTE

Seminar on  
**HIGH EFFICIENCY AEROSOL FILTRATION  
IN THE NUCLEAR INDUSTRY**

Séminaire sur  
**LA FILTRATION ABSOLUE DES AEROSOLS  
DANS L'INDUSTRIE NUCLEAIRE**

Seminar über  
**AEROSOLFILTER HOHER ABSCHIEDELEISTUNG  
IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN**

Luxembourg, February 1977

Seminar organized by the  
Commission of the European Communities  
Directorate-General for Social Affairs  
Health and Safety Directorate

in collaboration with

The Commissariat à l'Energie Atomique (CEA)

Palais des Congrès, Aix-en-Provence, 22-25 November 1976

#### **LEGAL NOTICE**

The Commission of the European Communities and its departments are not responsible for any use which may be made of the following information.

# I

## P R E F A C E

Under the terms of the Euratom Treaty, which requires the development and application of nuclear energy to be fostered, the Commission sees its task, first and foremost, as an obligation to prepare the ground for achieving a high standard of safety in the nuclear industry, and to work unremittingly for even greater safety margins consistent with technical development.

Evidence of this can be found in the actions taken to promote nuclear safety on the one hand in matters of technology, and, on the other, in the regulatory field, and, in particular, by harmonization of radiological protection measures in the Community.

Thanks to the Basic Safety Standards adopted by the Council of Ministers for protection against the dangers of ionizing radiation, appreciable harmonization was achieved in the regulatory field some considerable time ago.

The final lines of defence with which nuclear facilities are equipped in respect of discharges, the filters, are of prime importance in meeting the requirements for radiological protection of the population. Although there is no reason to consider such protective measures as suspect, one cannot fail to recognise that some aspects of filtration installations give rise to certain problems in operation, maintenance, efficiency tests, final disposal and again in optimal application of running costs.

That is why, for a number of years now, the Health and Safety Directorate has paid particular attention to filtration equipment in nuclear installations. A seminar held in Karlsruhe in December 1973 discussed the testing of iodine filters; in Aix-en-Provence the interest of the specialists centred on high efficiency aerosol filtration.

In the same way that, in its time, the desire to improve the harmonization of iodine filter test methods has been echoed in the specialised European laboratories, the organisers of the seminar on aerosol filtration express the wish with publication of this volume that the proposals and concepts herein will encounter just as great interest and will, as a minimum, be set on the path towards realisation.

Dr. P. RECHT

## II

### P R E F A C E

La Commission des Communautés Européennes voit avant tout dans la mission, confiée par le Traité d'Euratom, d'encourager le développement et l'utilisation de l'énergie nucléaire, l'obligation de créer les conditions d'une haute sécurité dans l'industrie nucléaire et de veiller toujours à ce que la sécurité s'accroisse avec le progrès technique.

Ceci se traduit par des actions de promotion de la sûreté nucléaire d'une part sur le plan technique et d'autre part sur le plan réglementaire, en particulier par l'harmonisation de mesures de protection contre les rayonnements dans la Communauté.

Sur le plan réglementaire, depuis longtemps déjà, on est parvenu à une assez bonne harmonisation grâce aux normes de base relatives à la protection contre les rayonnements, arrêtées par le Conseil.

Pour le respect des dispositions en matière de protection de la population contre les rayonnements, les ultimes barrières de confinement des rejets dont sont équipées les installations nucléaires, c'est-à-dire les filtres, sont d'une importance primordiale. Quoiqu'il n'y ait pas de raison de douter de ces barrières on ne saurait méconnaître que quelques éléments des circuits de filtration posent certains problèmes que ce soit au niveau de leur exploitation, de leur manipulation, des essais de leur efficacité, de leur élimination définitive ou encore de l'optimisation de leur utilisation.

C'est pourquoi, depuis plusieurs années, la direction "Santé et Sécurité" porte une attention toute particulière aux dispositifs de filtration dans les installations nucléaires. En décembre 1973, le Séminaire de Karlsruhe, avait mis le débat sur l'essai des filtres à iode; en novembre 1976, ici, à Aix-en-Provence, c'est sur les filtres à aérosols que se centre l'intérêt des spécialistes.

De même que, en son temps, le vœu de mieux harmoniser les méthodes d'essai des filtres à iode avait eu un large écho dans les laboratoires européens spécialisés, les organisateurs du séminaire sur les filtres à aérosols, accompagnent l'édition de ce volume du souhait de voir les incitations qui s'y trouvent, rencontrer tout autant d'intérêt et recevoir pour le moins un début de réalisation.

Dr. P. RECHT

### III

#### V O R W O R T

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften versteht den ihr im Euratom-Vertrag gegebenen Auftrag, die Entwicklung und Anwendung der Kernenergie zu fördern, in erster Linie als Verpflichtung, die Voraussetzungen für ein Höchstmass an Sicherheit in der nuklearen Industrie zu schaffen und an der Erhöhung dieser Sicherheit in Einklang mit der technischen Entwicklung unablässig zu arbeiten.

Dies äussert sich einerseits in Aktionen auf dem Gebiet der nuklearen Sicherheit auf technischer Ebene und zum anderen auf der reglementären Ebene, insbesondere in der Harmonisierung des Strahlenschutzes in der Gemeinschaft.

In reglementärer Hinsicht ist dank der vom Rat erlassenen Grundnormen für den Strahlenschutz diese Harmonisierung schon seit Jahren Wirklichkeit.

Für die Einhaltung der Strahlenschutzbestimmungen für die Bevölkerung sind insbesondere gerade die letzten Barrieren der Sicherheitseinschlüsse kerntechnischer Anlagen, nämlich die Filter, von Bedeutung. Wenn auch kein Anlass besteht, an der Wirksamkeit dieser Barrieren zu zweifeln, so ist doch nicht zu verkennen, dass einige Elemente der Filtereinrichtungen sehr wohl gewisse Probleme aufgeben in betrieblicher Hinsicht, bezüglich Handhabung, Messung der Wirksamkeit, ihrer endgültigen Beseitigung oder auch nur bezüglich der Optimierung ihres Einsatzes.

Die Direktion Gesundheit und Sicherheit hat daher seit einer Reihe von Jahren ein besonderes Augenmerk auf die Filtereinrichtungen in Lüftungsanlagen Kerntechnischer Betriebe gerichtet. Im Dezember 1973 stand so bei einem Seminar in Karlsruhe die Prüfung der Jodfilter zur Debatte, im November 1976 hatte nun in Aix-en-Provence das Interesse der Fachleute aus aller Welt den Aerosolfiltern gegolten.

Hatte bezüglich der Jodfilter die damalige Forderung nach einer besseren Harmonisierung der Prüfmethoden eine starke Resonanz bei den massgeblichen europäischen Laboratorien gefunden, so begleiten die Veranstalter die Herausgabe dieses Bandes über das Aerosolfilter-Seminar mit dem Wunsch, dass die darin gegebenen Anregungen ein ebensolches Interesse finden und sich zumindest teilweise verwirklichen lassen werden.

Dr. P. RECHT

## IV

### C O N T E N T S

	Page
PREFACE	I - III
OPENING ADDRESS	XI - XVI
Mr. André JUNCA, Director C.E.N. Cadarache	
SESSION I <u>INTRODUCTORY PAPERS</u>	
Chairman : J. Pradel, CEA, Fontenay-aux-Roses	
- The aerosol problem in nuclear installations W.J. Megaw	1
- Filtration theory R.G. Dorman	15
SESSION II <u>DESIGN AND INSTALLATION OF HEPA FILTERS</u>	
Chairman : J. Pradel, CEA, Fontenay-aux-Roses	
IIa) Regulatory requirements	
- Choix et recette des systèmes d'épuration de l'air dans les installations nucléaires A.M. Chapuis, J. Dupoux, J. Pradel	33
- Stand und Tendenzen in der deutschen Normung auf dem Gebiet der nuklearen Filtertechnik N. Fichtner, D. Sinhuber	49
- Experience with HEPA filters at United States nuclear installations R.R. Bellamy	59
IIb) Manufacturing aspects	
- Les installations de filtration "ABSOLUE" de l'air dans l'industrie nucléaire Conception - Sécurité - Expérience J.C. Lucas	71
- Methods of installing and testing absolute filters in the nuclear industry B. Hoppitt	85



## V

	Page
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verlängerung des Wartungs-Zyklus von Schwebstofffiltern durch Optimierung der filtertechnischen Kenndaten und deren konstruktive Realisierung H. Bella, D. Sinhuber, H.H. Stiehl</li> </ul>	103
<ul style="list-style-type: none"> <li>- In-situ-Prüfung von HEPA-Filtern im Filtersystem "Nuclear-Karlsruhe" M. Ohlmeyer, W. Stotz</li> </ul>	111

### SESSION III TESTING PROCEDURES

Chairman : R.G. Dorman, CDE, Wiltshire

#### IIIa) In-situ testing

<ul style="list-style-type: none"> <li>- The sodium chloride aerosol test for high efficiency air filter installations R.G. Dorman, J. Edwards. R. Poynting</li> </ul>	127
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contrôle in situ de filtres absolus par la méthode de test au DOP G. Fieuw, W. Slegers, Th. Zeevaert</li> </ul>	145
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure in situ de l'efficacité des installations filtrantes dans l'industrie nucléaire par la méthode à l'aérosol de fluorescéine sodée (uranine). Norme AFNOR NFX 44 011 A. Briand, J. Dupoux</li> </ul>	159
<ul style="list-style-type: none"> <li>- The in-situ testing of high efficiency particulate filters in the CEGB South Eastern Region nuclear power stations A.W. Powell, B.A. Wilkinson</li> </ul>	183
<ul style="list-style-type: none"> <li>- In-situ high efficiency filter testing at AEE Winfrith D.C. Fraser</li> </ul>	197
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Training and certification of personnel who perform in-place filter tests at nuclear facilities M.W. First</li> </ul>	215

#### IIIb) Rig-tests

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Prüfung von Schwebstofffiltern hoher Abscheideleistung nach DIN 24 184 G. Riediger</li> </ul>	223
--	-----

## VI

	Page
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contribution à l'amélioration de la méthode d'essais des filtres à air au chlorure de sodium J. Delhaye, J. Michel</li> </ul>	241
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mesure en laboratoire et en usine de l'efficacité des éléments filtrants et du papier filtre par la méthode à l'aérosol de fluorescéine sodée (uranine). Norme AFNOR NFX 44 011 A. Briand, J. Dupoux</li> </ul>	249
<ul style="list-style-type: none"> <li>- In-situ and laboratory testing of HEPA filters in Italy M. Mazzini</li> </ul>	263
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Filter testing by the manufacturer and in the laboratory R.G. Dorman, J. Dymont</li> </ul>	283
<p>SESSION IV    <u>EXPERIENCE WITH HEPA FILTERS IN NUCLEAR INSTALLATIONS DURING NORMAL AND ACCIDENT CONDITIONS</u></p>	
<p>Chairman : R. Boulenger -"Contrôle-Radioprotection" Brussels</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vor-Ort-Prüfung grosser Schwebstofffilteranlagen; Betriebserfahrungen und Erweiterung des Verfahrens auf Prüfungen unter simulierten LWR-Störfallbedingungen H.G. Dillmann, A. Weinert, J.G. Wilhelm</li> </ul>	307
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Essais in situ des filtres absolus à la Centrale nucléaire de Fessenheim R. Schnepf</li> </ul>	317
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Experience at KEMA with testing high efficiency aerosol filtration systems L.C. Scholten, G. van der Lugt</li> </ul>	343
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Untersuchungen über die Rückhaltung von Aerosolen in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK) H. Beaujean, V. Böhmer, G. Herrmann, H.P. Wichmann</li> </ul>	355
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exploitation du système de filtration de l'air dans l'installation de retraitement des combustibles irradiés EUREX G. Cestaro, H. Dworschak,</li> </ul>	365

## VII

	Page
- Problèmes posés par la filtration absolue dans les usines de retraitement C. Seau	383
- Neuartige Filter zum Abscheiden von Aerosolen aus dem Abgas von Wiederaufbereitungsanlagen H.J. Strauss, K. Winter	401
- Bericht eines Grossverbrauchers von Schwebstoffiltern Klasse S J. Stratmann	411
- 12 Jahre Betriebserfahrung mit Aerosolfiltern hoher Abscheideleistung im Europäischen Institut für Transurane, Karlsruhe H. Günther, G. Tscheepe	443
- Plutonium and uranium emission experience in U.S. nuclear facilities using HEPA filtration N.A. Frigerio, R.S. Stowe	457
- Aerosolfilter in Anlagen mit hohem Strahlenpegel H. Staud	473
- Some experience in HEPA filtration at DERE and AWRE H.A.S. Bristow, E. Lillyman	483
- Behandlung und Verarbeitung von kontaminierten Filtern H. Mallek	495
- Neue Überlegungen zur wirtschaftlichen Beseitigung von mit radioaktiven Aerosolen beladenen Schwebstoffiltern W. Schroth, D. Sinhuber, H.H. Stiehl	503

### SESSION V

#### RESEARCH AND DEVELOPMENT

Chairman : M.W. First, Harvard University,  
Boston

- Research and development topics in gas cleaning for fuel reprocessing plant M.N. Elliot, D.M.C. Horsley, R.M. Powell	509
---	-----

## VIII

	Page
- High efficiency filtration of liquid-metal-generated aerosols M.W. First	519
- Filtration des aérosols produits par un feu de sodium J. Colome, G. Duverger de Cuy	533
- Experiments on high efficiency aerosol filtration A. Cuccuru, P. Kunz, M. Mazzini	545
- A consideration of the changes in efficiency of absolute filters under various conditions of contaminant loading B. Hoppitt	569
- Pressure transients across HEPA filters W. Gregory, G. Reynolds, C. Ricketts, P. Smith	587
- A new electrostatic precipitator for HEPA prefilter use in the nuclear industries R.C. Clark, G.H. Fielding, J.K. Thompson	601
- Improving the cost-effectiveness of HEPA filters via dielectrophoretic prefilters R.C. Clark, G.H. Fielding, J.K. Thompson	605
- Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes elektrostatischer Abscheider in Wiederaufarbeitungsanlagen H. Barnert-Wiemer, H. Beaujean, M. Laser H. Vygen	609
- An experimental determination of the retention of submicron particles in fibrous materials J. Formby, I. Sinclair, J.I.T. Stenhouse	623
- Automatisierte Filterprüfung mit einem Partikelzähler B. Bumbovic, P. Haller, W. Ruchti, R. Steiner	633
- Automatic particle counter for testing filter penetration by low concentration DOP aerosols D. Haslop, U. Jessen, A. Lieberman	641
- HEPA-Filter testing by single optical intra-cavity laser particle counter R. Kratel	649

## IX

- Sandbettfilter als Aerosolfilter  
hoher Abscheideleistung in kern-  
technischen Anlagen 661  
L. Böhm, J. Jordan, W. Schikarski

ROUND TABLE 671

LIST OF PARTICIPANTS 705

-----



## XI

### O P E N I N G   A D D R E S S

given by Mr André JUNCA

Director of the Centre d'Etudes Nucléaires at Cadarache

The organizers of your Congress have asked me to say a few words prior to the opening session.

I truly appreciate this honour and, incidentally, being a resident of AIX-EN-PROVENCE, I feel I must say what a great pleasure it is for me to welcome you to this town.

The topic for discussion which brings you all together here today is, in my view, both important and fascinating.

Important, because without high efficiency particulate filters, work in the nuclear field would be impossible. The filter is the barrier par excellence for the protection of the environnement from radioactive contamination.

Its reliability and efficiency must, therefore, be "absolute".

The reliability and efficiency of these filters are now established thanks to the painstaking work of specialists such as yourselves.

French work in this field is significant and was launched long before controlling regulations and the pressure currently being exercised by active protest groups confirmed the necessity thereof.

It led to the formation of a major industrial regrouping and to standardization of equipments and performance.

At the CEA the Service Technique d'études et de protection is carrying out a very important research and development programme. One aspect of the work of this section was to perfect filter testing procedures both at the CEA and the EDF.

At CEN (Cadarache) of which I have the honour to be Director, several hundred high-efficiency particulate filters, and some tens of iodine traps are in service and their daily operation over the past two decades or so, which has enabled the specialists in this field to gain experience and expertise, has led us to consider these them as safe, everyday pieces of equipment.

Yet the fascinating aspect of your work is that, when you think about it, the filter is a marvellous, selective device which operates flawlessly stopping that which must not pass the barrier and passing that which is permitted.

## XII

It can take a number of different forms and is in extremely widespread use:

- firstly, the lives and health of us all depend, day in, day out, on the valid operation of these special filters - our kidneys;
- the filter can be an instrument of such precision that at one time virus groups were classified merely according to whether they were filtrable or not;
- it is such a common device that almost all cigarettes are so equipped and, for my part, I am astonished that the filters concerned are so poorly selected that mere smoke manages to penetrate them.

Much remains to be learned, much to be discovered, let alone in this world of 'absolute' filters, which surprises one by its somewhat simplistic appearance. Its secrets are certainly far from exhausted and I can well imagine that its mysteries fascinate you.

My wishes for this seminar are, therefore, that it should run smoothly and productively. I hope that when the sessions are over you will be able to taste the charm of the AIX countryside, see the light scattered by Mount SAINTE-VICTOIRE, so dear to CEZANNE, and marvel at the splendour of a star-speckled Provence sky through air which is perfectly clear, even if unfiltered.



## XIII

### ALLOCATION D'OUVERTURE

prononcée par M. André JUNCA

Directeur du Centre d'Etudes Nucléaires de Cadarache

Les organisateurs de votre Congrès m'ont demandé de prononcer quelques mots avant que s'ouvre la première séance.

Sachez que je mesure à sa valeur l'honneur qui m'est fait. Par ailleurs habitant AIX-EN-PROVENCE, je dois vous dire tout le plaisir que j'ai à vous souhaiter la bienvenue en cette ville.

Le sujet de discussion qui vous réunit ici, aujourd'hui, me semble important et passionnant.

Il est important, car, sans filtre à haute efficacité, il ne saurait y avoir de travail possible dans le domaine nucléaire. Le filtre est la barrière par excellence qui protège l'environnement de toute contamination radioactive.

Sa fiabilité et son efficacité doivent donc être absolues.

Cette fiabilité et cette efficacité sont une réalité avérée, grâce au travail patient des spécialistes dont vous faites partie.

L'effort français, en ce domaine, est important et a pris naissance bien longtemps avant que les contraintes réglementaires et les pressions actuelles des contestataires inquiets n'en confirment la nécessité.

Il a abouti à un important regroupement industriel, à une standardisation et à une normalisation du matériel.

Au C.E.A., le Service Technique d'études et de protection poursuit un très important programme de recherche et développement. Ce service a, entre autres travaux, la mise au point des méthodes de contrôle des circuits de filtration tant au C.E.A. qu'à l'E.D.F.

Au CEN/CADARACHE, que j'ai l'honneur de diriger, plusieurs centaines de filtres à haute efficacité, plusieurs dizaines de pièges à iode, sont en service et leur utilisation quotidienne depuis bientôt vingt ans, qui a conféré expérience et compétence aux spécialistes qui s'en occupent, nous les fait considérer comme des objets sûrs et familiers.

Pourtant, et c'est en cela que votre travail est passionnant, si l'on y réfléchit, le filtre est un objet merveilleux qui trie, sans se tromper, arrêtant ce qui ne doit pas franchir la barrière, laissant passer ce dont on autorise le transit.

## XIV

C'est un objet polymorphe et extraordinairement répandu :

- d'abord notre vie et notre santé à tous, dépendent en permanence de la bonne tenue de ces filtres particuliers que sont les reins ;
- ce peut être un objet si précis qu'en un temps on a défini des catégories de virus par le simple fait qu'ils n'étaient pas filtrables ;
- il est si commun que presque toutes les cigarettes en sont munies et je m'étonne, quant à moi, qu'ils soient si mal choisis que de la simple fumée arrive à les traverser.

Mais il reste beaucoup à connaître et beaucoup à découvrir, sans parler de cet univers étonnant par son aspect quelque peu manichéen des filtres "absolus" ! Il est certainement loin d'avoir livré tous ses secrets et je conçois que ses mystères vous passionnent.

Je souhaite, par conséquent, à ce séminaire, un déroulement harmonieux et fécond, et j'espère, qu'après les séances, vous pourrez goûter les charmes du pays d'AIX, le poudroisement de la lumière sur la montagne SAINTE-VICTOIRE chère à CEZANNE et la splendeur, à travers un air parfaitement pur, sans qu'on l'ait filtré, d'un firmament provençal empoussiéré d'étoiles.

ERÖFFNUNGSANSPRACHE

von Herrn André JUNCA

Direktor des Centre d'Etudes Nucléaires von Cadarache

Die Veranstalter Ihres Kongresses haben mich gebeten, vor der Eröffnung der ersten Sitzung einige Worte an Sie zu richten.

Ich bin mir der mir zuteil gewordenen Ehre bewusst. Da ich im übrigen in AIX-EN-PROVENCE wohne, freue ich mich ganz besonders, Sie in dieser Stadt willkommen zu heissen.

Das Thema, über das Sie heute auf dieser Tagung diskutieren, erscheint mir als wichtig und fesselnd zugleich.

Wichtig, weil ohne Hochleistungsfilter ein Arbeiten im kerntechnischen Bereich nicht möglich wäre. Das Filter ist die wesentliche Barriere zum Schutz der Umwelt gegen jegliche radioaktive Verseuchung.

Filter müssen daher eine hohe Zuverlässigkeit und Abscheideleistung besitzen.

Dank der unermüdlichen Arbeit von Fachleuten wie Ihnen sind diese Forderungen bezüglich Zuverlässigkeit und Abscheideleistung Tatsache geworden.

In Frankreich hat man schon lange bevor dies durch gesetzliche Auflagen und den Druck besorgter Atomgegner notwendig geworden wäre, grosse Anstrengungen auf diesem Gebiet unternommen.

Dies führte zu einer erheblichen Umstellung in der Industrie, zu einer Standardisierung und Normung der Anlagen.

Im CEA (Atomenergiekommissariat) führt der "Service Technique d'études et de protection" (Abteilung für technische Studien und Strahlenschutz) ein äusserst umfangreiches Forschungs- und Entwicklungsprogramm durch. Diese Abteilung hat u.a. Kontrollverfahren für Filteranlagen sowohl für das CEA als auch für die EDF (Electricité de France) entwickelt.

Im Kernforschungszentrum Cadarache, dessen Direktor ich bin, sind mehrere hundert Hochleistungsfilter sowie mehrere dutzend Jodfallen in Betrieb; da diese Situation seit nahezu 20 Jahren besteht - was den damit befassten Spezialisten Erfahrung und Fachwissen einbrachte - sehen wir die Filter als eine sichere und vertraute Sache an.

Denkt man jedoch darüber nach so entdeckt man - und das macht Ihre Arbeit so fesselnd -, dass das Filter eigentlich ein wunderbares Ding ist, das aussortiert, ohne sich je zu irren, zurückhält, was nicht durchdringen darf, und durchlässt, was durchgelassen werden darf.

Es handelt sich hier um ein vielgestaltiges und ausserordentlich weit verbreitetes Problem:

- zunächst einmal hängt unser Leben und unser aller Gesundheit ständig vom guten Zustand ganz besonderer Filter, nämlich den Nieren, ab.
- Filter können eine so hohe Präzision besitzen, dass man einst die Virenarten einfach dadurch definiert hatte, dass sie nicht filtrierbar waren.
- Filter sind so weit verbreitet, dass fast alle Zigaretten damit versehen sind, und ich jedenfalls wundere mich darüber, dass sie so schlecht gewählt sind, dass sie sogar den gewöhnlichen Rauch durchlassen.

Doch vieles bleibt noch zu erforschen und zu entdecken, ganz zu schweigen von dem Bereich der Absolutfilter, der durch seinen etwas manichäischen Aspekt erstaunlich ist. Hier wurden gewiss noch längst nicht alle Geheimnisse aufgedeckt. Ich kann mir gut vorstellen, dass es hier noch Mysterien gibt, die Sie faszinieren.

Ich wünsche nun dem Seminar einen harmonischen und erfolgreichen Verlauf, und ich hoffe, dass Sie nach den Sitzungen den Zauber der Landschaft um AIX, die Brechung des Lichts auf dem von CEZANNE so geliebten Berg SAINTE-VICTOIRE und den durch eine vollkommen klare, ungefilterte Luft schimmernden Glanz eines mit Sternen übersäten provenzalischen Himmels geniessen können.

## THE AEROSOL PROBLEM IN NUCLEAR INSTALLATIONS

W. J. Megaw  
York University

Downsview, Ontario - CANADA

SUMMARY. Most accident conditions and many of the normal operations of nuclear installations result in aerosol problems either within or outside the confines of operational units. However self evident this may appear nowadays, its acceptance, except among aerosol scientists, was a gradual process extending over a number of years.

In this paper a rapid survey of aerosol problems which have arisen in Europe and North America is given and an attempt made to draw general principles from it. The changes which may occur in the nature of the aerosol after its formation are described and the implications of these changes on the design and operation of gas cleaning equipment discussed.

KURZFASSUNG. DAS AEROSOLPROBLEM IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN. Bei den meisten Störfallbedingungen und bei einer Vielzahl normaler Betriebsabläufe in kerntechnischen Anlagen ergeben sich entweder innerhalb oder ausserhalb der Abschirmungen von Betriebseinheiten Aerosolprobleme. Wie selbstverständlich dies auch heute erscheinen mag, so setzte sich diese Erkenntnis ausser bei Wissenschaftlern, die sich mit Aerosolproblemen befassen, nur allmählich über einen Zeitraum von mehreren Jahren durch.

Diese Abhandlung enthält eine kurze Uebersicht über Aerosolprobleme in Europa und Nordamerika sowie einen Versuch, daraus allgemeine Grundsätze abzuleiten. Die Aenderungen, die in der Zusammensetzung des Aerosols nach seiner Bildung entstehen können, werden beschrieben und es werden die Auswirkungen sowie Folgen dieser Veränderungen auf die Auslegung und Arbeitsweise von Gasreinigungsgeräten erörtert.

RESUME. LE PROBLEME DES AEROSOLS DANS LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES. La plupart des conditions d'accident et beaucoup de conditions de fonctionnement normal des installations nucléaires soulèvent des problèmes d'aérosols soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des unités opérationnelles. Aussi évident que cela puisse paraître aujourd'hui, il a fallu plusieurs années, sauf pour les spécialistes des aérosols, pour que cette idée soit progressivement acceptée.

Après une brève revue des problèmes d'aérosols rencontrés en Europe et en Amérique du Nord, on tente ici d'en dégager des principes généraux. On considère les modifications possibles de la nature de l'aérosol ultérieures à sa formation et l'on discute des conséquences de celles-ci sur la conception et le fonctionnement des équipements d'épuration des gaz.

## Introduction

It would undoubtedly be an exaggeration to say that every normal and abnormal operation of a nuclear installation resulted in an aerosol problem, but it is nevertheless so near the truth as to be almost acceptable. However it took a very long time for this fact to be realised by the people responsible for designing and operating nuclear installations. My first contact with this type of problem was in 1951 and, although that is a long time ago, my experience is in some ways so typical that it is worth recounting in some detail. My first task as a scientist was to develop new exhaust filters for the stacks of the gas cooled reactors at Windscale. These, as some of you may remember, were open circuit, air cooled, graphite moderated, natural uranium reactors. The first thing one noticed about these reactors was a strange structure at the top of the stacks, 130 metres above the ground. This was a filter gallery in which the entire coolant air was filtered before being released to the atmosphere. In a recent book, Patterson (1) says 'The filters were known as Cockcroft's Folly; Sir John Cockcroft had insisted that they be installed, after the stack had been built, as a precautionary measure - to the derision of some of his colleagues.' In a review of this book (2), Lord Hinton of Bankside says 'I have never heard the filters on the Windscale piles referred to as 'Cockcroft's folly.' The stacks had not been built when information from America made it clear that filters were a necessary precaution.' Be that as it may, it does seem rather odd to put a massive filter gallery some 20 metres square at the very top of the stack, especially as, to obtain access to it, an elevator shaft had to be tacked on to the outside of the stack. Because the filter area was limited in size to the size of the stack meant that the air to be filtered had a velocity which was quite enormous compared to that common in good filtration practice. The material was specified by the late Mr. D.J. Thomas of Porton as having a cut off at a particle diameter of 10 microns; the manufacturers of the material had made enough material for a complete set of filters and a spare set for each reactor. The method of cleaning the filters was to push in a new filter unit, by means of a hydraulic ram at one side of the gallery and push out a dirty filter at the far end where it fell under water, was removed by a mechanical grab and hosed through with water to clean it. Human nature being what it is, the reactor operators were very reluctant ever to use the spare set of filters and the set in use became more and more worn, so that there was an urgent need to develop new filters, the original material being no longer available. It seemed a reasonable idea to begin by testing an unused filter

of the old type, and, somewhat to our surprise, it was discovered that, far from having one hundred per cent efficiency down to a particle diameter of ten microns at the stack air velocity, the filter efficiency curve was similar to that in Figure 1. After a series of experiments in a wind tunnel it was found that while at reasonable air velocities of around 100 feet per minute, the filter material performed rather better than specified, as the air flow increased the performance fell off rapidly and we came to the conclusion, rightly or wrongly, that this was due to blow off of impacted particles. It therefore seemed sensible to use a somewhat simpler fibre glass mat and to coat the fibres with an adhesive which, it was hoped, would retain the particles even in the high airflow in the stack. This was done, using silicone oil as an adhesive; the filters then gave a reasonable performance and remained in the reactors until they were eventually closed down after the Windscale incident in 1957; after this incident it was estimated that the stack filters had retained more than 90 per cent of the released particles and about 50 per cent of the emitted iodine 131, which was a duty which had never been envisaged for them. Several lessons were learned from this experience; the first of these is that it is always essential to consider gas cleaning aspects of a design very early in the process rather than as a last minute stop gap. The second lesson is that, however well it is managed, and even if it is done in the best possible way, gas cleaning is invariably expensive. During this filter development programme the reactor operators were always extremely anxious to think of a reason for removing the filters altogether from the stacks because, by their very presence, the filters, which had a nominal maximum working pressure drop of 5 inches water gauge, cut down the power at which the reactor could be operated with the available pumping capacity. The Windscale reactors were primarily plutonium producers and plutonium had an enormous cash value, so that the very presence of the filters in the stack represented a very large sum of money annually in lost plutonium production. I am not suggesting that the attitude of the operators was in the slightest degree improper for I believe that it is the duty of an operator to endeavour to achieve economic operation of his facility, just as it is the duty of the health physicist to ensure that all operations are safe. It is only by a free discussion between them that the ideal economic safe practice can be achieved.

In an earlier accident in Canada to the NRX reactor in 1952, some fission products were also released to the atmosphere although nowhere on the scale of Windscale. I mention it only because it indicates that the

indecision about filters in reactor design was not confined to the United Kingdom. In a report (3) on this accident, Hurst states 'installation of filters in the outlet air duct had been scheduled for the day after the accident.' In another accident to the Canadian NRU reactor in May 1958 which resulted in a removed damaged fuel element catching fire on the reactor top, Greenwood (4) said 'When the uranium burned around 10 pm, the main exhaust fan in the roof of the reactor hall was exhausting contaminated air directly to the outside atmosphere.'

#### Aerosol problems during normal operation of reactors

All reactors have some type of burst cartridge detection equipment and in gas cooled reactors this is very often a system in which the gas containing fission products from a burst is filtered and the gaseous fission products penetrating the filter allowed to decay to solid daughters before being captured on the moving wire electrode of an electrostatic precipitator which is continually monitored for radioactivity. In one incident in a gas cooled reactor a very fine aerosol of fissile material, to which I will refer later on, penetrated the inlet filters and passed through the reactor. Some of the aerosol was deposited in the reactor, was exposed to the neutron flux and underwent fission. The first indication that anything abnormal was happening was a high reading on the burst cartridge detection equipment, common to all fuel channels, first of all on one reactor and shortly afterwards on its neighbour a few hundred metres away. This high activity persisted. After the cause of the incident had been established, it was of some interest to determine whether the fissile aerosol had deposited mainly on the fuel cans, in which case the high background on the burst cartridge detection gear would disappear with a change of fuel, or whether it had deposited on the graphite channel wall when the high background would remain for a very long time. Some wind tunnel experiments in a mock reactor channel showed that when the dummy fuel elements were cold, total deposition was about equal on the fuel elements and on the channel walls, but when the fuel elements were brought up to operating temperature, by far the greater part of the deposition was on the channel walls. It was established that this effect was due to thermophoresis in which the particles moved down the temperature gradient between the fuel element cans and the channel walls, and were preferentially deposited on the relatively cold channel walls. The result, of course, was that the background on the burst cartridge detection gear remained high for a very long time.



Another interesting aerosol problem occurred in the prototype British Advanced Gas Cooled Reactor, where, for a time, there were inexplicable high readings on the burst cartridge detection gear, which were not in any way connected with faulty fuel element cans. After some time it was discovered that these coincided with the switching in or out of circuit of a particular humidrier. Measurements on the reactor gas coolant stream showed that coincident with the switching of this particular humidrier, large concentrations of sub-micron particles could be detected in the reactor coolant, and it was these particles, after being irradiated and passing through a faulty burst cartridge detection gear filter, which were producing the high signal. The problem disappeared with the replacement of the humidrier and the faulty filter. These measurements were carried out quite quickly and conveniently by running out some of the reactor coolant (at 200 psi and 300°C) through a pressure reducing valve into a small tetron and thence into a Nolan Pollak counter (5). This instrument, invented by Professor P.J. Nolan and his brother the late Professor J.J. Nolan at University College, Dublin and further developed by the late Professor L.W. Pollak at the Dublin Institute for Advanced Studies (6), is undoubtedly the most satisfactory instrument I have handled in 25 years and I believe that no nuclear installation should be without one. A more portable and almost equally satisfactory instrument is that developed by T.A. Rich at G.E. Schenectady (7). These instruments are in marked contrast to many commercially available and expensive instruments for determining particle concentrations which often do not begin to live up to the claims of the manufacturers.

It is a feature of gas cooled reactors that the optimum conditions for heat transfer from the fuel element cans to the cooling cans, a function of can configuration, also optimise the deposition on the can surface of aerosols which happen to be present in the coolant gas stream. Great pains are therefore taken to ensure that the coolant gas is particle free and also that the production of corrosion product aerosol within the reactor itself is kept to a minimum. An interesting and somewhat intractible problem which arose in the prototype Advanced Gas Cooled Reactor was that radiolytic decomposition of some of the carbon dioxide coolant occurred, producing an aerosol of carbon suboxide  $C_3O_2$  and a proportion of this deposited on the can surfaces and, if it had been allowed to accumulate, would have seriously interrupted heat transfer in effect by insulating the fuel element cans from the coolant gas. The deposition pattern itself was of interest and is shown

in Figure 2. The main deposit occurred immediately downstream of each fin and, in a way, was exactly analogous to the working of a snow fence which sometimes surprises one in that the fence has the effect of causing deposition of snow downwind of itself by causing increased turbulence in the air passing through it and therefore increasing deposition. This is, of course, exactly the function of the fin on the fuel element cans which causes turbulent eddies which promote the transfer of heat from the can to the coolant gas. I believe that this problem was eventually solved by an alteration in the composition of the coolant gas which displaced the equilibrium of the reaction and also by the fitting of particle trapping devices at the end of each fuel element channel, and I mention it only to indicate how all-pervasive aerosol problems can be in a nuclear installation.

#### The attachment of radioactive species to other particles

Many radioactive vapours occurring in nuclear installations have very high specific activity, in other words they contain a great many curies in a very small mass of material and, because of this, their behaviour can be considerably modified by their becoming attached to particulate or droplet aerosols in the environment or by chemical reaction in a way which would not be so apparent with a greater mass of material. This was noticeable on a large scale, perhaps for the first time, in the Windscale incident of 1957, when the deposition behaviour of the radioactive iodine 131 released changed considerably with increasing distance from the reactor. Close to the reactor the velocity of deposition of the iodine approximated to that which had been measured (1 or 2 cm sec<sup>-1</sup>) in field experiments with molecular iodine vapour but, as the distance from the reactor increased, the velocity of deposition of the iodine decreased progressively. Subsequent experiments, in which iodine 132 was released in a reactor shell with various amounts of non radioactive iodine 127 carrier at Harwell, showed that this behaviour could be explained by part of the iodine becoming attached to the atmospheric aerosol and part of it being modified chemically by reaction with trace substances such as resulted in the formation of methyl iodide. Such changes require corresponding alterations in methods for removing the contaminant from gas streams, for example elemental iodine vapour is comparatively easy to remove, iodine attached to particulate considerably more difficult and the compounds such as methyl iodide even more so. The behaviour of the iodine released in a reactor shell is shown in Figure 3. One can see how the concentration of molecular iodine vapour fell off rather rapidly, partly by deposition on the surfaces of the reactor shell, partly

by attachment to aerosols and partly by a slow conversion to iodine compounds. Once attached to the particles the behaviour of the iodine is, of course, controlled by the behaviour of the particles. An interesting feature is that several hours after the release of the iodine, when the results were getting quite dull and predictable, a relatively massive release of 100 mg of iodine 127 was made and this had a spectacular effect, in that the concentration of radioactive iodine vapour, which had fallen almost to an insignificant level, suddenly rose almost to the concentration measured immediately after the original release of the iodine 132. This can only have been caused by the exchange of the iodine 127 with the iodine 132 already deposited on the reactor shell surfaces. This suggests a rather effective way of decontaminating surfaces with attached radioactive iodine by displacing it into the air again and passing it through some sort of copper trap in the conventional method. Such a method might have considerably simplified the decontamination of the reactor vessel in one of the Canadian accidents mentioned earlier, where, because of the high radiation levels, personnel had to be used in rotation to scrub down the walls and, eventually, volunteers from the Armed Services had to be employed.

I would like to refer briefly to the physics of adsorption on particles as opposed to chemisorption. The particles of an aerosol are continually subjected to bombardment by the molecules of the many species which are present in the atmosphere. The number of molecules of a particular species striking each square centimetre of particle surface per second can readily be calculated from the kinetic theory of gases, given the concentration of the species in the atmosphere and the concentration and size of the particles. However, the quantity of the adsorbed species on the particle is not only dependent on these concentrations, but on the time for which the average molecule stays on the surface of the particle. When the molecule arrives at the particle surface it gives up a quantity of energy, its heat of adsorption, on being brought from the gaseous to the adsorbed state. Before it can leave the particle, it has to acquire this quantity of energy from somewhere. Therefore, the greater the heat of adsorption, the longer the time a particular molecule will remain on the surface, and I refer to this time as the time of adsorption. The adsorption energy, in the case of physical adsorption, is lower than the energy involved in the process of chemisorption. In physical adsorption the binding is caused by Van der Waal's forces and is, in general, of the order of magnitude of some kilocalories per mole, say up to twenty kilocalories per mole.

TABLE I  
Heats and times of adsorption (After de Boer (8))

<u>Heat of adsorption</u>	<u>Time of adsorption</u>
100 cal/mole	$1.2 \times 10^{-13}$ sec
1.5 kcal/mole	$1.3 \times 10^{-12}$ sec
3.5 kcal/mole	$4.0 \times 10^{-11}$ sec
4.0 kcal/mole	$1.0 \times 10^{-10}$ sec
10 kcal/mole	$3.2 \times 10^{-6}$ sec
15 kcal/mole	$1.8 \times 10^{-2}$ sec
20 kcal/mole	$1 \times 10^2$ sec
25 kcal/mole	$6 \times 10^5$ sec (about a week)
30 kcal/mole	$4 \times 10^9$ sec (more than a century)
40 kcal/mole	$1 \times 10^{17}$ sec
147 kcal/mole	about $10^{1100}$ sec (about $10^{1090}$ centuries)

In chemisorption processes the energies involved may be far higher, as, for instance, for the adsorption of oxygen atoms at a tungsten surface, where the energy of adsorption is 147 kilocalories per mole. It is worth looking at the relative magnitudes of the time of adsorption for various heats of adsorption as given in Table I, where we see that for a heat of adsorption of 4 kilocalories per mole the time of adsorption of the average molecule is  $10^{-10}$  secs, whereas when we increase to 15 kilocalories per mole, the time of adsorption increases very rapidly to  $1.8 \times 10^{-2}$  secs and for 25 kilocalories per mole the time of adsorption is about a week and for 30 kilocalories per mole, more than a century. At 147 kilocalories per mole, that for oxygen on tungsten, it really makes very little difference to the figures whether they are expressed in seconds or in years! For the physical adsorption of iodine on particles the heat of adsorption is around 10 kilocalories per mole, which is about the same as for water and it is not surprising, therefore, that if iodine attached to an aerosol is caught on a filter, and subsequently large volumes of air are passed through the filter, a lot of the iodine will desorb, in exactly the same way as if we passed large volumes of air through a filter which had caught a lot of droplets we might reasonably expect the droplets to evaporate. We ought also to consider this effect when we are looking at the importance of determining particle size distributions which is an activity with which I think we aerosol physicists are often too obsessed. We should only be concerned with the particle size distribution as an aid to determining the behaviour of the aerosol and too often we measure it in conditions which are quite divorced

from reality. In general, water will not condense on an insoluble particle unless there is some degree of supersaturation present. On the other hand, a soluble particle will start growing into a droplet at about 75% relative humidity as is shown in Figure 4. Growth of such soluble particles into droplets can be quite rapid as shown in Table II and will undoubtedly have an effect on deposition sites in the human respiratory system.

TABLE II

Rates of growth of droplets on soluble and insoluble particles

An initial particle radius of 0.22 microns is assumed. The hygroscopic particle will grow very rapidly into a droplet of radius 0.4 microns at relative humidities above 75%. The insoluble wetttable particle will not begin to grow into a droplet until there is some degree of supersaturation. Growth times to a given radius are given in seconds for three supersaturations. For an initial radius of 0.22 microns the insoluble particle will not begin to grow into a droplet until the supersaturation exceeds 0.28%. (After Jiusto (9)).

Radius micron	<u>Droplet growth time in seconds</u>					
	supersaturation 0.01% <u>hygroscopic</u>	insoluble	supersaturation 0.1% <u>hygroscopic</u>	insoluble	supersaturation 1% <u>hygroscopic</u>	insoluble
0.4	0.00	---	0.00	---	0.00	---
0.5	0.00	---	0.00	---	0.00	0.05
0.68	0.01	---	0.01	---	0.01	0.12
0.80	0.04	---	0.04	---	0.03	0.24
1.00	0.12	---	0.11	---	0.08	0.41
1.26	0.39	---	0.36	---	0.21	0.68
1.59	1.29	---	1.10	---	0.48	1.09
2.00	4.43	---	3.21	---	0.98	1.74
2.52	15.95	---	8.66	---	1.87	2.75
3.18	63.56	---	20.91	---	3.35	4.33

The alteration of the characteristics of an aerosol with changes of humidity in the environment can have far reaching effects. On one occasion a small quantity of uranium 235 as hexafluoride was inadvertently released to atmosphere. Had this remained in the gaseous state, probably no external effects would have been detected. However, on exposure to moist air, uranium hexafluoride hydrolyses forming uranyl fluoride,  $UO_2F_2$ , and on this occasion the humidity was such that an aerosol of droplets about one micron in diameter was formed. These were carried downwind and a proportion penetrated the inlet filters of nearby reactors (which were designed to remove

particles greater than 5 microns diameter), deposited on channel walls, and, after undergoing fission, gave rise to a greatly increased background on the reactors' detection systems. The solubility of aerosol particles can, therefore, have important effects which are often overlooked.

### Conclusion

This has necessarily been a short and selective account of aerosol problems in nuclear installations in which I have tried to restrict myself, as far as possible, to situations of which I have direct experience. The lessons to be learned are many: first of all, gas cleaning aspects must be considered early in design, second that gas cleaning is invariably expensive even when done by the most suitable method and, therefore, we should not clean any more gas than is necessary. This is so obvious that it should not need to be said but there have been many occasions in the past where large volumes of relatively clean gas have been mixed with small volumes of dirty gas before cleaning. We must also make sure that we are dealing with the real life situation and not the idealised situation in the laboratory, and last of all, however experienced one is, one's next aerosol problem will inevitably come as a surprise.

### References

1. Patterson, Walter C., Nuclear Power, Penguin Books Ltd., Harmondsworth, England, 1976.
2. Lord Hinton of Bankside, Nature, London, 262, July 15, 1976.
3. Hurst, D.G., The accident to the NRX Reactor on December 12, 1952, AECL 233, 1953.
4. Greenwood, J.W., Contamination of the NRU Reactor in May, 1958, AECL 850, 1959.
5. Nolan, J.J., Nolan, P.J. and Gormley, P.G., Diffusion and fall of atmospheric condensation nuclei, Proc. Roy.Irish Acad., 45A4, 47-63, 1938.
6. Metnieks, A.L. and Pollak, L.W. Instructions for the use of Photoelectric condensation nucleus counters...Geophysical Bulletin No. 16, Institute for Advanced Studies, Dublin, 1961.
7. Rich, T.A., A photoelectric nucleus counter with size discrimination Geofis pura appl. 31, 60, 1955.
8. de Boer, J.H., The dynamical character of adsorption, Oxford, Clarendon Press, 1953.
9. Jiusto, J.E., Nucleation factors in the development of clouds. PhD thesis, The Pennsylvania State University, 1967.

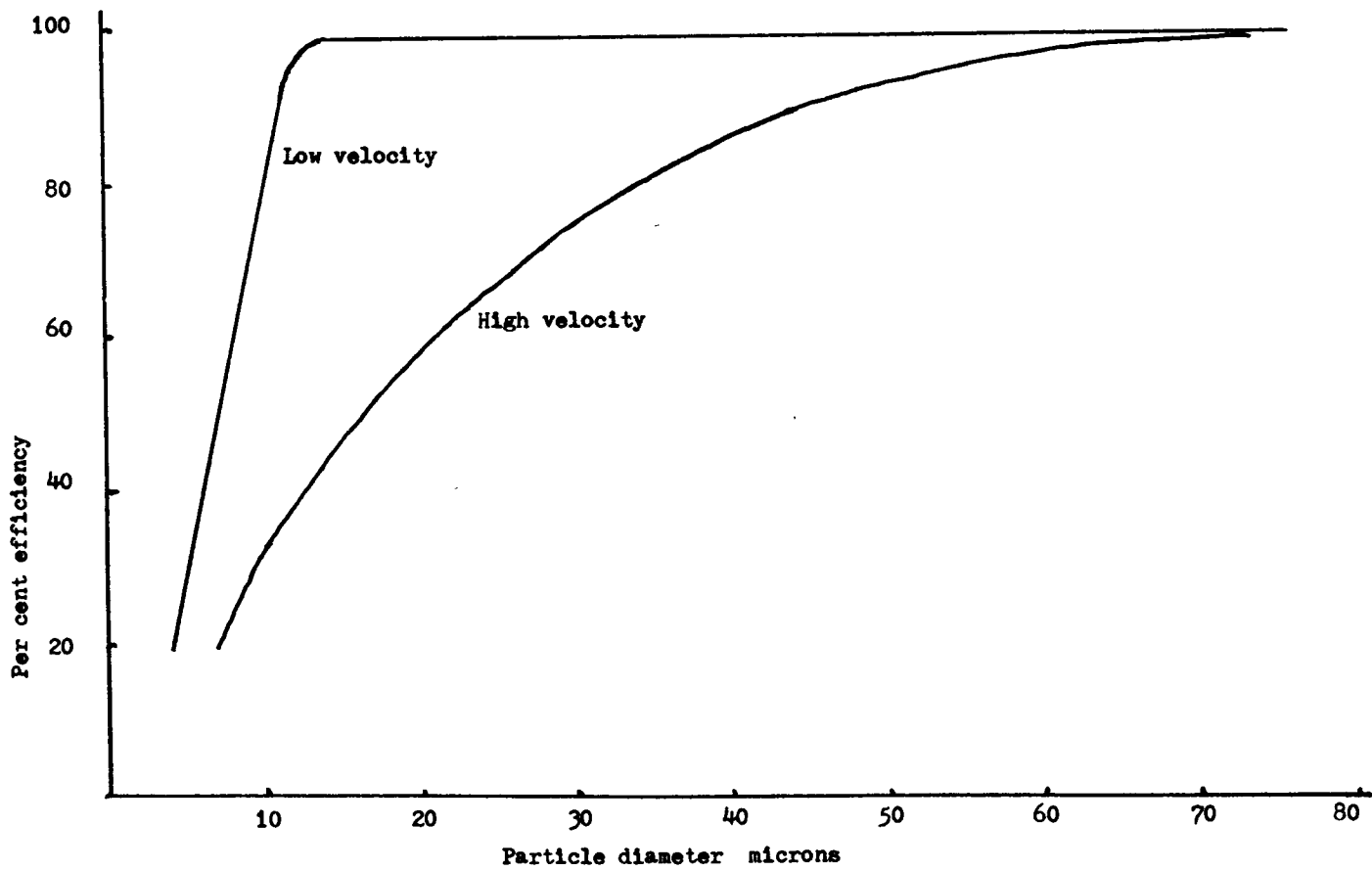


Figure 1 Comparison of filter performance at high and low air velocities

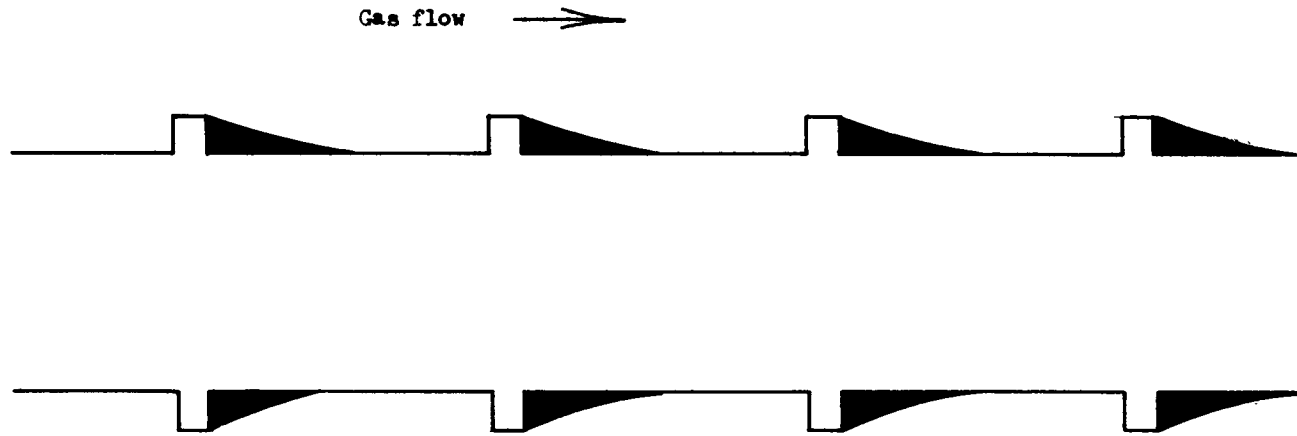


Figure 2 Deposition pattern downstream of cooling fins



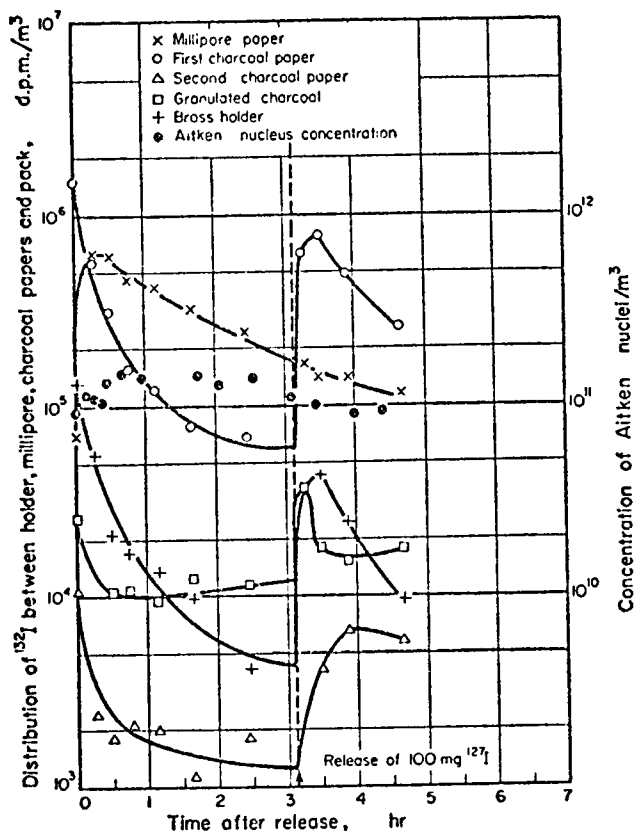


Figure 3 Behaviour of iodine released in reactor shell. A release of 22.9 mc iodine 132 in 0.95 mg iodine 127 was made as molecular iodine vapour at zero time. The iodine on the Millipore paper can be considered as particulate, that on the first charcoal paper can be considered as elemental iodine vapour, and on the second charcoal paper and granulated charcoal as iodine compounds of varying degrees of difficulty of removal

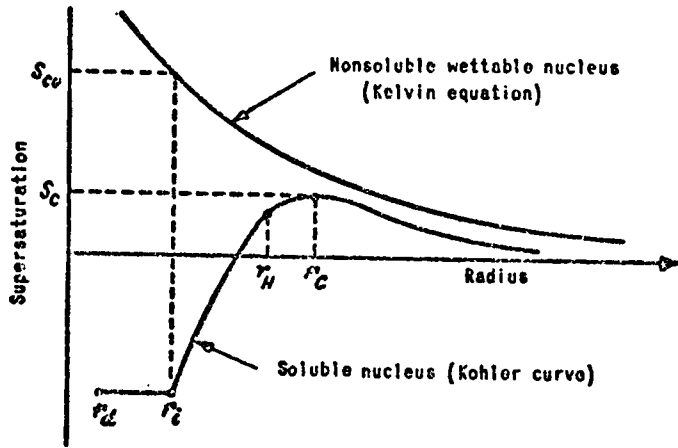


Figure 4 Critical supersaturation-nucleus size relations

## FILTRATION THEORY

R. G. Dorman

Chemical Defence Establishment  
Wiltshire - UNITED KINGDOM

SUMMARY. The theory of filtration with reference to HEPA filters is given, together with the implications for design and testing. The effects of temperature, electric charges on particles and faults such as pinholes in the filter medium are discussed, and some experimental results are quoted.

KURZFASSUNG. FILTERUNGSTHEORIE. Die Theorie der Filterung im Zusammenhang mit HEPA-Filtern und die entsprechenden Folgerungen für Konstruktion und Prüfverfahren werden dargelegt. Die Auswirkungen von Temperaturen und elektrischen Aufladungen der Teilchen und von Mängeln, wie feinen Löchern im Filtermaterial, werden behandelt und einige Versuchsergebnisse aufgeführt.

RESUME. THEORIE DE LA FILTRATION. L'exposé présente la théorie de la filtration avec référence aux filtres HEPA, ainsi que les implications sur le plan de la conception et du contrôle. Il discute des effets de la température, des charges électriques, des particules et des défauts tels que des micro-trous dans le matériau filtrant et cite quelques résultats expérimentaux.

## INTRODUCTION

This paper is concerned with the filtration of small particles ( $< 1\mu\text{m}$ ) by HEPA filters composed of fine fibres, many of which are themselves less than  $1\mu\text{m}$  diameter. The velocity of the gas through such filters is generally a few centimetres per second and the pressure drop is 20-50 mm wg (200-500 Pascals). The theories of filtration are based upon equations of viscous flow around a system of parallel, randomly placed cylinders of circular cross-section at low packing density, or around isolated cylinders lying transverse to the flow. It is assumed that particles adhere on touching a fibre and that changes in the filter due to particle deposition do not alter the efficiency. In the real filter, fibres are not necessarily of circular cross-section, they are not all of the same diameter and do not all lie transverse to the flow. They touch each other, there is considerable hydrodynamic interference between adjacent fibres and the spherical particle assumed in the theories is rarely encountered. Deposition of particles alters the porosity and efficiency of the filter while charges on fibres and particles are modifying factors.

As the drag force on a cylinder depends on its diameter equations have been devised to determine a mean fibre diameter from pressure drop measurements on real filters. These equations are of limited use as they include empirical correction factors and there is, additionally, no guarantee that an average fibre diameter is valid for all - or indeed any one - of the various capture mechanisms. Theories of particle capture, although they may be quantitatively correct in an idealized filter, are therefore unlikely to be so in practice. Nevertheless, theory is of use in our understanding of the filtration process and, together with experiments, in showing how efficiency varies with relatively small changes in filter or particle characteristics.

## THE MECHANISMS OF FILTRATION

In the viscous flow conditions which obtain in HEPA filters the major mechanisms are considered to be diffusion, interception and inertia. Electric charges on fibres and particles may play a significant, although generally secondary role. Gravitational settling of particles is usually taken to be unimportant, although in experiments Thomas et al (1) concluded that settling could not be neglected even when particles were as small as  $0.5\mu\text{m}$  diameter.

Flowlines around a cylinder are given in Fig 1 which illustrates the three main methods of capture. A massive particle approaching the fibre deviates from the flowline because of its inertia - the deviation being greater the more massive the particle and the higher the velocity. The particle centre need only approach to a distance  $r_p$  from the fibre for interception capture to take place. This is obviously more important for larger particles and does not depend on velocity, except in so far as the flowlines are altered with changes in flow rate. Small particles are subject to molecular bombardment and diffuse across the flowlines, increasing the likelihood of capture. The smaller the particle size and the lower the gas velocity the greater is the importance of diffusion.

#### PRESSURE DROP IN FIBROUS FILTERS

The pressure drop across a filter is of great importance; it is, for example, possible to make a filter of very high efficiency but of too high a resistance for it to be of practical use. A most important relationship in filter design, giving a measure of filter quality is:

$$\phi^* = \frac{-100 \log f}{p} \quad (1)$$

where  $\phi^*$  is a measure of quality

$f$  is the fraction of particles penetrating by mass

$p$  is the pressure drop.

The air velocity and particle size distribution must be kept constant in any one series of comparison tests.

A number of equations for pressure drop have been suggested, largely with the object of using data as a means of estimating a mean fibre diameter in filters. As already mentioned they are of limited use and there is generally poor quantitative agreement between them. Chen (2) has summarized some of these equations, concluding that his own and that of Langmuir (3) show the closest correlation.

Langmuir's equation is

$$p = 16Bn\beta\phi Qb/Ad_f^2 \quad (2)$$

where  $\eta$  = viscosity  
 $\beta$  = packing density (= 1 - porosity)  
 $Q$  = volume flow  
 $b$  = filter thickness  
 $A$  = cross-sectional area  
 $d_f$  = fibre diameter  
 $B$  = a factor lying between 0.5 and 1.5 depending upon the  
distribution of fibres in the filter

and

$$\phi = (-\ln\beta + 2\beta - \beta^2/2 - 3/2)^{-1}$$

The equation has been found to hold for a pad of synthetic fibres of circular cross-section 10  $\mu\text{m}$  diameter, carefully combed to lie approximately transverse to flow, but for filters of glass fibres at very low packing density ( $<0.03$ )  $p$  was found to be proportional to  $\beta^{1.4}$  and not directly to  $\beta$  as Langmuir predicts.

The only other equation which will be mentioned is that of Fuchs and Stechkina (4) who, using Happel's (5) equation for flow in a system of cylinders (see equation 17), obtained the expression:

$$p = \frac{16\beta\eta b v_o}{d_f^2 (-\frac{1}{2} \ln\beta - 0.5)} \quad (3)$$

Fuchs and Stechkina consider that experimental values are smaller than those given by theory because (a) all fibres in a real filter are not perpendicular to flow (b) filters are not homogeneous in construction and (c) there are errors in estimation of  $\beta$ .

#### COLLECTION EFFICIENCY

Although in practice with HEPA filters it is usual to measure the percentage by mass of particles penetrating a filter it is better, theoretically, to consider the collection efficiency, defined in the case of a single fibre as the ratio of volume filtered to that passing an area equivalent to the fibre projection. Thus, if an isolated fibre of diameter  $d_f$  removes particles from a layer  $2y$  upstream of the fibre (Fig 1) the collection efficiency is

$$\gamma = \frac{2y}{d_f} \quad (4)$$

In order to calculate the collection efficiency of a mat or sheet of fibres of unit face area, depth  $b$ , packing density  $\beta$  and volume flow rate  $Q$  we first calculate the average velocity in the fibre  $v_a$  as

$$v_a = \frac{Q}{1 - \beta} \quad (5)$$

From the length of fibre  $L = 4\beta b / \pi d_f^2$  we can calculate the change in particle concentration due to passing through a thickness  $db$  of the filter as

$$\frac{-dn}{n} = \frac{8y\beta db}{(1-\beta)d_f^2} \quad (6)$$

$\frac{2y}{d_f}$  is the efficiency of a single fibre in the mat - now no longer necessarily the same as that of an isolated fibre - and is written as  $\gamma_e$ .

Hence:

$$\frac{n}{n_o} = e^{-4\beta\gamma_e b / [(1-\beta)(\pi d_f^2)]} \quad (7)$$

where  $n$  = concentration of particles penetrating  
and  $n_o$  = incident concentration.

As the basic filtration is

$$\frac{n_o - n}{n_o} = 1 - e^{-\gamma_m} \quad (8)$$

where  $\gamma_m$  is index of filtration for the mat we obtain

$$\gamma_m = \frac{4\beta b \gamma_e}{\pi d_f^2 (1-\beta)} \quad (9)$$

It is these indices  $\gamma_e$  and  $\gamma_m$  which are employed in developing the equations of filtration.

#### FLOW FIELD AROUND FIBRES

The equation for viscous flow at a distance and from the centre of a fibre transverse to flow as given by Lamb (6) are:

$$\frac{dr}{dt} = C_L R_r \sin \theta \quad (10)$$

$$r \frac{d\theta}{dt} = C_L R_\theta \cos \theta \quad (11)$$

where

$$R_r = 1 - \frac{r_f^2}{r^2} - 2 \ln\left(\frac{r}{r_f}\right), \quad (12)$$

$$R_\theta = 1 - \frac{r_f^2}{r} + 2 \ln\left(\frac{r}{r_f}\right) \quad (13)$$

and 
$$C_L = \frac{v_o}{2(2 - \ln Re)} \quad (14)$$

$\theta$  is the angle between the y axis and the radius vector to the point. The equations are valid close to the cylinder at low Re ( $=2r_f v_o/\nu$ , where  $\nu$  is the Kinematic viscosity), or when  $\lambda$ , the mean free path of the gas molecules, is small compared with the fibre diameter. From the equations the drag force on unit length of cylinder is

$$F = 8\pi\eta C_L \quad (15)$$

where  $\eta$  is the coefficient of viscosity.

Extension of the single fibre equation to a filter leads to the conclusion that the pressure drop  $p$  is a function of  $v_o Re$  whereas in practice at low velocities  $p \propto v_o$ . Langmuir (3), in developing the first satisfactory theory for HEPA filters took the foregoing flow equations but calculated a value of  $C$  (in place of  $C_L$ ) from experimental results as

$$C = \frac{pd_f^2}{16\eta\beta b} \quad (16)$$

where  $\beta$  is the packing density of fibres in the filter (that is the ratio of fibre volume to filter volume) and  $b$  is the filter thickness. More recent work by Kuwabara (7) and Happel (5) has shown the velocity field in a filter of parallel, randomly placed cylinders at low packing density to be independent of  $Re$ , the term  $(2 - \ln Re)$  being replaced by  $(-\frac{1}{2} \ln \beta - \lambda)$  where  $\lambda = 0.75$  (Kuwabara) or  $0.5$  (Happel). Their equations lead to

$$\Psi(r, \theta) = \frac{v_o r_f \sin\theta}{2(-\frac{1}{2} \ln \beta - \lambda)} \left[ \left(\frac{r}{r_f}\right)^{-1} - \frac{r}{r_f} + \frac{2r}{r_f} \ln \frac{r}{r_f} \right] \quad (17)$$

where  $\Psi$  is the stream function.



FILTRATION BY INTERCEPTION AND DIFFUSION

By calculating the flow around a fibre within a distance  $r_p$  of the fibre at  $\theta = 0^\circ$  and taking the value of C in equation 16 Langmuir wrote

$$\gamma_m = \frac{pd_p^2}{2\pi v_a \pi d_f} \left( 1 - \frac{2R}{3} + \frac{7}{12} R^2 - \dots \right) \quad (18)$$

where  $v_a$  = average velocity in the filter

and

$$R = \frac{d_p}{d_f}$$

Friedlander (8) wrote Langmuir's equation for an isolated fibre in a much simpler form

$$\gamma_e = \frac{1.25R^{1.82}}{2(2-\ln Re)} \quad (19)$$

For the diffusion mechanism with small particles Langmuir calculated the time for a particle to travel from  $+60^\circ$  to  $-60^\circ$  around the fibre, taking this to be the time available for diffusion, and obtained

$$\gamma = \frac{\epsilon_o^2 d_f p}{2\pi \eta v_a} \quad (20)$$

where  $\frac{\epsilon_o d_f}{2} \left( = \epsilon_o r_F \right)$  plays the same role as  $r_p$  in the interception equation. Combining the equations for interception and diffusion and introducing the effect of slip flow Langmuir wrote two equations. The first enabled him to calculate  $\epsilon_o$  from knowledge of  $p$ ,  $\beta$ ,  $b$ ,  $d_f$  and  $d_p$  in an ideal filter. The value of  $\epsilon_o$  was then substituted in the second equation to give  $\gamma_m$ , the collection efficiency for interception and diffusion together. The equations show that there is a particle size for optimum penetration, particles larger and smaller being less penetrating, the precise value of the optimum size depending upon filter characteristics and gas velocity. They also indicate that  $\gamma_m$  for diffusion depends approximately on  $v^{-2/3}$ .

Fuchs and Stechkina (4) adapted Happel's equation for flow through a parallel, randomly placed system of cylinders finding, for diffusion,

$$\gamma = 2.9 \left( -\frac{1}{2} \ln \beta - \lambda \right)^{-1/3} Pe^{-2/3} \quad (21)$$

[ as  $Pe = \frac{d_f v}{\Delta}$ , where  $\Delta$  is the diffusion coefficient, the diffusion efficiency depends, as in Langmuir's equation, on  $v^{-2/3}$  ].

Fuchs and Stechkina have plotted the results of other workers for diffusion to a fibre in a filter in the form  $\gamma_e$  versus Pe. The plots show considerable similarity in slope but marked differences in efficiency values (Fig 2).

In the inertial region little progress has been made. The streamlines of flow around a fibre depend on Re, disturbance beginning further upstream and being more gradual at low Re with displacement relative to  $d_f$  being greater at the obstacle. The equations of particle trajectory and, hence, the efficiency of inertial capture depend on the Stokes number or inertial parameter  $K \left( = \frac{\rho d_p^2 v_o}{9\eta d_f} \right)$ . Published curves for the collection efficiency at high Re show general agreement between theory and experiment but there appear to be few reliable data for low Re. Davies (12) has given an equation, derived as a result of theory and experiment, for combined interception, diffusion and inertial effects as

$$\gamma_m = \left[ R + (0.25 + 0.4R)K_F - 0.0263K_F^2 R \right] \left[ 0.16 + 10.9\beta - 17\beta^2 \right] \quad (22)$$

where  $K_F = K + \frac{2\Delta}{v_o d_f}$ .

Dorman (13) in a semi-empirical approach attempted to assess the relative importance of the three mechanisms in filtration data of Ramskill and Anderson (14) in which penetration showed a peak when plotted against velocity. He assumed that the efficiency is obtained by simple addition of the three individual mechanisms, which cannot be other than approximately true. The best fit of Ramskill and Anderson's results was given by

$$\log P = 2 - (Gv^2 + Dv^{-2/3} + I)b \quad (23)$$

where G, D and I are inertia, diffusion and interception parameters and b the filter thickness. By differentiating the equation and setting  $dP/dv = 0$  at the velocity  $v_p$  for maximum penetration it was possible to calculate G, D and I. The equation has been used by Wheat (15), who found the inertial velocity exponent to vary between 1.5 and 2, and by Jonas et al (16). From inspection of results of Thomas and Lapple (17), who measured the penetration of glass fibre filters by particles of 0.3  $\mu\text{m}$  diameter, it appears that their inertial parameter also depended on  $v^2$ .

#### ELECTROSTATIC EFFECTS

It is well known that charges on fibres and particles affect efficiency. Mathematical analyses are complex and this paper deals only in a general way with the subject. Detailed discussions have been given by Pich (18)

who has dealt with three cases (a) charged particle, charged fibre; (b) charged fibre, neutral particle and (c) charged particle, neutral fibre. Pich gives numerous references to other workers. Small charges normally found on fibres and particles have a relatively minor effect on efficiency. There is, however, a considerable effect when charges on fibres reach the magnitude found in the wool-resin or Hansen filter, still widely employed in industrial respirators. A filter of, say, 99.999% efficiency when freshly manufactured may show as little as 50% efficiency when fully discharged by heat, electromagnetic radiation or exposure to oil droplets. The normal atmospheric and test aerosols are lightly charged, both positive and negative charges occurring. When Burbage et al (19) altered the charge distribution on a test aerosol of sub-micron particles of common salt they found that penetration through a glass fibre filter fell by a factor of two when particles were strongly negatively charged and rose slightly above that of the normal cloud when particles were sensibly neutral. Havlicek (20) considered that there would be a marked increase in efficiency if a filter were to be placed between highly charged electrodes. The present writer is not aware that the method has received much attention although a later paper in this seminar reports favourably on some tests (Thompson et al, paper 41b).

#### PENETRATION AND PARTICLE SIZE

It is well established that at a constant velocity the penetration of particles larger than about 0.3  $\mu\text{m}$  decreases as particle size increases, while theories predict that particles much smaller penetrate less easily due to the predominance of diffusion capture. Much effort has been expended in the testing of the theories and in attempts to find the most penetrating size. While there is a considerable difference in results giving the size (as would be expected with filters of different construction employed at different face velocities) there is no doubt that such a size does exist. It may be concluded that the peak penetrating size through most HEPA filters under normal conditions of usage is around 0.1  $\mu\text{m}$ .

Tests for HEPA filters should therefore employ aerosol clouds with the majority of particles in the 0.05-0.3  $\mu\text{m}$  sizes.

#### PACKING DENSITY AND EFFICIENCY

It has already been noted that the efficiency of a mat of fibres is not necessarily calculable from a knowledge of single fibre capture because of the interference of neighbouring fibres. Equations for the effect of

packing density are empirically based and are of limited value. Chen (2), as a result of experiments, expressed single fibre efficiency with packing density as

$$\gamma_e = \gamma_{e0} (1 + K\beta) \quad (24)$$

where  $\gamma_e$  and  $\gamma_{e0}$  are single fibre efficiencies at packing densities  $\beta$  and 0 respectively. K was found to be approximately constant and equal to 4.5.

Sadoff and Almlof (21) found that diffusion efficiency decreased with increase of  $\beta$  at low velocities. Dorman and Sergison (22) working with 1  $\mu\text{m}$  particles calculated G, D and I (equation 23) for various values of  $\beta$ , finding the diffusion efficiency to decrease with  $\beta$  (in agreement with Sadoff and Almlof) while interception and inertial effects increased rapidly. Their equation for the relationship between the interception efficiency and  $\beta$  agreed closely with that given by Langmuir's theory.

#### TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Pich (18) has investigated the effect of temperature on the efficiency of a single fibre when the gas is dry air. He assumed that there was no change in the filter or particle structure and that adhesive forces remained constant. With these provisos only the diffusion and interception parameters are affected by viscosity (which is a function of temperature). Taking a semi-empirical equation for diffusion and interception and the gas viscosity-temperature relationship, he wrote an equation showing that the efficiency of capture of small particles should increase with temperature, whereas in the inertial region it should decrease. Pich verified his theory with small particles of common salt of 0.2  $\mu\text{m}$  range finding efficiency rose from 94% at 20°C to 98.5% at 200°C.

In experiments at the Chemical Defence Establishment with a heterodisperse cloud of common salt of size 0.02-1  $\mu\text{m}$  measured penetration fell from 0.01% to 0.001% for a rise in temperature of about 300°C. Most of the penetration by such a particle cloud is in the 0.1-0.3  $\mu\text{m}$  size so the results were in general agreement with Pich. First et al (23) carried out experiments in the inertial region at temperatures of up to 700°C finding that efficiency fell, in qualitative agreement with Pich's theory.

#### PRESSURE CHARACTERISTICS

According to theory in the diffusion region capture efficiency increases with increase in the diffusion coefficient  $\Delta$ .  $\Delta$  increases with  $\lambda$ , which

is itself inversely proportional to pressure. In the absence of other interferences diffusion efficiency should therefore increase with reduction in pressure. It is also obvious that as gas density decreases the inertial efficiency increases. These effects have been confirmed by Stern et al (9).

#### PINHOLES IN FILTERS

Although penetration of submicron particles through intact filters increases with velocity under normal conditions of use it is found that penetration of a filter in which there are numerous small holes, whilst higher than in an intact filter, usually falls as velocity increases (24). The effect may be explained by considering the flow through a small hole as proportional to  $p^{\frac{1}{2}}$ , whereas through the intact filter it is directly proportional to the pressure drop. The proportion of flow through the holes (100% penetration) falls relative to that through the intact filter, the fall, if the holes are numerous enough, outweighing the normal increase through the intact portions.

#### PRESSURE DROP, PENETRATION AND DUST LOADING

Theories normally neglect the effect of particle loading on pressure drop and efficiency. The effect of loading a HEPA filter with solid particles is to increase resistance and efficiency. Volume for volume small particles cause a much higher rise in resistance than do larger ones, as remarked by Adley and Wisheart (25). Somewhat crude calculations indicate that the rise in resistance is proportional to the surface area of the deposited particles and that it is not particularly sensitive to differences in particle density or loading velocity. Electron micrographs show that particles do not necessarily deposit uniformly on fibres but fall one upon another (dendritic deposition, Fig 3). The effect may be greater when there is significant charge on the particles. In the initial stages of loading with solid particles the resistance rise is proportional to the volume of deposit, although towards the end of the loading process there is a very rapid resistance rise for small increases in the deposit. It has been found by numerous experiments that the logarithm of penetration versus volume of deposit is almost linear. Radushkevich (26) attempted a theoretical analysis of the process.

Liquid aerosols behave differently from solids. Filter efficiency may decrease with deposition due, according to various writers, to the drawing together of the fine fibres and destruction of charges on the fibres.

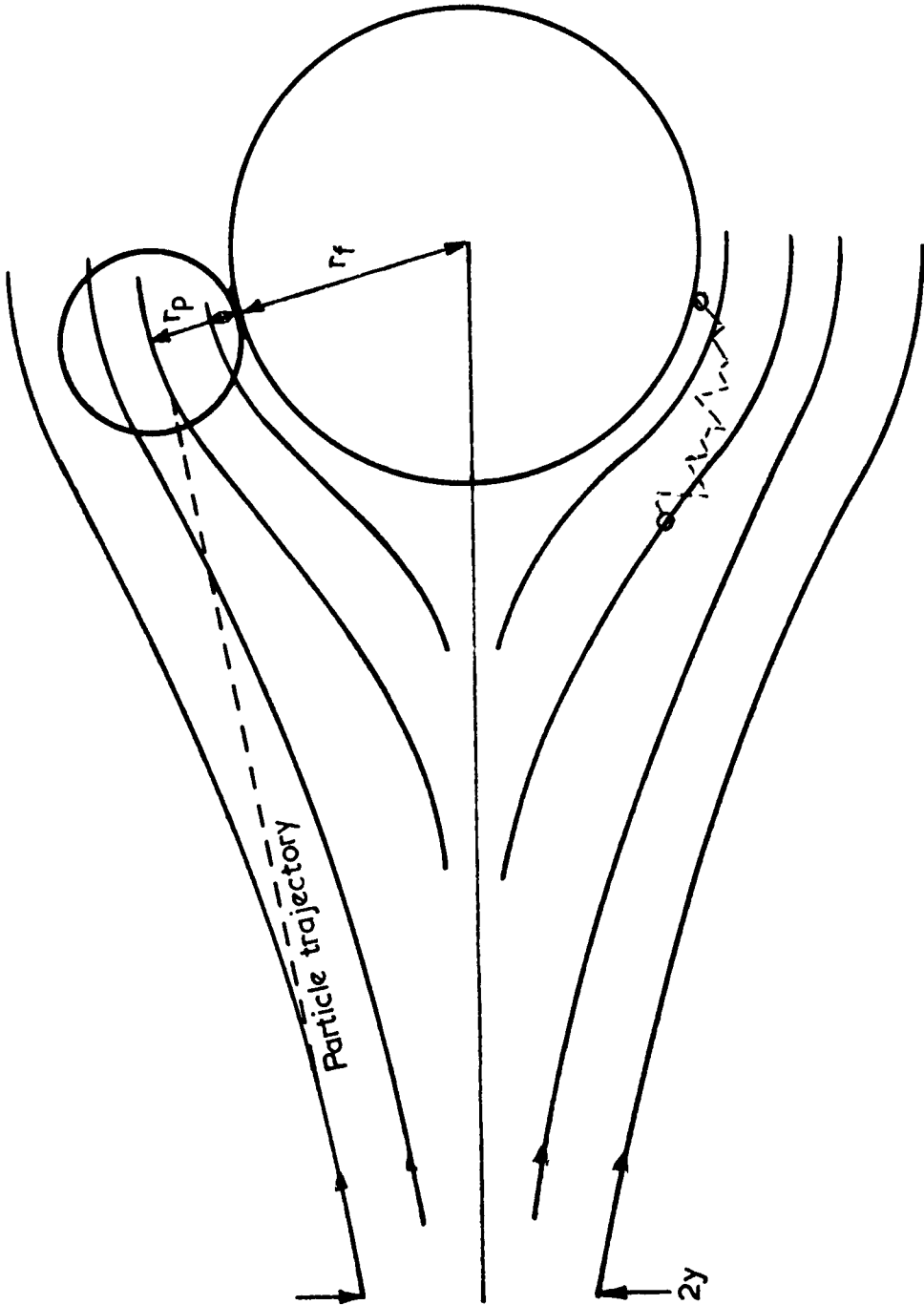
Billings (27) has given a theoretical and experimental description of the effects of solid particles on filter loading while a theoretical treatment of loading by liquids has been given by Mohrmann (28).

REFERENCES

1. THOMAS J W, RIMBERG D and MILLER T J. (1969) USAEC Health and Safety Lab. Tech. Memo. 69, 17.
2. CHEN C Y. (1955) Chem. Rev. 55, 595.
3. LANGMUIR I. (1942) OSRD Rep. No. 865 Office of Tech Services, Washington.
4. FUCHS N A and STECHKINA I B. (1963) Ann. occup. Hyg. 6, 27.
5. HAPPEL J. (1959) A I Ch. E J1 5, 174.
6. LAMB H. (1932) Hydrodynamics, Camb. Univ. Press 6th Ed., pp 609-16.
7. KUWABARA S. (1959) J. phys. Soc. Japan 14, 527.
8. FRIEDLANDER S K. (1957) A I Ch. E J1 3, 43.
9. STERN S, ZELLER H and SCHEKMAN A. (1960) J. Colloid Sci. 15, 546.
10. TORGESON W L. (1961) TID 16988, Appdx B, General Mills Electronics Division, Minneapolis.
11. NATANSON G L. (1957) Proc. Acad. Sci. USSR, phys. Chem. Sec. 112, 21.
12. DAVIES C N. (1952) Proc. Instn mech. Engrs Lond. 1B, 185.
13. DORMAN R G. (1961) in "Aerodynamic Capture of Particles" ed E G Richardson, Pergamon Press Oxford.
14. RAMSKILL E A, and ANDERSON W L. (1951) J. Colloid Sci. 6, 416.
15. WHEAT J A. (1964) Unpublished report.
16. JONAS L A, LOCHBOEHLER C M and MAGEE W S. (1971) EATR 4574 Edgewood Arsenal, Md.
17. THOMAS D G and LAPPLE C E. (1961) AI Ch. E J1 7, 203.
18. PICH J. (1966) in "Aerosol Science" ed C N Davies, Academic Press, London.
19. BURBAGE A M R, DORMAN R G and WEBB I J. (1966) in "Aerosol Science" ed. C N Davies, Academic Press, London.
20. HAVLICEK V. (1961) Int. J. Air Wat: Pollut. 4, 225.
21. SADOFF H L and ALMLOF J W. (1956) Ind. Engng Chem. 48, 2199.
22. DORMAN R G and SERGISON P F. (1964) in "High Efficiency Air Filtration" eds P A F White and S E Smith, Butterworths, London.
23. FIRST M W, GRAHAM J B, BUTLER G M, WALWORTH C B and WARREN R P. (1956) Ind. Engng Chem. 38, 696.

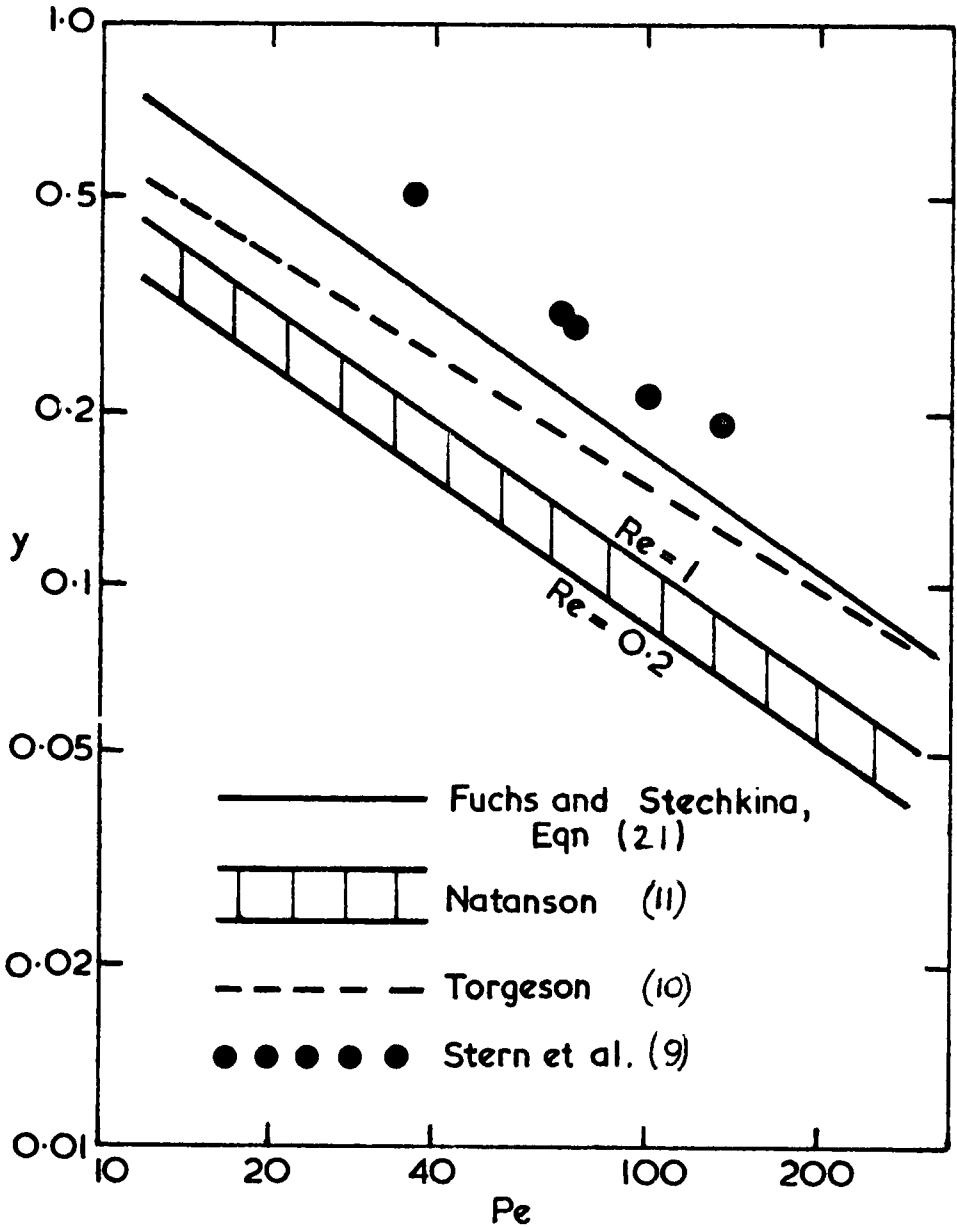
24. THOMAS J W and CRANE G D. (1963) 8th USAEC Air Cleaning Conf., Office of Tech. Services, Washington.
25. ADLEY F E and WISEHART D E. (1961) 7th USAEC Air Cleaning Conf., Office of Tech. Services, Washington.
26. RADUSHKEVICH L V. (1964) J. Colloid Interfacial Sci. 37, 501.
27. BILLINGS C E, (1966) 9th USAEC Air Cleaning Conf., US Dept. of Commerce, Springfield, Va.
28. MOHRMANN H. (1970) Staub-Reinhalt. Luft (in English) 30, 1.





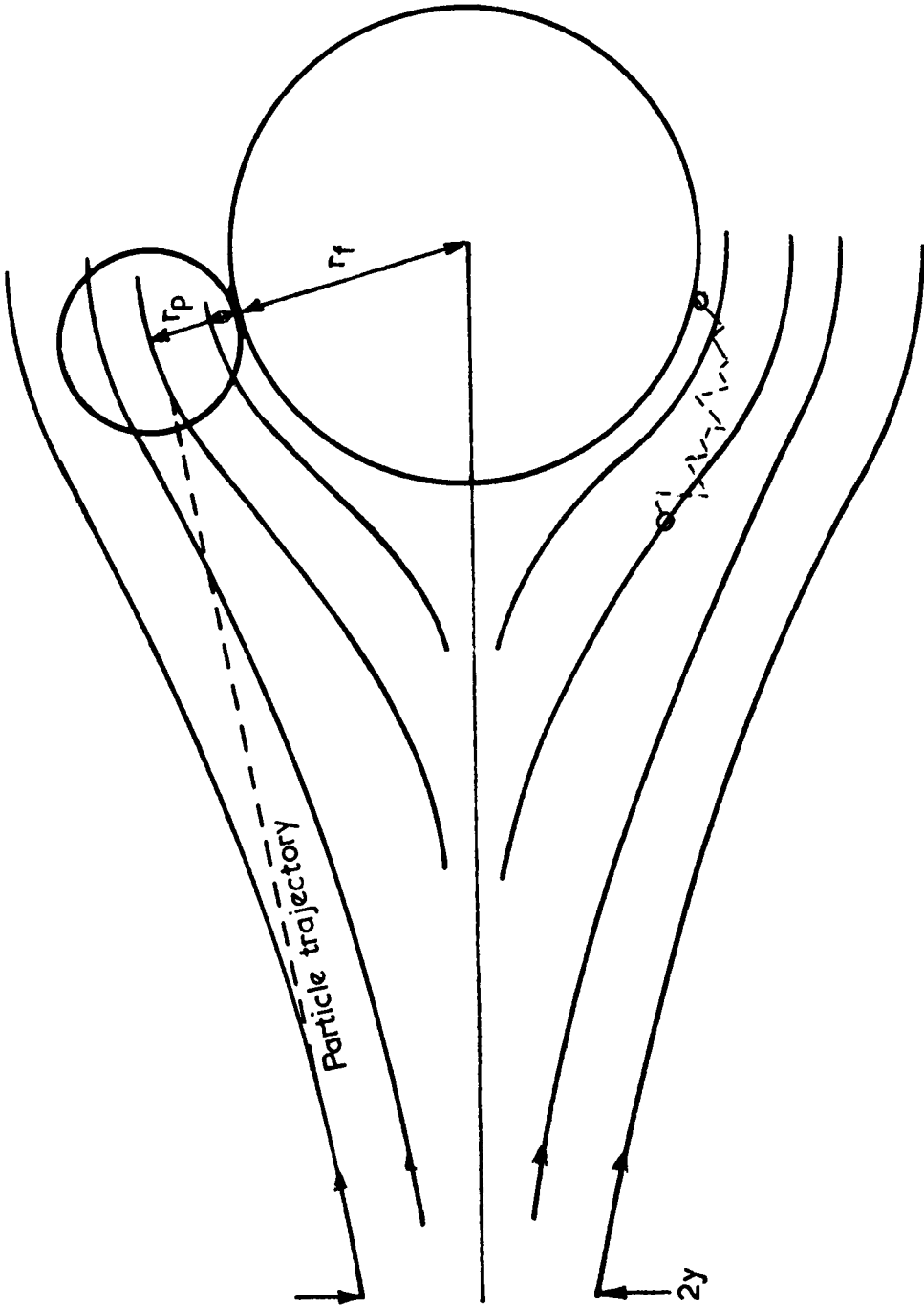
Flowlines near to cylinder lying transverse to flow, illustrating capture of particles by inertia, interception and diffusion.

FIG. 1



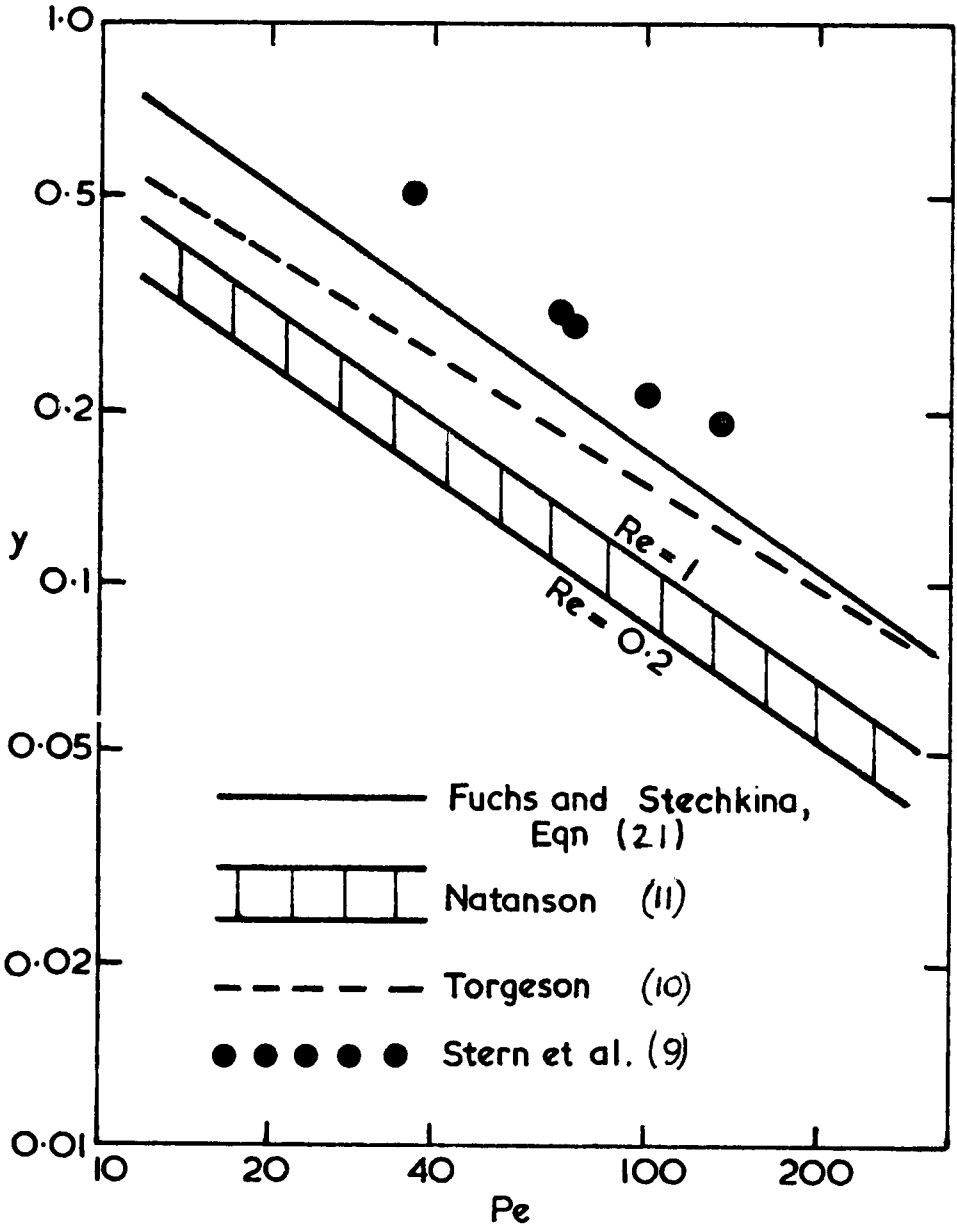
The collection efficiency of a fibre by diffusion in a fibrous filter (Fuchs & Stechkina, Ref. 4).

FIG. 2



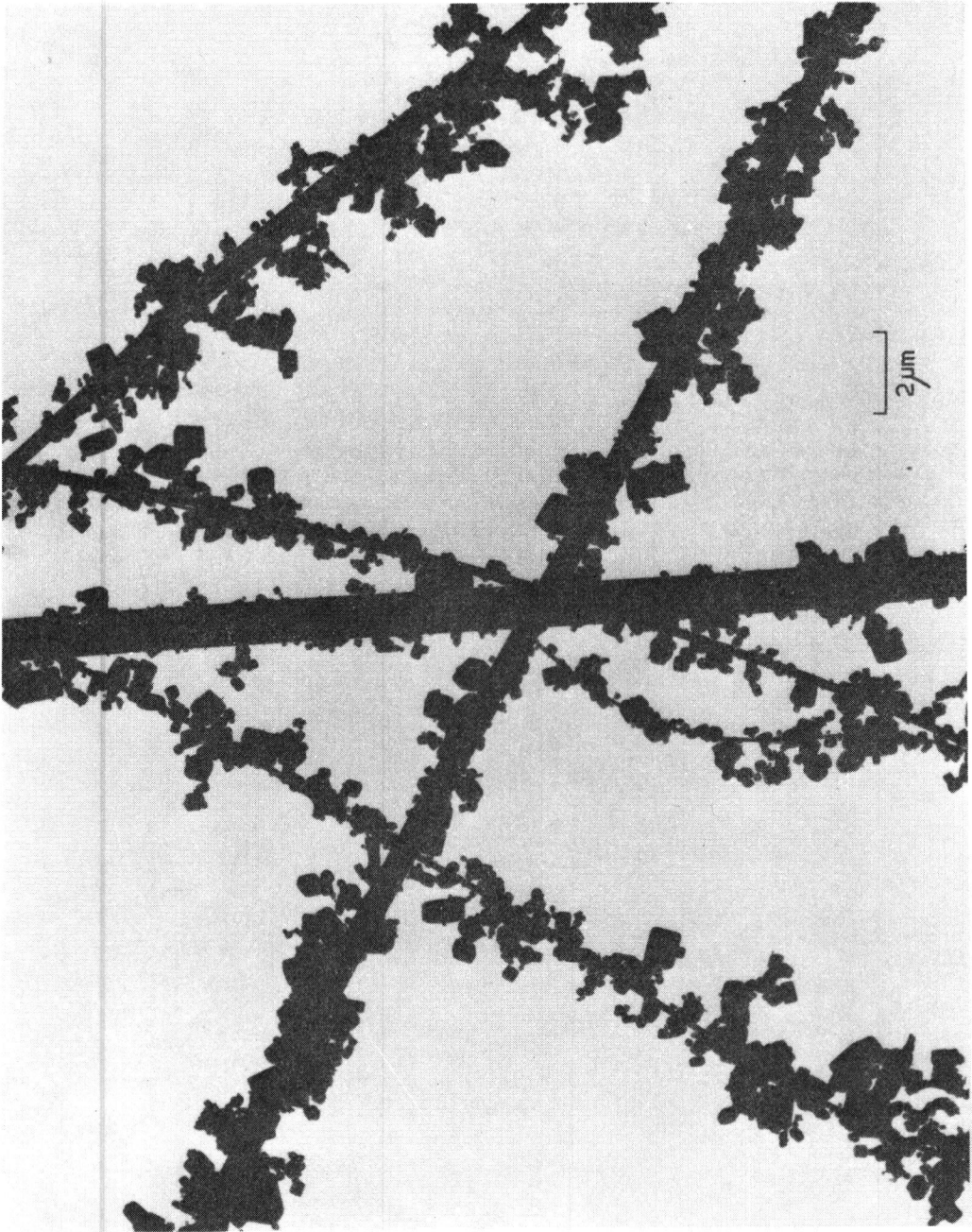
Flowlines near to cylinder lying transverse to flow, illustrating capture of particles by inertia, interception and diffusion.

FIG. 1



The collection efficiency of a fibre by diffusion in a fibrous filter (Fuchs & Stechkina, Ref. 4).

FIG. 2



Electronmicrograph of salt particles captured by fine fibres showing dendritic effect.

**FIG. 3**



CHOIX ET RECETTE DES SYSTEMES D'EPURATION DE L'AIR  
DANS LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES

J. Pradel et A.M. Chapuis  
C. E. A.  
Fontenay-aux-Roses - FRANCE

J. Dupoux  
C. E. A.  
Gif-sur-Yvette - FRANCE

RESUME. Les systèmes d'épuration de l'air à très haute efficacité doivent répondre aux normes fixées par les organismes chargés de la sûreté des installations nucléaires. Ils doivent, bien entendu, tenir compte des possibilités de la technique et être réalisés aux meilleures conditions économiques. Il est donc indispensable de suivre une certaine procédure pour choisir ces systèmes et s'assurer de leur conformité.

On expose les différentes modalités, à savoir :

- conditions à remplir par ces systèmes afin qu'ils puissent être proposés par un fournisseur,
- fiches de garantie des performances des éléments filtrants ayant subi les essais de type,
- contrôle de conformité de ces éléments,
- réception définitive et contrôles périodiques de l'installation d'épuration.

On décrit plus particulièrement les essais pour la mesure des diverses caractéristiques des éléments filtrants.

KURZFASSUNG. AUSWAHL UND ABNAHME VON LUFTREINIGUNGSSYSTEMEN IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN. Die Luftreinigungssysteme mit hoher Abscheideleistung müssen von den für die Sicherheit in kerntechnischen Anlagen zuständigen Behörden festgesetzten Normen entsprechen. Bei ihrer Ausführung sind selbstverständlich die technischen Möglichkeiten und wirtschaftliche Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Daher ist bei der Wahl und Zulassung dieser Systeme die Befolgung eines bestimmten Verfahrens unerlässlich.

Die Modalitäten werden dargelegt, nämlich :

- Voraussetzungen, die die Systeme erfüllen müssen, damit sie von einem Hersteller angeboten werden können;
  - Spezifikationsgarantie für Filterelemente, die Typprüfungen unterzogen wurden,
  - Eignungsprüfung der einzelnen Elemente,
  - endgültige Abnahme und regelmässige Kontrollen der Reinigungsanlage.
- Insbesondere werden die Versuche zur Messung der einzelnen Kenndaten der Filterelemente beschrieben.

SUMMARY. SELECTION AND ACCEPTANCE TESTING OF AIR CLEANING SYSTEMS FOR NUCLEAR FACILITIES. High-efficiency air cleaning systems must comply with the standards laid down by the bodies responsible for safety in nuclear facilities. Obviously, they must be technically feasible and as economic as possible. It is therefore essential to adopt a set procedure for selecting the system and establishing its compliance with existing standards.

The different procedures are described, with particular reference to the following :

- conditions to be met by systems before they can be offered by a supplier,
- performance guarantees for filters which have passed the appropriate acceptance tests,
- quality control of the filters,
- final acceptance and periodic checks of the equipment.

In particular, the tests for measuring various characteristics of filter elements are described.

## 1 - INTRODUCTION

The safety report of a nuclear installation and the authorizations concerning gaseous waste discharge impose restrictions concerning discharges, generally implying the use of purification systems. These systems must have the efficiencies defined in planned service conditions.

Irrespective of the magnitude of the activities involved, it does not appear that excessive technical difficulties occur in achieving the required performance levels. Nevertheless, in practice, errors are observed in the choice of filtration systems and in the design and construction of the installations, so that the units are not always as efficient as expected. The Prime Contractor must be capable of not only selecting the most suitable filtration systems, but also of securing a guarantee of their characteristics and their satisfactory operation in the installation.

For this purpose we recommend a procedure which offers the necessary guarantees and clearly defines the responsibilities of the various parties involved. It comprises four essential points : tenders, performance guarantee slips concerning filter elements, conformity check of elements, and in situ acceptance of installations (Figure 1).

## 2 - PROCEDURE

### 2.1 - Tender

The required specifications in tenders must be exclusively those deriving from nuclear safety and health physics requirements, with an attempt to ignore the performance of existing equipment. They must state the operating conditions of the systems. In particular, each ventilation circuit is characterized by a nominal flow rate, a service flow rate, a temperature and humidity, the risks of overpressure, water mist formation, sudden temperature rise, etc..



Whenever possible, an estimate should be given of the type, particle size distribution and concentration of the main impurities. This estimate is sometimes difficult to make, and for this reason the filtration efficiency required for each circuit and determined as a function of the criteria in the safety report and the activities involved, is defined for a given type of aerosol, corresponding to the most penetrating particles.

The tender must also indicate the possibilities of insertion and replacement of filters. Clogged filters, which may have blocked significant amounts of radioactive materials, must be replaceable without excessive risk of irradiation and contamination.

## 2.2 - Performance guarantee slip

By comparing the different characteristics of systems proposed in the market, the Prime Contractor must select the ideal system for solving his problem. Certain properties are indispensable and automatically exclude elements which do not feature them. However, final selection, made on the basis of technical and economic considerations, can only be valid if a comparison is possible. For this purpose, it is necessary for all filters to be characterized in relation to the same properties, determined by similar means. Consequently, each type of filter element can be described by a performance guarantee slip stating its characteristics, determined by a specialized laboratory, by means of clearly defined tests. Measurements conditions must take account of the use of the filter elements. Hence determination of behavior at elevated temperature may be required. A list of tests therefore cannot be established once and for all. It includes tests relating to the component parts of the filter element, and to the filter element itself as a whole. Figure 2 shows two types of filter cells, one with large pads, and the second with small pads arranged in the form of dihedra.

The precise procedure by which inspection is performed must approach service conditions. For example, clogging is determined with a natural atmosphere in a station shown in Figure 3. If this is impossible, one selects either the most unfavorable conditions (e.g. efficiency with the most penetrating particles), or a simplified test, shorter and easier to carry out, but whose parameters are selected to correspond with actual conditions. For example, in the case of the high temperature behavior of a filter, for which the tests conforming to actual service conditions would require using the filter at the planned temperature during a long period, a simplified test could be carried out by placing the filter in an oven for 24 hours, at a temperature higher than the maximum temperature for permanent operation. A correlation is established between the test temperature and the maximum service temperature, by means of standard tests in an oven and in a high temperature circuit (1) (Figure 4).

With respect to filter paper and filtration cells intended for the purification installations of PWR reactor, Tables 1 and 2 indicate a list of tests currently performed and their conditions (2 to 4).

Figure 5 depicts the inflammability test bench. The measurement of filtration efficiency, pressure drop and mechanical strength is performed on the same installation (Figure 6). The diagram in Figure 7 shows a soda-fluorescein aerosol generation system.

Following an examination of the results, the test laboratory, in agreement with the supplier, draws up a slip stating the recorded characteristics. Based on these figures, it is necessary for the supplier to provide suitable tolerances in order to account for manufacturing variations. These tolerances are noted on the performance guarantee slip.

Based on, the information shown on these slips, The Prime Contractor can select the best proposal from the technical and economic standpoints.

### 2.3 - Conformity check of elements

It is necessary to make sure of the conformity of supplies so as to avoid the installation of defective systems. The exact number of these tests is set in accordance with the size of the lot, and may be reduced if greater manufacturing guarantees are provided. The supplier must therefore control his production and check the quality of the raw materials employed.

The different elements are checked against the values entered on the performance guarantee slip. A conformity check of manufacture is also made : type of components, dimensions, appearance of frame and gaskets, soundness of the lute and the filter paper.

### 2.4 - Acceptance of the installation

Acceptance of the installation is the complement of prior inspections and the assurance of its satisfactory operation. It can only be performed after acceptance tests of ventilation and the verification of the required air flow rates. This involves checking that the filter cells have not been damaged during transportation and handling on the site, that the assembly does not contain seal defects. For this purpose, the filtration efficiency is checked for compliance with safety criteria. These tests are performed by the soda-fluorescein aerosol method (AFNOR Standard NFX 44.011) (3 , 4).

It is also necessary to schedule periodic tests whenever replacing filters and subsequent to accidents.

### 3 - CONCLUSIONS

The analysis of accidents, and the efficiency tests which we have performed in nuclear installations, together with measurements taken during tests on filter elements and filter cells, have revealed the need for the procedures and inspections which we recommend.

For example, when the performance guarantee slips were drawn up, we were able to make changes to the filter cells in order to increase their fire resistance. Similarly, during in situ tests of purification installations, we detected seal defects in the filter cell assembly, and operating defects in by-pass valves.

The work carried out thus far only constitutes one phase. The forthcoming commissioning of new types of nuclear installation will require changes in certain control procedures and the establishment of new tests.

## REFERENCES

- 1 - BILLARD, F. and BRION, J.  
Contrôle des installations d'épuration de l'air, essais de conformité des éléments, tests in situ.  
Report CEA-R 3227 (1967).
  
- 2 - Sécurité contre l'incendie. Classification des matériaux et éléments de construction par catégories.  
Decree of 4 June 1973.  
Publication No 73.176.  
Imprimerie de Journaux Officiels, Paris.
  
- 3 - PRADEL, J. and DUPOUX, J.  
Contrôle de l'efficacité des filtres à poussières. Mécanismes de la filtration. Efficacité minimale d'un filtre.  
Nuclear Safety Bulletin No 4 (1974).
  
- 4 - PRADEL, J. and DUPOUX, J.  
Contrôle de l'efficacité des filtres à poussières. Méthode de mesure de l'efficacité des filtres au moyen de l'aérosol de fluorescéine sodée.  
AFNOR Standard NFX 44.011.  
Nuclear Safety Bulletin No 5 (1976).

TABLE I

Tests performed on filter papers

Characteristics	Measurement	Measurement conditions
Weight	Weighing	Absence of moisture
Thickness	Thickness	
Tensile strength	Tensile load	On specimen length 15 mm, width 100 to 200 mm, in the machine direction and in the crosswise direction
Pressure drop	Differential pressure	For 1 and 5 cm.s <sup>-1</sup>
Efficiency	Ratio of aerosol concentrations before and after filtration	At the nominal flow rate, with soda-fluorescin aerosols of particle diameter 0.15 $\mu\text{m}$ , AFNOR Standard NFX 44.011
Waterproofing	Observation of effects	
Fire resistance	Observation of effects, classification in five categories	Reaction to fire in contact with a gas burner

TABLE 2  
 Tests currently performed on filter cells  
 intended for purification installations of PWR reactors

Characteristics	Measurements	Measurement conditions
Mechanical strength	Variation in pressure drop as a function of flow rate	From nominal flow rate to a value 40 times higher
	Determination of maximum flow rate	Sudden variation in flow rate/ pressure drop curve or bursting of the paper pad
Pressure drop	Differential pressure	As a function of flow rate
Efficiency	Ratio of aerosol concentrations before and after filtration	At the nominal flow rate with soda-fluorescein aerosol of diameter 0.15 $\mu\text{m}$ , AFNOR Standard NFX 44.011
Behavior with liquid aerosols (+)	Variation in efficiency, pressure drop and mechanical strength	At the nominal flow rate with air saturated with moisture and the presence of water mist
Resistance to water	As above	After immersion in water for one hour and natural drying
High temperature behavior (++)	As above	At the nominal flow rate in a high temperature circuit
Static thermal strength	As above	After being kept in an oven for 24 hours at 100°C, followed by additional exposure of 1 hour at 120°C
Fire resistance	Observation of effects	In contact with a clearly defined flame for a gas burner, in a circuit with the nominal flow rate and with very low flow rate
	Variation in efficiency	
	Classification in five categories	
Clogging	Pressure drop as a function of deposition	Nominal flow rate - Natural aerosol

(+) Method reserved for some standard tests ; as a rule, resistance to water is generally sufficient.

(++) Long-interval method reserved for some standard tests. This is normally replaced by the measurement of static thermal strength.

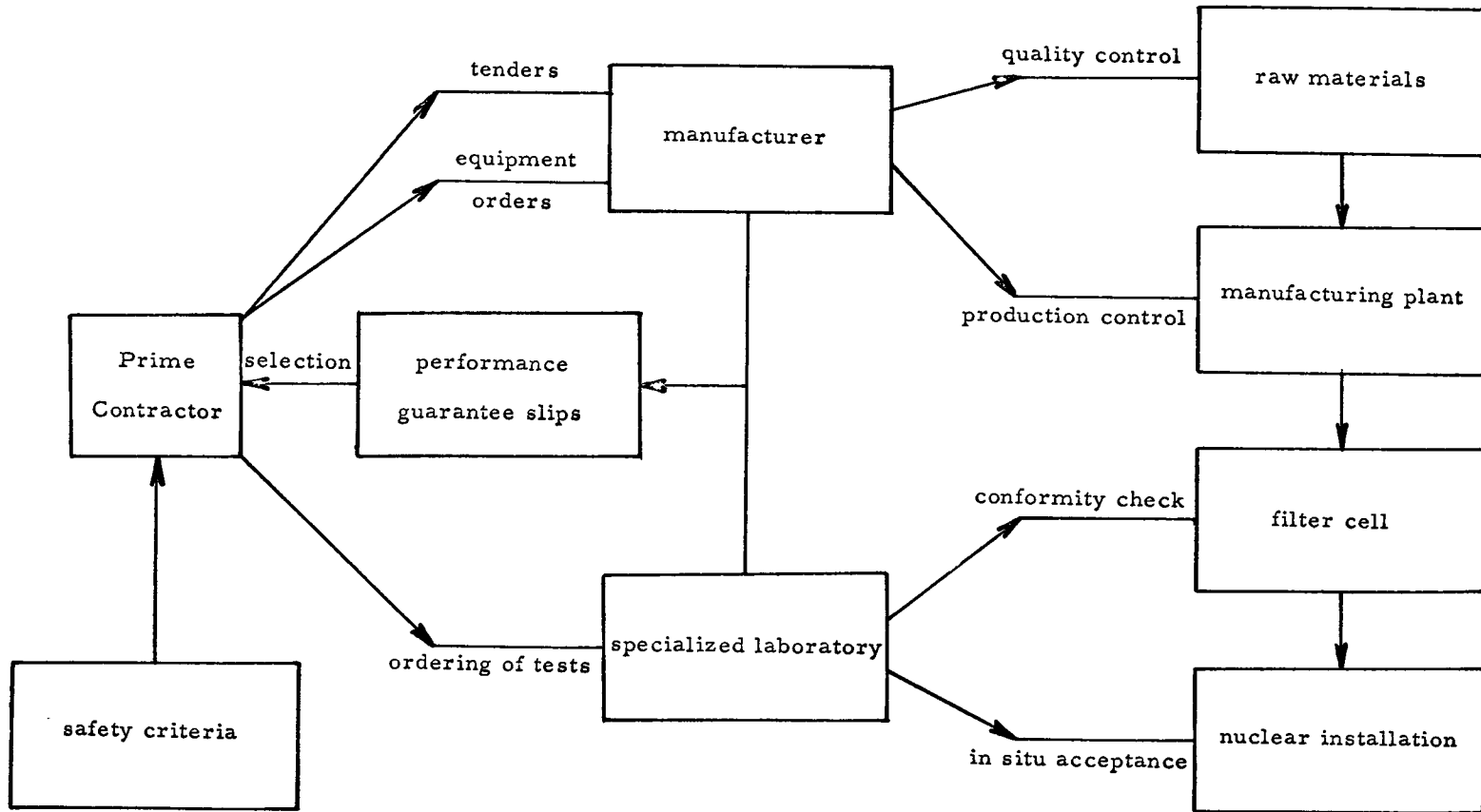
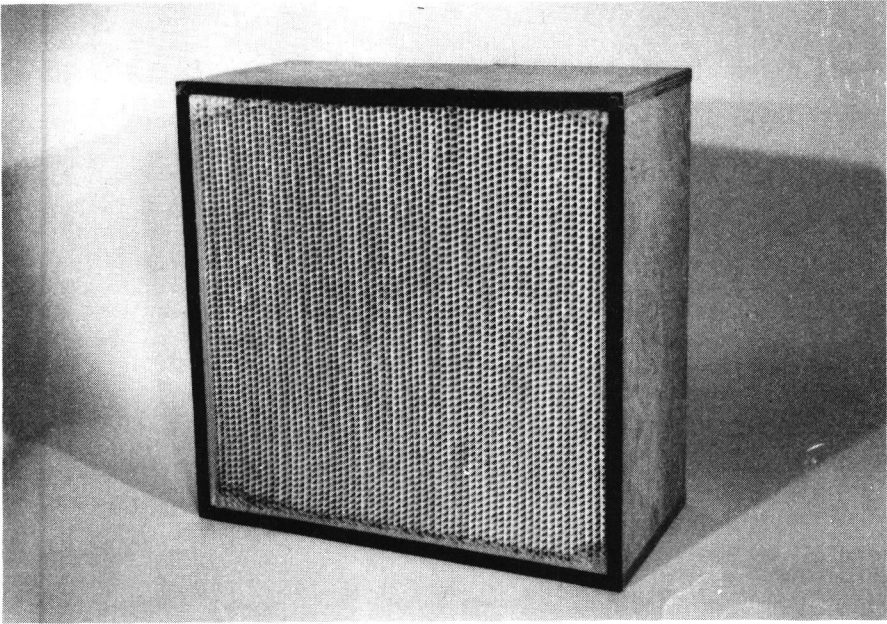
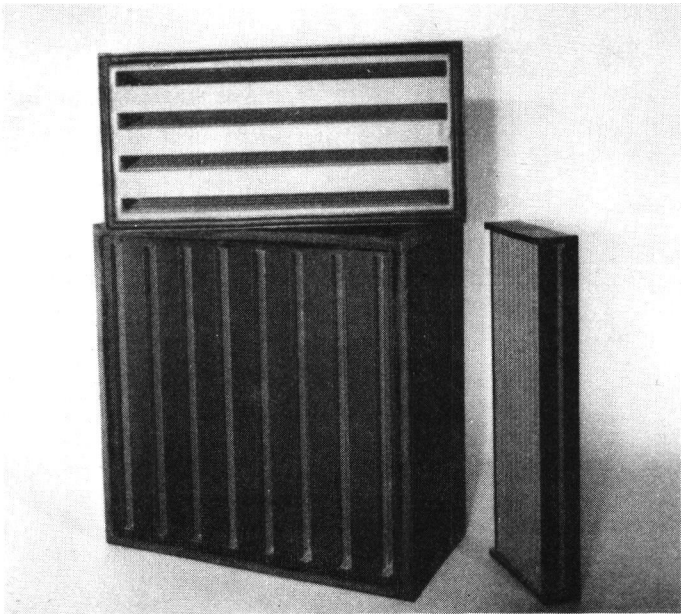


Figure 1 procedure





(a) large pads



(b) small pads in the form of dihedra

Figure 2 Filter cells

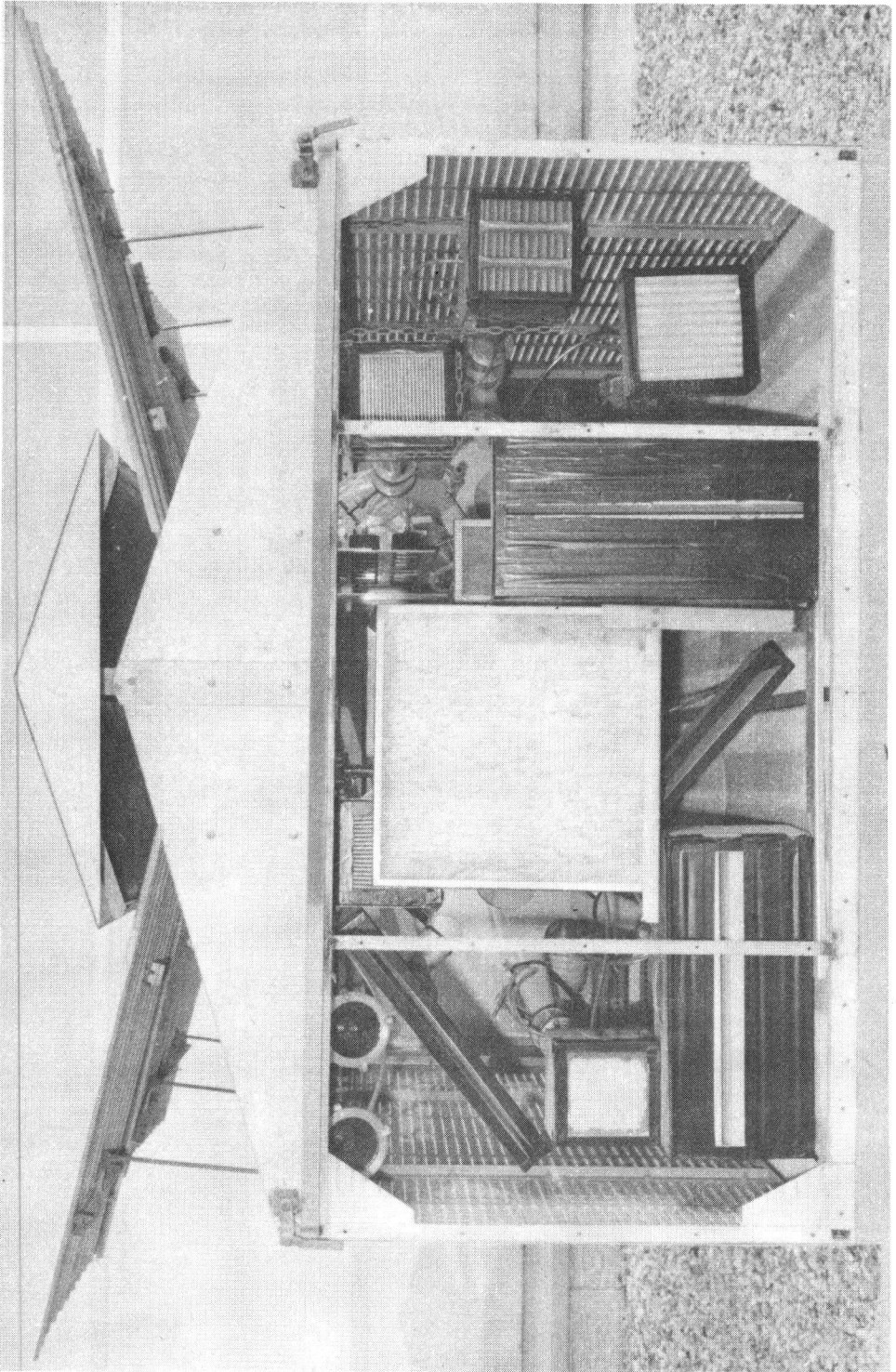


Figure 3

Station for measuring clogging in natural atmosphere

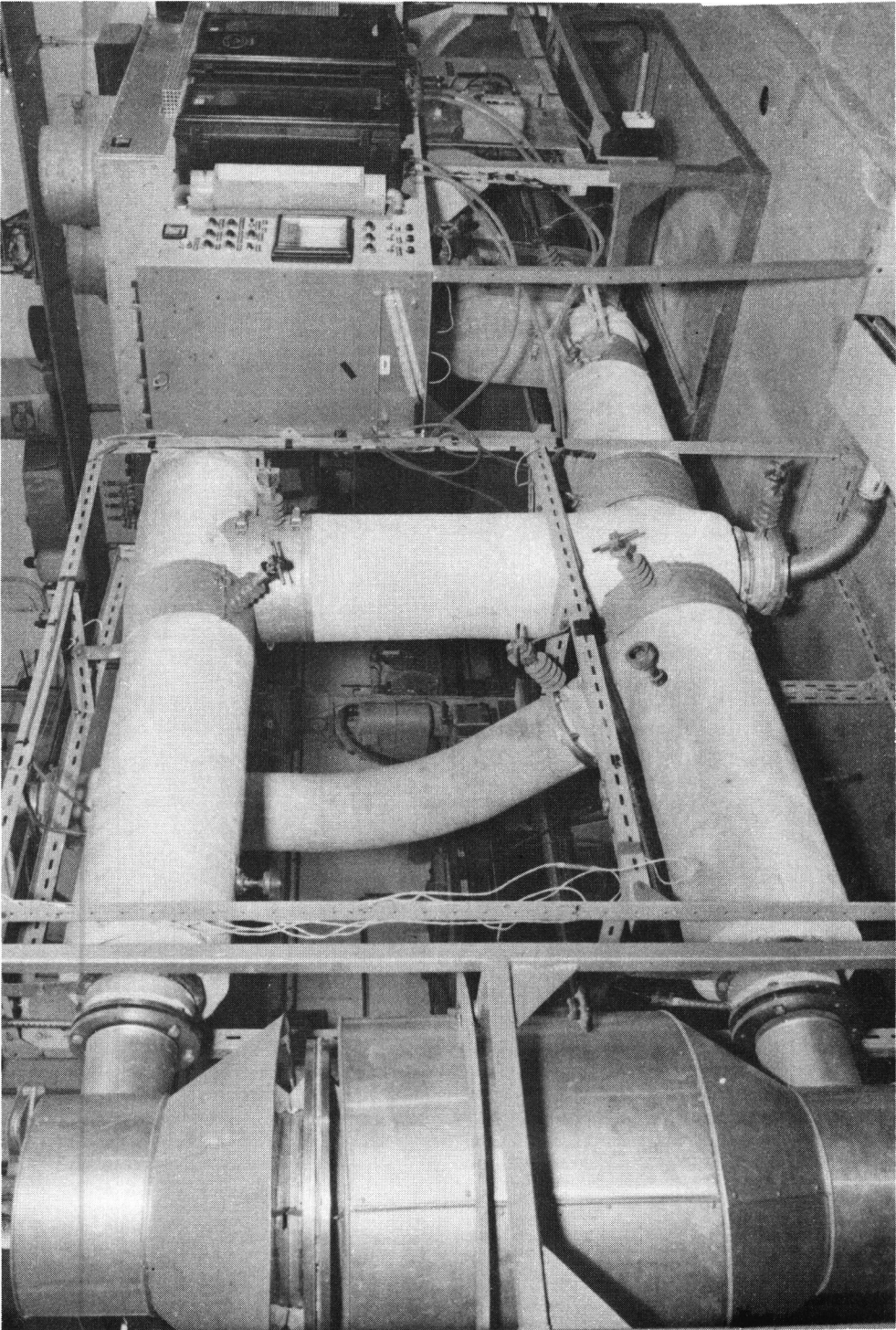


Figure 4

High temperature test bench

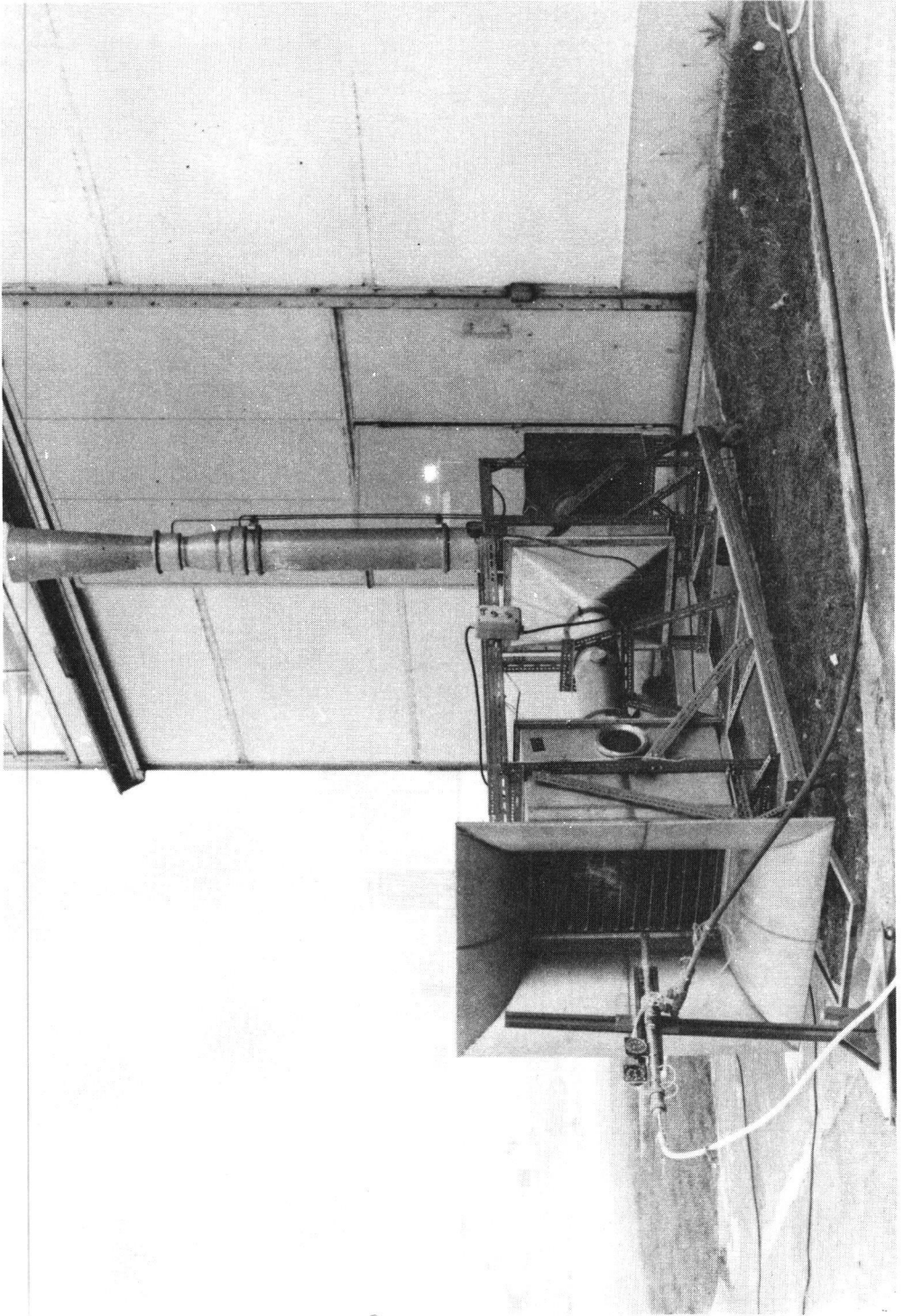


Figure 5      Inflammability test bench

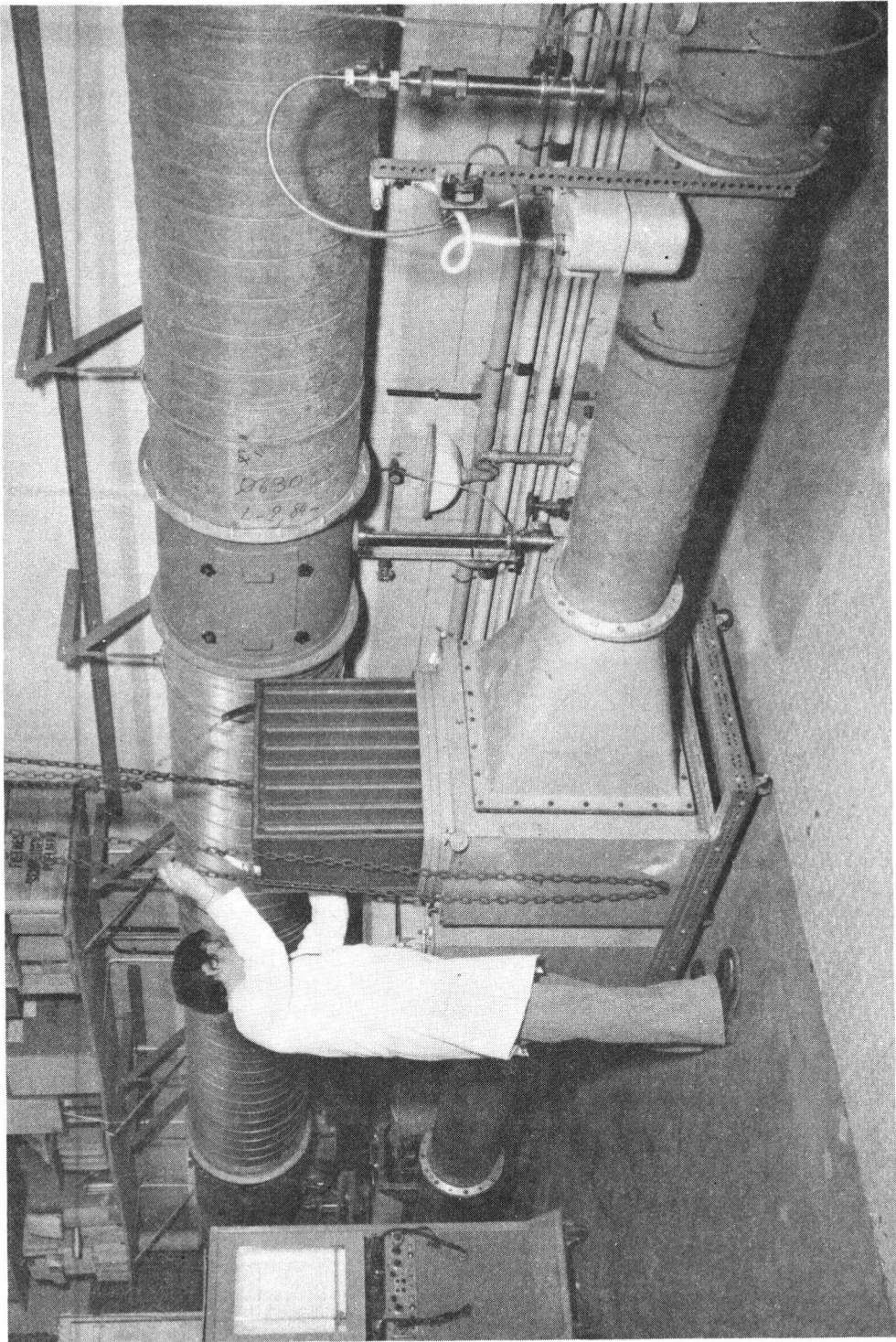
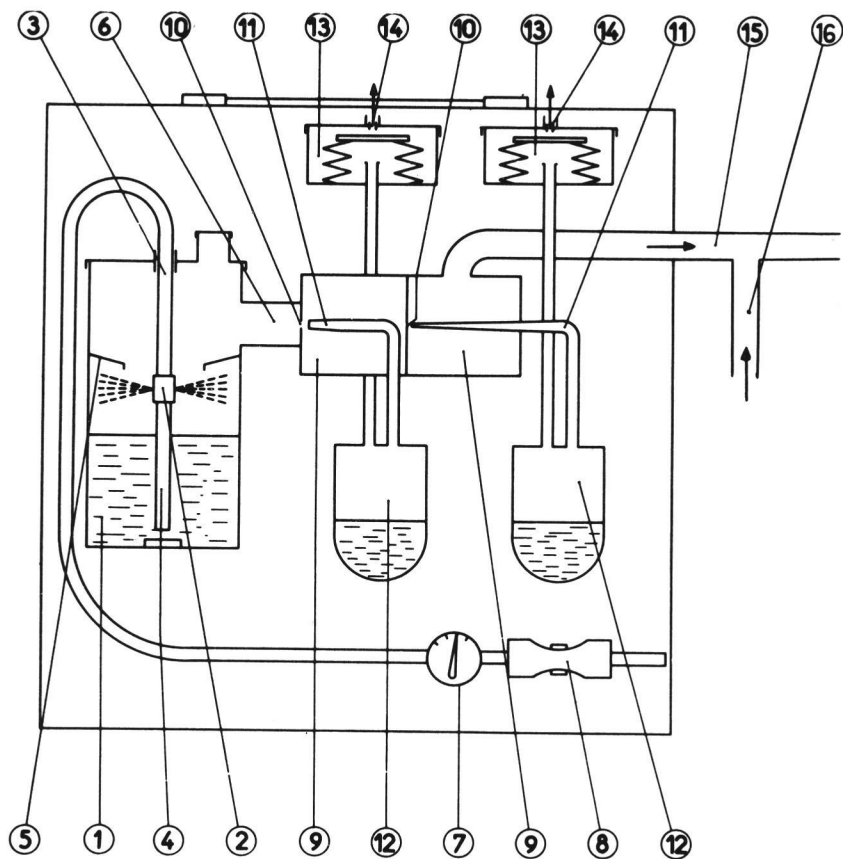


Figure 6

Test bench for efficiency, pressure drop and mechanical strength



(a) spray system

(b) separator

- 1. body
- 2. spray nozzle
- 3. sliding air intake tube
- 4. solution suction tube
- 5. drop arrestor
- 6. liquid aerosol outlet
- 7. pressure gauge
- 8. needle valve

- 9. body
- 10. inlet diaphragm
- 11. separation nozzle
- 12. settling vessel
- 13. filter
- 14. outlet diaphragm with tip
- 15. fine aerosol outlet
- 16. dry dilution air

Figure 7

Uranin aerosol generator

STAND UND TENDENZEN IN DER DEUTSCHEN NORMUNG  
AUF DEM GEBIET DER NUKLEAREN FILTERTECHNIK

N. Fichtner

Normenausschuss Kerntechnik  
Berlin - B.R. DEUTSCHLAND

D. Sinhuber  
Delbag Luftfilter  
Berlin - B.R. DEUTSCHLAND

KURZFASSUNG. Der gegenwärtige Stand von Normen und Richtlinien der Bundesrepublik Deutschland auf dem Gebiet der Filtertechnik wird unter dem Gesichtspunkt ihrer kerntechnischen Anwendung dargestellt.

Die im Rahmen des Normungsvorhabens DIN 25 414 "Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken" im NKe erarbeiteten Ergebnisse werden ausführlich dargestellt. Insbesondere wird auf die sicherheitstechnischen Anforderungen an Schwebstofffilter, Filtergehäuse und Filterkammern und deren Prüfung eingegangen. Die bisherigen Ergebnisse, die Ausrüstung von Lüftungsanlagen mit Filtern für Druckwasserreaktoren betreffend, werden ebenfalls diskutiert.

SUMMARY. STATUS AND TENDENCIES OF GERMAN STANDARDS IN THE FIELD OF NUCLEAR FILTER TECHNOLOGY. The current situation in the Federal Republic of Germany with regard to standards and guidelines in the field of filter technology, as they apply to nuclear technology, is first presented.

A detailed discussion follows of the results arrived at by the Nuclear Technology Standards Committee in its deliberations on the Standards' project DIN 25 414 "Ventilation equipment in nuclear power stations". Particular attention is paid to the technical safety requirements for particulate filters, filter casings and filter housings, and methods of testing. The results so far obtained as regards filters in ventilation plant for pressurized water reactors are also dealt with.

RESUME. ETAT ET TENDANCES DE LA NORMALISATION ALLEMANDE EN MATIERE DE TECHNIQUE DE FILTRATION NUCLEAIRE. L'auteur fait le point tout d'abord sur les normes et directives qui existent actuellement en République fédérale d'Allemagne en matière de technique de filtration, sous l'angle des applications nucléaires. Il expose en détail les résultats obtenus par le comité des normes nucléaires, dans le cadre du projet de normalisation DIN 25 414 "systèmes de ventilation dans les centrales nucléaires" en examinant particulièrement les exigences en matière de sécurité auxquelles doivent répondre les filtres d'aérosols, les caissons de filtres et les chambres de filtration ainsi que le contrôle de ces installations. Les résultats acquis jusqu'ici en ce qui concerne la mise en service dans les systèmes de ventilation de filtres pour réacteurs à eau sous pression sont également analysés.

Angesichts des beträchtlichen Gefährdungspotentials von Kernkraftwerken müssen zur Verhinderung der Emission von radioaktiven Stoffen technische Systeme zur Verfügung gestellt werden, die erheblich sicherer sind als diejenigen in der konventionellen Technik. Deshalb mußten auch in der Bundesrepublik Deutschland die bisherigen technischen Regelwerke wie DIN-Normen und AD-Merkblätter hinsichtlich ihres Inhaltes überprüft werden. In vielen Fällen wurden sie den speziellen Anforderungen der Kerntechnik angepaßt, in anderen Fällen völlig neu erstellt. Grundsätzlich sind bei der Erstellung einer kerntechnischen Norm folgende Ziele zum Schutz von Mensch und Umwelt anzustreben, wie in Abb. 1 dargestellt:

- Vereinheitlichung der Anforderungen
- Zulassung und Festlegung technischer Lösungen
- Gewährleistung des Qualitätsstandes durch Prüfungen.

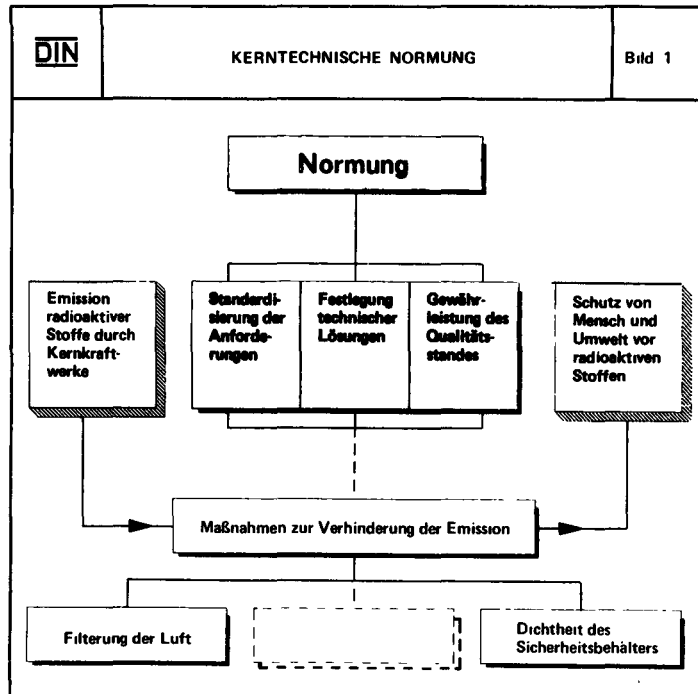


Abb. 1



Filteranlagen haben die Aufgabe, die Luft von aerosolförmigen und gasförmigen Radionukliden zu reinigen, bevor sie Räumen der kerntechnischen Anlage zugeführt, wieder zugeführt oder in die Umgebung abgegeben wird. Sie müssen so ausgelegt sein, daß unter allen zu berücksichtigenden Betriebsbedingungen der zulässige Durchlaßgrad nicht überschritten wird. Entsprechend der Art der zu entfernenden luftgetragenen radioaktiven Stoffe dient die Filteranlage zur Abscheidung von Schwebstoffen und Gasen.

Im wesentlichen sind nach ihrem Einsatzzweck zu unterscheiden:

1. Filteranlagen zur Filterung der Außen- oder Zuluft.
2. Filteranlagen zur Filterung der Abluft im bestimmungsgemäßen Betrieb und im Störfall.
3. Umluftfilteranlagen

Gassorptionsfilter zur Abscheidung von Gasen werden im Rahmen dieses Vortrages nicht behandelt. Die in den Luftfilteranlagen eingesetzten Luftfilter zur Abscheidung von luftgetragendem Feinstaub und Aerosol unterscheiden sich nach dem Einsatz in ihrem Aufbau und Abscheidegrad. Feinfilter werden z.B. als Zuluftfilter und Vorfilter zur Abscheidung von Feinstaub verwendet. Aerosolfilter mit einem Abscheidegrad von mindestens 99,97 % für Partikel von etwa  $0,3 \mu\text{m}$  Durchmesser werden zur Abscheidung von Aerosolen eingesetzt.

Entsprechend den Anforderungen an die Filter erfolgt deren Prüfung nach unterschiedlichen Regeln (s. Abb. 2). Das in der Bundesrepublik Deutschland eingeführte Prüfverfahren für Schwebstofffilter (Aerosolfilter) ist die Norm DIN 24 184 "Typprüfung von Schwebstofffiltern"(1). Das Prüfverfahren für Feinfilter ist derzeit noch die Richtlinie zur "Prüfung von Luftfiltern für die Lüftungs- und Klimatechnik (1961)" des Staubforschungsinstituts der Gewerblichen Berufsgenossenschaften (STF) in Bonn(2). Ebenfalls wird für die Prüfung von Feinfil-

tern die vom Eurovent<sup>1)</sup> übernommene ASHRAE-Richtlinie 52-68 (USA) verwendet (3). Die Übertragung dieser ASHRAE-Richtlinie in eine deutsche Norm unter Berücksichtigung der bestehenden Filterklassen des STF wird z.Z. im Fachnormenausschuß Heizung und Lüftung des DIN diskutiert.

DIN		PRUFVERFAHREN FÜR SCHWEBSTOFFFILTER UND -ANLAGEN					Bild 2			
Land	Prüfaerosol	Zustand		$\phi$ [ $\mu\text{m}$ ]	Messung		Norm	Art der Prüfung		
		fest	flüssig		Str.-Licht	Masse		Typ	Routine	Einbau
D	nat radioakt markiert	x	(x)	0,03 - 0,1		(x)	DIN 24 184	x		
	Paraffin		x	0,3 - 0,5	x					
	Quarz	x		1 - 2	x					
	naturl.	x	(x)	> 0,5	x		VDI 2083 (in Vorb.)			x
USA	DOP		x	0,3	x	x	MIL STD 282 ANSI N101 1 -1972 FED STD 209B		x	
	DOP		x	0,3 - 0,8						
F	Uranin	x		0,03 - 0,1		x	NF X 44-011	x	x	x
GB (Eu)	NaCl	x		0,05 - 0,2		x	BS 39 28 (Eurovent-4/4)	x	x (x)	(x)

Abb. 2

Im Normenausschuß Kerntechnik des DIN wird z.Z. das Normungsvorhaben DIN 25 414 "Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken" in Zusammenarbeit mit dem Kerntechnischen Ausschuß erarbeitet. Im nachfolgenden wird der derzeitige Stand der Arbeiten dargestellt.

Die Norm soll die Sicherheitsanforderungen für Lüftungstechnische Anlagen in Kernkraftwerken nach dem letzten Stand der

1) Eurovent = Europäisches Komitee der Hersteller von lufttechnischen und Trocknungsapparaten

Technik darstellen. Der Anwendungsbereich erstreckt sich auf ortsfeste Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren und gasgekühlten Reaktoren. Abgasanlagen sowie Anlagen zum Abtrennen von Tritium sind nicht Inhalt der Norm.

Die Norm ist in folgende Hauptabschnitte gegliedert:

- Zweck, Anwendungsbereich, Begriffe
- Anforderungen an die Gesamtanlage (DWR, SWR, HTR)
- Anforderungen an die Luftfilteranlagen
- Anforderungen an die Komponenten
- Anforderungen an die Leittechnik
- Prüfungen durch Sachverständige

Wir beschränken uns hier auf die Anforderungen an Luftfilteranlagen, Aerosolfilter und die in diesem Zusammenhang vorgesehenen Prüfungsvorschriften.

Die Lüftungstechnischen Anlagen müssen so ausgelegt und auf die übrigen Anlagenteile abgestimmt sein, daß die für den Störfall und den bestimmungsgemäßen Betrieb spezifizierten Auslegungswerte sowohl für die Raumluft als auch für die Fortluft bei möglicher Freisetzung radioaktiver Stoffe eingehalten werden. Im Hinblick darauf werden die Lüftungstechnischen Anlagen und Anlagenteile in 4 Klassen eingeteilt, wie in Abb. 3 gezeigt.

Von der gezeigten Klasseneinteilung von Luftfilteranlagen ist insbesondere auf die der Klasse 1 einzugehen. Diese Filteranlagen sind nur während und nach Störfällen einzusetzen. Zur Reinigung der Abluft im Störfall sind diese Anlagen getrennt von anderen Filteranlagen zu errichten, zu betreiben und redundant auszulegen. Sie müssen ständig betriebsbereit gehalten werden, um eine sichere, dauerhafte und wartungsfreie Funktion beim Eintreten eines Störfalles sicherzustellen. Ab- und Um-luftfilteranlagen zur Reinigung der Luft aus Kontrollbereichen sind im Kontrollbereich aufzustellen. Der spezifizierte Abscheidegrad von Luftfilteranlagen, die mit Schwebstofffiltern der Klasse S nach DIN 24 184 bestückt sind, ist durch einen Sachverständigen Vor-Ort zu prüfen. Eine Methode zur Vor-Ort-

<b>DIN</b>	<b>KLASSENEINTEILUNG VON LUFTUNGSANLAGEN N KERNKRAFTWERKEN NACH IHRER SICHERHEITSTECHNISCHEN BEDEUTUNG</b>				Bild 3
KLASSE 1	KLASSE 2	KLASSE 3	KLASSE 4		
<p>Luftungstechnische Anlagen und Teile, die während und/oder nach Störfällen betrieben werden</p> <p>Ringraumabsauganlage für den Störfall</p> <p>Umluftanlagen zur Kühlung von Raumbereichen der Not- und Nachkühlsysteme im Ringraum</p> <p>Durchdringungsklappen des Sicherheitsbehälters</p> <p>Gebäudeabsperklappen für den Ringraum</p> <p>Luftungsanlage für Notspesergebäude im Störfallbetrieb</p>	<p>Luftungstechnische Anlagen und Teile zur Aufrechterhaltung des bestimmungsgemäßen Betriebes</p> <p>Unterdruckhalteanlage für Sicherheitsbehälter</p> <p>Fortluftanlage für Reaktor- und Hilfsanlagengebäude</p> <p>Umluftanlagen im Sicherheitsbehälter</p> <p>Luftungsanlagen für Isotopen-Laborräume, Dekont.-Räume, Heiße Werkstatt</p> <p>Aktivitätsüberwachungsanlage</p> <p>Umluftanlagen im Schaltanlagengebäude etc.</p>	<p>Luftungstechnische Anlagen und Teile konventioneller Art mit erhöhten Anforderungen gegenüber DIN 1946</p> <p>Zuluftanlage für Reaktor- und Hilfsanlagengebäude</p> <p>Umluftanlage für begehbare Betriebsräume des Sicherheitsbehälters</p> <p>Luftungsanlage – Schaltanlagengebäude – Rohr- und Kabelkanäle etc.</p>	<p>Luftungstechnische Anlagen und Teile nach DIN 1946 oder sonstigen Regeln der Technik</p> <p>Umluftanlage für Ringraum</p> <p>Zuluftanlage für Notspesergebäude</p> <p>Luftungsanlagen für Werkstatt und Lagergebäude, Versorgungsanlagengebäude etc.</p>		

Abb. 3

<b>DIN</b>	<b>ANFORDERUNGEN AN SCHWEBSTOFFFILTER FÜR KERNKRAFTWERKE</b>		Bild 4
Eigenschaft	Testverfahren, Norm	Anforderung	
Abscheidegrad	DIN 24184, BS 3928 NF X44-011 US-MIL-STD 282	E ≥ 99,97 % DF ≥ 3333	
schwer entflammbar	Versuch DIN 53438	Klasse K 1	
wasserabstoßend	US-MIL-STD 282	250 mmWS	
Strahlenbeständigkeit	Bestrahlungsversuch	10 <sup>6</sup> rd	
Feuchtigkeitsbeständigkeit	Klimakammer	98 – 100 % relative Luftfeuchte	
Temperaturbeständigkeit	Klimakammer	normal 120°C	
mechanische Festigkeit des filternden Materials	Belastungsversuch mit $V_{max}$	normal 5000 Pa im beladenen Zustand	
mechanische Festigkeit des Rahmens	Belastungsversuch mit Anpreßkraft $F_{max}$	normal 300 kp	

Abb. 4

Prüfung ist in der Gesellschaft für Kernforschung in Karlsruhe entwickelt worden.

Die in den vorgenannten Luftfilteranlagen eingesetzten Schwebstofffilter zur Reinigung der Abluft müssen nach DIN 24 184 typgeprüft sein und dem Durchlaßgrad der dort angegebenen Klasse S entsprechen. Darüber hinaus müssen sie den vorgeschriebenen Durchlaßgrad unter den in Abb. 4 genannten Anforderungen gewährleisten. Des Weiteren sind Filterelemente der Klasse S, die in Anlagen der Klasse 1 und 2 eingebaut sind, durch einen Einzeltest nach DIN 24 184 oder einer gleichwertigen Methode, z.B. MIL-STD-282 (4), NF X 44-011 (5) und BS 3928 (6), zu prüfen.

Zur Kontrolle der Leckfreiheit des Schwebstofffilters ist unmittelbar vor oder gegebenenfalls nach dem Einbau der Ölfadentest nach DIN 24 184 durchzuführen. Nach Einsetzen des Filterelementes ist die Dichtheit des Filtersitzes zu prüfen. Der Leckvolumenstrom darf bei der Dichtsitzprüfung 0,01 % des Nennvolumenstromes eines Filterelementes bei einem Prüfdruck zwischen der Roh- und Reinluftseite von 2000 Pa nicht überschreiten. Es ist eine geeignete Prüfvorrichtung, z.B. Prüfrille, zur Prüfung des Dichtsitzes vorzusehen.

Der Nachweis der Dichtsitzprüfung und des Ölfadentests ist bei Erstbestückung und nach jedem Filterwechsel in Anlagen der Klasse 1 und 2 durch einen Sachverständigen zu bestätigen. Bei der wiederkehrenden Prüfung ist der Dichtsitz des Schwebstofffilters außerdem jährlich zu prüfen. Schwebstofffilterelemente in Anlagen der Klasse 1 müssen nach drei Jahren ausgewechselt werden, wenn nicht durch Prüfung der vorgeschriebene Durchlaßgrad der Filteranlage nachgewiesen ist.

Filtergehäuse sind die Umschließungen um ein oder mehrere Filterelemente mit einem Luftzufuhr- und einem Luftabfuhrstutzen sowie anderen Einrichtungen. Dazu gehören: Die Filtersitze, die Filteranpreßvorrichtung, Deckel mit Dichtungen, Stutzen zur Messung von Differenzdrücken, Austauschkragen mit Schutzsäcken und erforderlichenfalls Druckausgleichsvorrichtung, Entwässerungs- und Dekontaminationsanschlüsse. Filtergehäuse bzw. Fil-

terkammern und die darin vorhandenen Filterwände müssen so konstruiert und erstellt werden, daß sie den im bestimmungsgemäßen Betrieb wie im Störfall zugrunde gelegten Anforderungen standhalten und funktionsfähig bleiben. In Abb. 5 sind die allgemeinen Anforderungen an Filtergehäuse und -kammern zusammengestellt. In der linken Spalte sind spezifische Anforderungen an die Konstruktion der Gehäuse festgehalten. Durch Prüfung ist die Dichtheit der Filtergehäuse nachzuweisen. Dabei darf der Leckvolumenstrom 0,003 % des Nennvolumenstromes bei einem Prüfdruck von 2000 Pa nicht überschreiten. Der Leckvolumenstrom von Filterkammern darf bei maximalem Betriebsdruck 0,003 % des Nennvolumenstromes nicht überschreiten. Abweichungen sind nur zulässig, wenn sichergestellt ist, daß durch die Leckage der Filterkammer keine kontaminierte Luft angesaugt werden kann. Zum qualitativen Nachweis der Dichtheit kann der "Nekal-Test" herangezogen werden. Der Nachweis der Dichtheit bei Filtergehäusen und Filterkammern in Anlagen der Klasse 1 ist durch einen Sachverständigen zu bestätigen.

DIN	ANFORDERUNGEN AN FILTERGEHAUSE FÜR FILTERANLAGEN IN KERNKRAFTWERKEN		Bild 5
Feinstaub- und Schwebstoff-Filtergehäuse	Gassorptions-Filtergehäuse		
	allgemeine Anforderungen		
Vorrichtung zur Dichtsitzprüfung	Werkstoff	Stahlblech	Leckfreiheit nach Einschütten und Nachsacken des Sorptionsmaterials
Konstanthaltung der Anpreßkraft bei nachgebendem Dichtelement	Dichtheit	Nekal-dicht bei Prüfdruck 2000 Pa	Probefilter in By-Pass
Kontaminationsfreier Filterelementwechsel, auch während des Betriebes	Festigkeit	Druckprobe	Kontaminationsfreies Befüllen und Entleeren
Entwässerungsanschlüsse	Beständigkeit bei Einwirkung von	Temperatur, ionisierende Strahlung, Schwingungen, Druck, Druckstöße, korrosiven Stoffen, Feuchte	
	Oberfläche	gut dekontaminierbar innen und außen	

Abb. 5

Als Ausrüstung für Zuluftanlagen von Druckwasserreaktoren (DWR) sind mindestens Feinfilter der Klasse "C" nach der Richtlinie des Staubforschungsinstituts (2) einzusetzen. Besteht in Räumen die Gefahr eines Überdruckes gegenüber der Umgebung, als dessen Folge radioaktive Stoffe in unzulässig hoher Konzentration durch die Zuluftzuführung in die Umgebung entweichen können, so gelten für diese Zuluftanlagen die gleichen Anforderungen wie für Abluftfilteranlagen.

Die Abluftfilteranlagen sind im Prinzip nach der in Abb. 6 dargestellten Anordnung aufgebaut. Zur Abscheidung von Wassertropfen und Wasseraerosol sind Tropfenabscheider und Nebelabscheider vorgesehen. Zur Senkung der relativen Luftfeuchte ist vor dem Vorfilter, bzw. bei Verwendung des Vorfilters als Nebelabscheider hinter diesem ein Lufterhitzer anzuordnen. Eine Luftfeuchte von annähernd 100 % kann bei dauernder Einwirkung zu unzulässig hoher Beladung der Schwebstofffilter und Gassorptionsfilter mit Wasser führen. Dadurch kann die Funktionsfähigkeit der Filter beeinträchtigt werden. Das vorgesehene Vorfilter dient der Verlängerung der Standzeit der Schwebstofffilter. Die Schwebstofffilter sind zur Abscheidung der radioaktiven festen und flüssigen Aerosole vor dem Gassorptionsfilter anzuordnen. Eine Beladung des Gassorptionsfilters mit Aerosolen muß verhindert werden, da diese zu einer Beeinträchtigung des Abscheidegrades führt. Der vom Gassorptionsfilter möglicherweise freigesetzte Staub oder Abrieb wird mittels eines Schwebstofffilters mindestens der Klasse R nach DIN 24 184 zurückgehalten.

Abschließend sei auf zwei wesentliche ungelöste Probleme, die indirekt mit dem Normungsvorhaben DIN 25 414 zusammenhängen, hingewiesen:

1. Die Prüfung der Zuluftfilter und Vorfilter der Abluftfilteranlagen ist nach dem derzeitigen Stand der Technik nicht hinreichend genormt.
2. Eine Normung der Prüfung des Abscheidegrades der Aerosolfilteranlagen im eingebauten Zustand wäre wünschenswert.

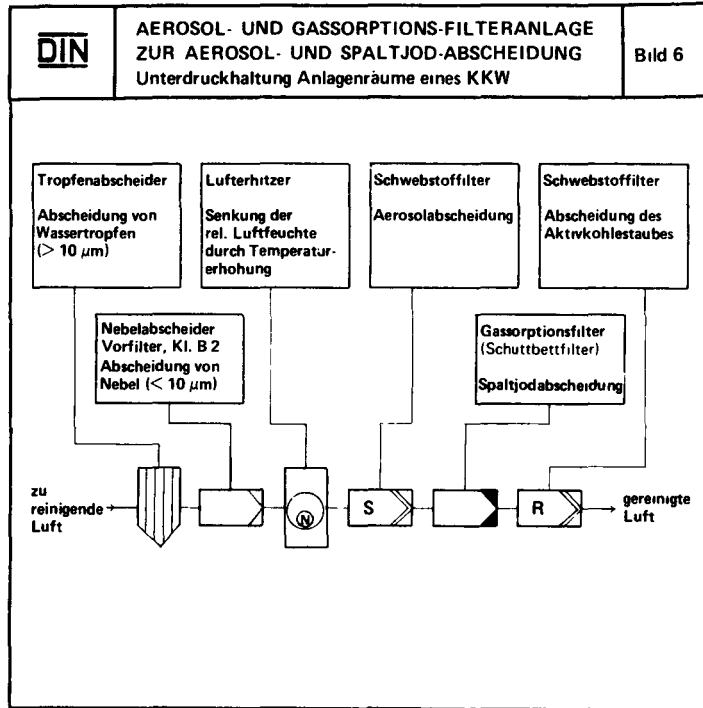


Abb. 6

Literatur:

- (1) DIN 24 184, Typprüfung von Schwebstoff-Filtern  
Deutsches Institut für Normung (DIN), Okt. 1974
- (2) Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Bonn, Richtlinie zur Prüfung von Filtern für die Lüftungs- und Klimatechnik, Staub 21, Nr. 5 (1961)
- (3) ASHRAE Standard 52-68, Method of testing air cleaning devices used in general ventilation for removing particulate matter. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), (1969).
- (4) MIL-STD-282, 28 May 1956, Method 102.9.1 DOP-smoke penetration and air resistance of filters, Office of the Assistant Secretary of Defence, Washington, USA (1956).
- (5) NF X 44-011, Méthode de mesure de l'efficacité des filtres au moyen d'un aerosol d'urantine (fluoresceine). Association française de normalisation (AFNOR), Mai 1972.
- (6) BS 39 28, Sodium flame test for air filters, British Standards Institution (BSI), 1969.



EXPERIENCE WITH HEPA FILTERS AT  
UNITED STATES NUCLEAR INSTALLATIONS

R.J.R. Bellamy

United States Nuclear Regulatory Commission  
Washington - U. S. A.

SUMMARY. Part 50 of Title 10 of the United States Code of Federal Regulations requires that a number of atmosphere cleanup systems be included in the design of commercial nuclear power plants to be licensed in the United States. These filtering systems are to contain high efficiency particulate air (HEPA) filters for removal of radioactive particulate matter generated during normal and accident conditions. Recommendations for the design, testing and maintenance of the filtering systems and HEPA filter components are contained in a number of United States Nuclear Regulatory Commission documents and industry standards. This paper will discuss this published guidance available to designers of filtering systems and the plant operators of U. S. commercial nuclear power plants. The paper will also present a survey of published reports of experience with HEPA filters, failures and possible causes for the failures, and other abnormal occurrences pertaining to HEPA filters installed in U. S. nuclear power installations. A discussion will be included of U. S. practices for qualification of HEPA filters before installation, and verification of continued performance capability at scheduled intervals during operation.

KURZFASSUNG. ERFAHRUNGEN MIT HEPA-FILTERN (HOCHLEISTUNGS-LUFTFILTERN) IN KERNTECHNISCHEN ANLAGEN DER USA. Teil 50, Titel 10 der "United States Code of Federal Regulations" schreibt vor, dass beim Entwurf von Kernkraftwerken, die in den Vereinigten Staaten zugelassen werden sollen, eine Reihe von Luftreinigungssystemen vorzusehen sind. Diese Filtersysteme müssen mit Hochleistungs-Luftfiltern (HEPA-Filtern) zur Abscheidung der während des Normalbetriebs und bei Störfällen erzeugten radioaktiven Schwebeteilchen ausgerüstet sein. Empfehlungen für die Konstruktion, Prüfung und Wartung von Filtersystemen und HEPA-Filterbauteilen sind in einer Reihe von Unterlagen der "United States Nuclear Regulatory Commission" und in Industrienormen enthalten. Die veröffentlichten Richtlinien, die Konstrukteuren von Filtersystemen und Betreibern von kommerziellen Kernkraftwerken in den USA zur Verfügung stehen, werden erörtert. Weiterhin wird ein Ueberblick gegeben über die veröffentlichten Erfahrungen mit HEPA-Filtern, Störungen und mögliche Störungsursachen sowie sonstige ungewöhnliche Ereignisse bezüglich der HEPA-Filter, die in kerntechnischen Anlagen in den Vereinigten Staaten eingebaut sind. Ausserdem werden die amerikanischen Qualitätsprüfverfahren für HEPA-Filter vor dem Einbau und die planmässige Prüfung der ständigen Leistungsbereitschaft während des Betriebs erörtert.

RESUME. L'UTILISATION DES FILTRES HEPA DANS LES CENTRALES NUCLEAIRES AUX ETATS-UNIS. La partie 50 du titre 10 du "Code of Federal Regulations" des Etats-Unis exige de prévoir un certain nombre de systèmes d'épuration de l'atmosphère dans les projets de centrales nucléaires commerciales soumis aux autorités compétentes. Ces systèmes de filtration doivent comprendre des filtres d'aérosols à haut rendement (filtres HEPA) destinés à arrêter les particules de matières radioactives engendrées en marche normale et en cas d'accident. Les recommandations concernant la conception, la vérification et l'entretien des systèmes de filtration et des éléments de filtres HEPA sont contenues dans plusieurs documents de la "Nuclear Regulatory Commission" des Etats-Unis et normes industrielles. Le présent exposé traite des recommandations

publiées dont disposent les réalisateurs de systèmes de filtration et les exploitants de centrales nucléaires commerciales américaines. Il donne aussi un aperçu des rapports d'expérience publiés sur les filtres HEPA, des échecs subis et des causes possibles ainsi que d'autres anomalies constatées, propres aux filtres HEPA, utilisés dans les installations nucléaires des États-Unis. L'exposé présente aussi les règles suivies aux États-Unis pour l'acceptation des filtres HEPA avant leur mise en place ainsi que pour la vérification à intervalle fixe du maintien de leurs performances durant l'exploitation.

Title 10 of the United States Code of Federal Regulations<sup>(1)</sup> is entitled "Energy," and includes, in part, the Federal regulations employed by the U. S. Nuclear Regulatory Commission regulating nuclear energy in the United States. Part 50 to Title 10, entitled "Licensing of Production and Utilization Facilities," contain numerous supporting appendices. In particular, Appendix A, "General Design Criteria for Nuclear Power Plants," contains 64 general design criteria that establish the necessary design, fabrication, construction, testing and performance requirements for structures, systems, and components important to the safety of a nuclear power plant. Six of these general design criteria are directly related to filtration systems whose design includes high efficiency particulate air (HEPA) filters. These six general design criteria are included as Appendix A to this paper.

Criteria 19, "Control Room," requires that adequate radiation protection be provided to permit access and occupancy of the control room under accident conditions, and that radiation exposures to reactor operators be limited. One protection mechanism is a filtration system that can control the concentration of airborne radioactivity entering the control room under accident conditions.

Criterion 41, "Containment Atmosphere Cleanup," Criterion 42, "Inspection of Containment Atmosphere Cleanup Systems," and Criterion 43, "Testing of Containment Atmosphere Cleanup Systems," are concerned with the cleanup of the containment atmosphere following an accident. Criterion 41 requires atmosphere cleanup systems (with redundancy) to control the concentration of fission products in the reactor containment and reduce the release of these fission products to the environment following postulated accidents. Criteria 42 and 43 require that these atmosphere cleanup systems be designed to permit periodic inspection and appropriate periodic testing, respectively.

Criterion 60, "Control of Releases of Radioactive Materials to the Environment," requires control of the release of radioactive materials in gaseous effluents during normal reactor operation. This requirement is satisfied by suitable normal ventilation exhaust filtration systems. Finally, Criterion 61, "Fuel Storage and Handling and Radioactivity Control" requires appropriate filtering systems to reduce the releases of gaseous radioactive material to the environment following a fuel handling accident.

The filtration systems required by the above regulations, to reduce the quantities of radioactive materials in gaseous effluents, consist of many components including HEPA filters. The primary function of these filters is to remove radioactive particulate matter generated during normal operation and accident conditions.

In conjunction with the above regulations that outline the need for atmosphere cleanup systems that include HEPA filters, the U. S. Nuclear Regulatory Commission publishes guidance for the design, testing and maintenance of these filtration systems and HEPA filter components. Conformance with these guidelines provides one acceptable method of satisfying the Commission's regulations. These guidelines are discussed below.

The filtration systems can be grouped into two categories: those designed to operate after a design basis accident (DBA), and those designed to operate during normal reactor operation. Guidance for atmosphere air cleanup systems designed to operate after a design basis accident (normally referred to as engineered safety feature - ESF - filter systems) is contained in Regulatory Guide 1.52, Revision 1,<sup>(2)</sup> "Design, Testing, and Maintenance Criteria for Engineered Safety Feature Atmosphere Cleanup System Air Filtration and Adsorption Units of Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants." Guidance for filtration systems designed to operate during normal reactor operation is contained in Branch Technical Position (BTP) Effluent Treatment Systems Branch (ETSB) No. 11-2,<sup>(3)</sup> "Design, Testing, and Maintenance Criteria for Normal Ventilation Exhaust System Air Filtration and Adsorption Units of Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants."

USNRC Regulatory Guides are used to describe and make available to the public methods acceptable to the NRC staff for implementing specific parts of the Commission's regulations. It should be emphasized that these Regulatory Guides are not substitutes for regulations, and compliance with them is not required. Methods different from those set out in these guides are acceptable if a basis is provided for the variance. Regulatory Guide 1.52<sup>(4)</sup> was issued in July 1973 to present methods acceptable to USNRC for implementing the Commission's regulations in General Design Criteria 19, 41, 42, 43, 60 and 61 of Appendix A to 10 CFR Part 50 that have been discussed above. The Regulatory Guide addresses the required atmosphere cleanup systems, including the various components, and in particular, addresses the need for and design of HEPA filters. Background information for the guide was published in a paper presented by

Dr. R. Zavadoski in Karlsruhe (W. Germany), 4-6 December 1973,<sup>(5)</sup> at a seminar sponsored by the Directorate Health Protection of the Commission of the European Communities. This paper will discuss the recommendations of Revision 1 to Regulatory Guide 1.52, issued for public comment in July 1976.

HEPA filters are one of the necessary components of all ESF atmosphere cleanup systems. Two banks of HEPA filters are recommended; one bank upstream of the radioiodine adsorbers (activated carbon) to remove discrete particulate matter, and one bank downstream of the radioiodine adsorbers to remove carbon fines. Filter banks limited to 30,000 cfm (three filters high by ten wide) are recommended to facilitate testing and maintenance. It is recommended that each HEPA filter be steel cased and designed in conformance with two U. S. military specifications, MIL-F-51068 and MIL-F-51079. MIL-F-51068<sup>(6)</sup> covers the assembled filter and includes guidance on the frame, gaskets, faceguards, adhesives and sealants, separators, paint finishes, construction tolerances, performance specifications prior to installation (penetration, resistance to airflow, rough handling, pressure, heated air, spot flame, and resistance to environmental exposure), and quality assurance provisions. MIL-F-51079<sup>(7)</sup> covers the filter medium, and includes guidance on the form, size, splices, airflow resistance, penetration, tensile strength, water repellancy, folds, mildew resistance, acidity, thickness, combustible material, and quality assurance provisions. In addition, the filters must be capable of withstanding the environmental conditions postulated after an accident.

In addition to the above design guidance, Regulatory Guide 1.52 also recommends that each individual HEPA filter be sent to an Energy Research and Development Administration (ERDA) Quality Assurance Filter Testing Station prior to shipment to a site, for an independent verification of the specifications contained in MIL-F-51068. Past experience has indicated that the filter testing stations find from 1 to 10% of the tested filters out of specification, and these filters are therefore rejected as not suitable for service in nuclear installations.

USNRC guidance does not terminate with the qualification of a HEPA filter for installation in a filter bank. An in-place dioctyl phthalate (DOP) test should be performed upon installation, once during each reactor operating cycle, following painting, fire, or chemical release in any ventilation zone communicating with the system, or if the filter bank is entirely or partially replaced. This in-place test is to be performed in accordance with American National Standards Institute (ANSI) N510-1975,<sup>(8)</sup> "Testing of Nuclear Air Cleaning Systems." In-place testing shall confirm a penetration of less than 0.05% DOP at rated flow, in which case the filter system is assigned a 99% removal efficiency for particulates in accident dose evaluations. Periodic in-place testing for all HEPA filter banks of ESF filter system is considered of utmost importance; therefore, it is made a part of each reactor's operating license via plant Technical Specification. The Technical Specifications are binding upon the plant's operability. Nonconformance with these Technical Specifications can lead to monetary fines to the utility or, in extreme instances, a shutdown of the reactor.

Branch Technical Position Effluent Treatment Systems Branch No. 11-2, which is part of the NRC's Standard Review Plans (SRP), is a parallel document to Regulatory Guide 1.52, and contains the USNRC's guidance for HEPA filters installed in normal ventilation exhaust systems. SRPs are prepared for the guidance of the USNRC staff in performing a detailed safety review of an application to construct or operate a nuclear power plant. The application of the SRP should improve the quality and uniformity of staff reviews, and present a well-defined base for evaluation of proposed changes in the scope and requirements of reviews. The SRPs also serve to implement USNRC policy on making information about regulatory matters widely available and to improve communication and understanding of the staff review process by interested members of the public and the nuclear power industry.

HEPA filters are indicated as necessary components of all normal ventilation exhaust systems. One bank of HEPA filters is recommended upstream of the iodine adsorbers, and a second bank of HEPA filters downstream of the carbon adsorbers to retain carbon fines. As in Regulatory Guide 1.52, banks should be limited to 30,000 cfm to facilitate testing and maintenance, and each HEPA filter should be designed, installed and tested in accordance with the two military specifications, MIL-F-51068 and MIL-F-51079. However, each HEPA filter need not be tested at an ERDA Quality Assurance Filter Testing Station; testing performed by each filter vendor is considered satisfactory. Recommendations for in-place DOP testing are similar to those contained in Regulatory Guide 1.52 for ESF systems. Each in-place test should confirm a DOP penetration of less than 0.05% at rated flow, whereupon the filtration system is assigned a 99% removal efficiency for particulates for evaluation purposes.

Experience with HEPA filters in the United States has demonstrated that these atmosphere cleanup components are extremely reliable in service of nuclear installations. One of the primary reasons for this favorable occurrence is the implementation of the regulations and guides discussed above. However, there have been a number of reported failures or unusual occurrences pertaining to installed HEPA filters. A number of these events are discussed below.

Moisture and acid damage to installed HEPA filters has been observed to quickly degrade the filters to a point where they need immediate replacement. Three such occurrences were reported<sup>(9)</sup> from fuel handling facilities at nuclear power reactors in the early 1970's. In one instance, no cause of the moisture could be observed and the filters were replaced. In another instance, moisture and acid inadvertently entered the exhaust duct upstream of the filters, became adsorbed on the filter media, and resulted in the filters being replaced. Modifications were made to the exhaust system to prevent re-occurrence. In the third instance, the presence of acid in the filtration system was expected and considered in the design, but non-acid resistant filters were installed by mistake. When the proper filters were installed, no further problem existed.

Three additional instances of filter failures due to moisture damage have been reported at nuclear power generating stations. At Quad-Cities Generating Station,<sup>(10)</sup> an 800 MWe boiling water reactor, a drain valve was inadvertently closed and prevented drainage of condensation from the filter system to a sump. The accumulation of water led to the filter becoming extremely wet and resulting in a degradation of filter performance. Two in-place tests showed the degradation to result in a removal efficiency of 68.7% and 70.3%, respectively. When the drain valve was locked open and the filter replaced, the problem was resolved, and in-place testing showed a leak-tightness of greater than 99.97%. Two unrelated filter failures due to moisture have occurred at the Monticello Nuclear Generating Plant, a 545 MWe boiling water reactor. The first event<sup>(11)</sup> showed a DOP leak-tightness of 91% for one of the two parallel off-gas system HEPA filters, with the second off-gas filter testing at 99.99% efficiency. Re-tests of the failed filter were unsuccessful, until the filter was replaced, whereupon the system demonstrated 99.99% leak-tightness. Inspection of the failed filter revealed that moisture damage was the probable cause of the inefficiency. The second event<sup>(12)</sup> at Monticello resulted in the HEPA filters becoming saturated due to the flooding of a line between a storage building and the filter building, resulting from a plugged drain line. When moisture reached the filter, the filter high pressure differential alarm sounded. The redundant filter was placed in service, and tested at 99.96% efficient, while the failed filter tested at 0%. This failed filter was removed, allowed to dry out for 10 days, and re-installed in the system since no immediate replacement was available (the filters are of a special design). After re-installing the dried-out failed filter, it tested at 97% efficient, showing the importance of keeping HEPA filters dry to ensure proper performance.

One occurrence<sup>(13)</sup> of acid damage (dilute nitric acid) to HEPA filters was observed only upon the spent filters reaching a burial ground in Nevada. The shipment consisted of 14 HEPAs individually packed in fiberboard containers, then packaged in one "Super Tiger" shipping container. This container satisfied all U. S. regulations pertaining to impact and thermal protection, and was an eight foot by eight foot by twenty foot box constructed of 3/16-inch steel. The filters in the shipping container were

from the Kerr-McGee Nuclear Corporation's Cimarron Oklahoma Plant, where they were installed in a glovebox system where scrap plutonium was processed. While the shipping container was being unloaded, one fiberboard carton was hot to the touch even through workgloves, the surface of the carton was scorched and the nylon sealing tape had melted. No radiation contamination was observed, but the effects of the acid on the filter media and the filter components was obvious.

The previously discussed Monticello Nuclear Generating Plant has also reported<sup>(14)</sup> filter failures in one of their standby gas treatment system trains. The upstream HEPA filters in one bank were tested to be only 96% efficient, whereas the downstream bank tested at 99.92% efficient. Upon inspection, small burn holes were observed on the upstream side of the upstream filters. These burn holes were caused by sparks from a cutting torch or grinding which were used when the air heater had been recently modified. Upon replacement of two of the eight filters in the bank, a retest revealed that the filter bank was 99.97% efficient.

One occurrence of the HEPA filters simply becoming exhausted was reported<sup>(15)</sup> by the Quad-Cities Station in 1974. Routine inspection revealed that one of the standby gas treatment system trains was operating at a lower than normal flow as indicated on a local flow indicator. The differential pressure gage indicated 4.8 inches of water across the filter. Since this value exceeded the allowable value in the plant Technical Specifications, the filters were replaced, although in-place DOP testing revealed that the filter bank was 99.98% leak-tight.

One area where HEPA filters have undergone numerous failures has been in boiling water reactor off-gas systems, due to explosions in the delay lines rupturing the filters. It is believed that the detonations occurred due to ignition of the hydrogen (in stoichiometric quantities with oxygen) normally present in the off-gas system. Following detonation, the HEPA filters need to be replaced immediately since these filters are not designed to withstand the resultant pressure surges, and rupture (most of the off-gas system components are designed to withstand the effects of the detonation).

One of the largest users of HEPA filters in the United States is the Rocky Flats Facility, operated by Dow Chemical Company for ERDA, located in Colorado.<sup>(16)</sup> These plutonium processing facilities require multiple (two to four) stage filtration. Recent modifications to the filter plenums have facilitated DOP testing, which must certify at least 99.95% efficiency. The recent modifications have included walk-in plenums for installation and inspection of filters, plenums of all metal, welded construction with marine bulkhead doors to minimize leakage, viewports, good illumination, and limiting filter plenum sizes to 44 filters. With these modifications, an installed filter was purposely subjected to defects to verify the leak detection methods. Defects sized from 5.1 cm in diameter to 1.3 cm in diameter resulted in measured efficiencies ranging from 99.59 to 99.96%. Thus, the filter plenum modifications resulted in easily tested filter banks. One problem uncovered was that a large number of very small leaks cannot be differentiated from a few large leaks. A scanning probe, however, has solved this difficulty.

One large-scale ventilation exhaust assembly was subjected to a variety of independent in-place tests<sup>(17)</sup> to allow a comparative evaluation of testing procedures. This work was performed at the Atlantic Richfield Hanford Company Purex Plant in Richland, Washington. The Hanford Purex Plant is used for chemical reprocessing of spent irradiated nuclear fuels to recover and purify uranium, plutonium and neptunium. Nitric acid and organic solvents are used in the chemical reprocessing, and are associated with the airborne radioactive particulate matter generated by reprocessing. Two essentially identical independent filter trains are provided. These trains were subjected to in-place leak testing by introducing aerosol into the exhaust air upstream of the filters and measuring the aerosol concentration downstream of each filter unit. The three test methods employed were sodium aerosol, fluorescein aerosol, and DOP aerosol. The sodium aerosol was counted using a condensation nuclei counter that resulted in efficiencies being less than expected, since the counter is not specific for sodium nuclei and can detect particle sizes down to 0.001 micron. Only filter train #1 was tested, and the average efficiency was 99.09% (average of 3 tests, range of 98.90 to 99.39). This testing procedure is not considered acceptable. On the other hand, fluorescein and DOP tests are considered representative, reproducible and acceptable. The fluorescein aerosol was counted by collection on a millipore filter and a calibrated fluorometer. Results on train #1 averaged 99.79% (3 tests, range of 99.61 to 99.99) and results on train #2 averaged 99.50% (3 tests, range of 99.22 to 99.92). DOP efficiencies were quite similar, and were obtained using a light-scattering photometer. Two tests on train #1 duplicated 99.74%, two tests on train #2 averaged 99.66% (99.64 and 99.68), while a test on trains #1 and #2 combined yielded 99.60%. Thus, the DOP and fluorescein tests are considered acceptable procedures, whereas the sodium nuclei test is not considered acceptable.

In summary, this paper has discussed USNRC regulations and guidelines pertaining to HEPA filters to be employed in commercial U. S. nuclear generating stations. Some of the failure experience with these HEPA filters has been presented, and it should be noted that most failures result from personnel errors or design errors, but are not the result of HEPA filter failures. A number of large-scale in-place test results have also been presented on operating ventilation systems. Generally, U. S. experience with HEPA filters has shown them to be extremely reliable components in nuclear air cleaning systems.



## APPENDIX A

General Design Criteria 19, 41, 42, 43, 60 and 61 to Appendix A to Part 50 of Title 10 of the United States Code of Federal Regulations.

Criterion 19 - Control Room. A control room shall be provided from which actions can be taken to operate the nuclear power unit safely under normal conditions and to maintain it in a safe condition under accident conditions, including loss-of-coolant accidents. Adequate radiation protection shall be provided to permit access and occupancy of the control room under accident conditions without personnel receiving radiation exposures in excess of 5 rem to the whole body, or its equivalent to any part of the body, for the duration of the accident.

Equipment at appropriate locations outside the control room shall be provided (1) with a design capability for prompt, hot shutdown of the reactor, including necessary instrumentation and controls to maintain the unit in a safe condition during hot shutdown of the reactor, and (2) with a potential capability for subsequent cold shutdown of the reactor through the use of suitable procedures.

Criterion 41 - Containment Atmosphere Cleanup. Systems to control fission products, hydrogen, oxygen, and other substances which may be released into the reactor containment shall be provided as necessary to reduce, consistent with the functioning of other associated systems, the concentration of hydrogen or oxygen and other substances in the containment atmosphere following postulated accidents to assure that containment integrity is maintained.

Each system shall have suitable redundancy in components and features, and suitable interconnections, leak detection, isolation and containment capabilities to assure that for onsite electric power system operation (assuming offsite power is not available) and for offsite electric power system operation (assuming onsite power is not available) its safety function can be accomplished, assuming a single failure.

Criterion 42 - Inspection of Containment Atmosphere Cleanup Systems. The containment atmosphere cleanup systems shall be designed to permit appropriate periodic inspection of important components, such as filter frames, ducts and piping to assure the integrity and capability of the systems.

Criterion 43 - Testing of Containment Atmosphere Cleanup Systems. The containment atmosphere cleanup systems shall be designed to permit appropriate periodic pressure and functional testing to assure (1) the structural and leaktight integrity of its components, (2) the operability and performance of the active components of the system such as fans, filters, dampers, pumps and valves and (3) the operability of the systems as a whole and, under conditions as close to design as practical, the performance of the full operational sequence that brings the systems into operation, including operation of applicable portions of the protection system, the transfer between normal and emergency power sources, and the operation of associated systems.

Criterion 60 - Control of releases of radioactive materials to the environment. The nuclear power unit design shall include means to control suitably the release of radioactive materials in gaseous and liquid effluents and to handle radioactive solid wastes produced during normal reactor operation, including anticipated operational occurrences. Sufficient holdup capacity shall be provided for retention of gaseous and liquid effluents containing radioactive materials, particularly where unfavorable site environmental conditions can be expected to impose unusual operational limitations upon the release of such effluents to the environment.

Criterion 61 - Fuel Storage and Handling and Radioactivity Control. The fuel storage and handling, radioactive waste, and other systems which may contain radioactivity shall be designed to assure adequate safety under normal and postulated accident conditions. These systems shall be designed (1) with a capability to permit appropriate periodic inspection and testing of components important to safety, (2) with suitable shielding for radiation protection, (3) with appropriate containment, confinement, and filtering systems, (4) with a residual heat removal capability having reliability and testability that reflects the importance to safety of decay heat and other residual heat removal, and (5) to prevent significant reduction in fuel storage coolant inventory under accident conditions.

REFERENCES

1. United States Code of Federal Regulations, Title 10, "Energy".
2. USNRC Regulatory Guide 1.52 (Rev. 1), "Design, Testing and Maintenance Criteria for Engineered-Safety-Feature Atmosphere Cleanup System Air Filtration and Adsorption Units of Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants," July 1976.
3. Branch Technical Position - Effluent Treatment Systems Branch No. 11-2, "Design, Testing and Maintenance Criteria for Normal Ventilation Exhaust System Air Filtration and Adsorption Units of Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants," NUREG-75/087, "Standard Review Plan LWR Edition," September 1975.
4. USNRC Regulatory Guide 1.52, "Design, Testing and Maintenance Criteria for Atmosphere Cleanup System Air Filtration and Adsorption Units of Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants," June 1973.
5. R. Zavadoski, "Background Information for USAEC Regulatory Guide 1.52," Commission of the European Communities Seminar on Iodine Filter Testing, Karlsruhe, W. Germany, 4-6 December 1973.
6. MIL-F-51068, "Filter, Particulate, High-Efficiency, Fire-Resistant," U. S. Department of Defense Military Specification.
7. MIL-F-51079, "Filter Medium, Fire-Resistant, High-Efficiency," U. S. Department of Defense Military Specification.
8. ANSI N510-1975, "Testing of Nuclear Air Cleaning Systems," American National Standards Institute.
9. D. Moeller, "Performance of Air Cleaning Systems in Nuclear Facilities," 13th USAEC Air Cleaning Conference, CONF-740807, 12-15 August, 1974.
10. Letter, B. B. Stephenson, Quad Cities Nuclear Power Station, Commonwealth Edison Company, to J. F. O'Leary, Director, Directorate of Licensing, U. S. Atomic Energy Commission "Quad Cities Nuclear Power Station, Docket No. 50-254, DPR-29, Appendix A, Sections 1.0 A 5, 6.6 B," October 29, 1973.
11. Letter, R. O. Duncanson, Jr., Chairman-Monticello Safety Audit Committee, Northern States Power Company, to P. A. Morris, Director, Division of Reactor Licensing, U. S. Atomic Energy Commission, "Monticello Nuclear Generating Plant E-5979, Docket No. 50-263, License No. DPR-22, Unsuccessful Efficiency Testing of a Standby Gas Treatment System Particulate Filter," February 23, 1971.
12. Letter, L. O. Mayer, Director of Nuclear Support Services, Monticello Nuclear Generating Plant, Northern States Power Company to J. F. O'Leary, Director, Directorate of Licensing, U. S. Atomic Energy Commission, "Unusual Event Report to the AEC, Off-Gas High-Efficiency Particulate Filter Failures," August 14, 1974.
13. USNRC Operating Experience Bulletin Information Report, "Radioactive Waste Package HEPA Filter Incident," May 7, 1976.

14. See Reference No. 11.
15. Letter, N. J. Kalivianakis, Quad-Cities Station Superintendent, Commonwealth Edison Company, to J. F. O'Leary, Director, Directorate of Licensing, U. S. Atomic Energy Commission "Quad-Cities Nuclear Power Station, Docket No. 50-265, DPR-30, Appendix A, Sections 1.0.A.4, 4.7.B.1.a(1), and 6.6.B.1.a," June 22, 1974.
16. F. J. Linck and J. A. Greer, "In-Place Testing of Multiple Stage HEPA Filter Plenums," 13th USAEC Air Cleaning Conference, CONF-740807, 12-15 August, 1974.
17. B. J. Grady, K. H. Henry, "In-Place Efficiency Tests of a Large-Scale Ventilation Exhaust Filter" 12th USAEC Air Cleaning Conference, CONF-720823, 28-31 August 1972.

LES INSTALLATIONS DE FILTRATION "ABSOLUE" DE L'AIR  
DANS L'INDUSTRIE NUCLEAIRE  
CONCEPTION - SECURITE - EXPERIENCE

J. C. Lucas  
Sofiltra Poelman  
Paris - FRANCE

RESUME.

- La conception des filtres "ABSOLUS" (HEPA FILTERS)
  - . Les papiers filtres en fibre de verre - Normes et caractéristiques : efficacité - tenue au feu, à l'humidité, à l'irradiation . . . .
  - . Les divers types de plissage du papier - à plis profonds et à petits plis avec montage en dièdres.
  - . Les cellules filtrantes - réalisations - caractéristiques et contrôle de production.
- La conception des équipements de filtration
  - . Le montage sur plateformes en caissons métalliques ou en béton. Conceptions françaises et américaines (Regulatory Guide 1-52).
  - . Les caissons à sas étanche permettant l'évacuation des filtres contaminés sans rupture d'étanchéité.
  - . Les avantages et inconvénients des 2 systèmes en matière d'économie d'exploitation et de sécurité.
- Résultats d'exploitation
  - . Contrôles in situ d'efficacité effectués par le CEA.
  - . Durées de vie des divers types de filtres - Résultats d'expérience.

KURZFASSUNG. ANLAGEN ZUR "ABSOLUT"-LUFTFILTERUNG IN DER KERNINDUSTRIE - KONZEPTION - SICHERHEIT - ERFAHRUNGEN

- Konzeption der "ABSOLUT"-Filter (HEPA-FILTER)
  - . Glasfaser-Papierfilter - Normen und Kenndaten : Abscheideleistung - Feuerbeständigkeit, Verhalten bei Feuchtigkeit und Bestrahlung usw.
  - . Verschiedene Arten von Papierfaltung - Tieffaltung und Kleinfaltung mit V-förmiger Anordnung.
  - . Filterzellen - Herstellungsformen - Kenndaten und Produktionskontrolle.
- Konzeption von Filterausrüstungen
  - . Einbau auf Plattformen in Metall- oder Betonkästen. Französische und amerikanische Konzeptionen (Regulatory Guide 1-52).
  - . Bei mit Schleusen ausgestatteten Kästen lassen sich die beladenen Filter herausnehmen, ohne dabei die Abdichtung aufzuheben.
  - . Vor- und Nachteile beider Systeme im Hinblick auf Wirtschaftlichkeit, Betriebsbedingungen und Sicherheit.
- Betriebsergebnisse
  - . Vom CEA in-situ durchgeführte Prüfungen der Wirksamkeit.
  - . Lebensdauer der verschiedenen Filtertypen - Erfahrungen.

SUMMARY. ABSOLUTE AIR FILTERING EQUIPMENT IN THE NUCLEAR INDUSTRY - DESIGN - SAFETY - EXPERIENCE

- The design of absolute filters (HEPA FILTERS)
  - . Glass-fibre filter papers; standards and characteristics : efficiency, fire-resistance, humidity-resistance, radiation resistance, etc .
  - . Various types of paper folding : deep folds and small folds, dihedrally mounted.
  - . Filtering elements; designs; characteristics and quality control.
- The design of filtration equipment
  - . Mounting in metal or concrete casings. French and American designs (Regulatory Guide 1-52).
  - . Gas-tight casings allowing contaminated filters to be renewed without breaking the gas-tight seal.

- . The advantages and disadvantages of the two systems from the point of view of operating costs and safety.
- Operational results
  - . In-situ efficiency tests carried out by the CEA.
  - . Life span of the various types of filter; experience gained.

Dans une installation nucléaire, qu'il s'agisse de réacteurs, d'usines de retraitement de combustibles irradiés, de laboratoires, il y a toujours, malgré les très grandes précautions prises en ce qui concerne l'étanchéité des divers appareils contenant les produits radioactifs, un risque de contamination par des aérosols radioactifs, et éventuellement de diffusion de radio-iodes.

Pour éviter tout danger de contamination extérieure, les circuits actifs sont placés dans des enceintes dites de " confinement " qui sont maintenues constamment en dépression par rapport à l'extérieur, grâce à un système de ventilation intense.

On distingue généralement 3 zones dites inactive, semi-active et active en fonction du risque de contamination qu'elles présentent. Dans ces deux dernières, une cascade de dépression est maintenue, de manière à éviter que par un mouvement d'air non contrôlé, la contamination ne puisse s'étendre d'une zone active vers une zone qui l'est moins. L'air ainsi transféré d'une zone à une autre par dépression est extrait dans les zones active et semi-active et passe, avant rejet à l'extérieur, sur des filtres à très haute efficacité dits " absolus " et si nécessaire, sur des pièges à iode.

#### LES SPECIFICATIONS TECHNIQUES RELATIVES AUX FILTRES "ABSOLUS"

LES SPECIFICATIONS AMERICAINES consignées dans le Regulatory Guide 1-52 de l'Atomic Energy Commission précisent que les filtres " absolus " - HEPA Filters - doivent être en conformité avec les normes militaires MIL-F-51.079 A pour le papier filtrant et MIL-F-51.068 C pour le filtre à proprement parlé.

Voyons rapidement ce que comportent ces normes.

Pour ce qui est du papier en fibre de verre, sa perméance doit être au maximum de 0,03% vis-à-vis d'un aérosol de di-octyl-phtalate monodispersé de 0,3  $\mu$ , et sa perte de charge ne doit pas excéder 40mm C.E. à 5,3cm/s. La norme précise également

les caractéristiques de résistance à la traction, d'ininflammabilité et d'hydrofugation.

En ce qui concerne les filtres, la norme, qui est relative à la conception américaine à plis profonds, impose une efficacité minimale de 99,97% au DOP  $0,3\mu$  et une perte de charge de 25mm C.E. pour un débit de 1.700 m<sup>3</sup>/h. De plus, elle précise les critères d'ininflammabilité, de tenue à l'humidité et en température auxquels doivent répondre les filtres.

Il convient de noter que les filtres américains de conception courante comportent un cadre en bois. Pour les applications nucléaires, le Regulatory Guide impose des cadres métalliques.

LES SPECIFICATIONS FRANCAISES du COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE et de l'ELECTRICITE DE FRANCE portent essentiellement sur les caractéristiques de l'installation de filtration en fonctionnement. Le coefficient d'épuration, mesuré in situ à l'aérosol de fluoresceine sodée encore appelée uranine de  $\emptyset$  médian  $0,15\mu$ , doit être au minimum de 1.000, soit une efficacité de 99,9%. Les filtres doivent avoir subi avec succès des essais de type effectués par les services spécialisés du CEA. Ces essais portent sur l'efficacité, la perte de charge et les tenues mécanique, thermique, à l'eau et au feu.

En ce qui concerne la tenue à l'humidité, tous les papiers en fibre de verre n'ont pas, contrairement à ce que l'on pourrait penser, le même comportement. M. STRATMANN du Centre de JULICH en Allemagne, a constaté que certains filtres voyaient leur perte de charge monter rapidement à plus de 100mm C.E. en présence d'air saturé d'humidité, alors que d'autres conservaient une perte de charge constante pendant plus de 40 h.

La tenue au feu des papiers tout fibre de verre est généralement très satisfaisante, les classant en M1 suivant la réglementation française. Par contre, nous voulons attirer l'attention sur les difficultés qu'il y a, à utiliser des produits d'étanchéité de meilleure tenue que celle correspondant à la classe M3. Il convient, d'ailleurs, de noter que ceci est en



conformité avec le nouveau règlement de sécurité que prépare le Ministère de l'Intérieur pour les établissements recevant du public, et qui stipule que les filtres à air doivent être réalisés avec des matériaux de classes M0 à M3 inclus.

Depuis peu, certains exploitants se préoccupent de la tenue à l'irradiation de leurs filtres " absolus ". D'ailleurs, la norme américaine MIL-F-51.079 B, en cours de mise au point, prévoit des critères de tenue à une irradiation de  $10^8$  Rads. Dans cette optique, nous avons fait irradier à cette dose les divers produits entrant dans nos filtres standard, et n'avons constaté aucune diminution des caractéristiques essentielles à l'exception de l'hydrofugation du papier qui est affectée de façon sensible. Toutefois, si une tenue à l'humidité à  $10^8$  Rads s'avèrait nécessaire pour certaines applications particulières, nous disposons d'un papier spécial répondant à ces critères.

#### LES DIVERSES CONCEPTIONS DE FILTRES " ABSOLUS "

Du point de vue dimensionnel, les filtres " absolus " sont pratiquement standardisés au format américain de 610 x 610 x 292mm. Par contre, il existe deux conceptions différentes de réalisation :

- La conception américaine basée sur le plissage du papier à plis profonds, c'est-à-dire suivant toute la profondeur du filtre. Les plis sont maintenus écartés par des intercalaires gaufrés réalisés en carton ou en aluminium.
- La conception française, développée à l'origine par SCHNEIDER POELMAN et SOFILTRA, basée sur le plissage à petits plis - de 20mm de haut - entretoisés au moyen de fils ou de bandelettes. Ce mode de plissage permet de former des éléments rigides qui sont disposés en V dans la cellule filtrante.

Les croquis et tableau ci-joints (figure 1) mettent en évidence les différences de construction et de caractéristiques existant entre ces deux principes de réalisation.

Il faut noter que la conception à petits plis permet la mise en oeuvre d'une surface de papier plus importante et par suite, de traiter un plus grand débit d'air atteignant 3.000 m<sup>3</sup>/h. Ceci entraîne une réduction sensible de l'encombrement des équipements de filtration. Ces filtres ont, également, l'avantage d'être de conception plus robuste, les nappes de papier plissé étant bien protégées.

Tous filtres " absolus " doit, en usine, subir un contrôle individuel d'efficacité et de perte de charge. L'efficacité est, le plus souvent, contrôlée suivant la méthode au DOP, les mesures de concentration s'effectuant presque instantanément au moyen d'un photomètre à aérosol. Les méthodes de tests au Cl Na, au brouillard d'huile, et à l'uranine sont également utilisées. Cette dernière méthode, développée par le CEA, a l'avantage d'offrir une plus grande sensibilité, mais est un peu plus longue à appliquer.

#### LES DIFFERENTES CONCEPTIONS D'EQUIPEMENT DE FILTRATION -

Il existe, actuellement, diverses conceptions concernant la réalisation des équipements de filtration de l'air extrait des zones contaminables. Elles peuvent se classer en 2 grandes catégories :

- Les équipements avec plateformes-supports de filtres à l'intérieur desquels il faut pénétrer pour procéder aux remplacements des éléments filtrants.
- Les caissons à sas étanches qui permettent, sans avoir à pénétrer à l'intérieur, d'évacuer chaque filtre individuellement sous sac plastique, c'est-à-dire sous protection alpha.

Ces équipements comportant souvent des pièges à iode, nous en ferons mention car ils ont une grande incidence sur le dimensionnement, sans toutefois insister sur leurs caractéristiques, attendu que ceux-ci sortent du cadre de ce séminaire.

### EQUIPEMENTS AVEC PLATEFORMES - CONCEPTION EDF (figure 2)

Ces équipements sont réalisés en béton et comportent un certain nombre de plateformes en acier doux protégé par peinture décontaminable. Ces plateformes conçues pour recevoir des filtres 610 x 610 x 292mm, qu'il s'agisse de filtres "absolus" ou de pièges à iode, comportent des manchettes sur lesquelles on peut, au moment de l'évacuation des filtres, monter un sac en vinyl afin d'extraire le filtre contaminé sous protection. Nous avons récemment développé une variante à ce procédé. Elle consiste à prévoir un manchon en plastique entre la manchette et le filtre, évitant ainsi toute rupture d'étanchéité lors de l'évacuation du filtre contaminé et de la mise en place du filtre neuf.

Les équipements comportent, généralement, un étage de filtres " absolus " avec possibilité d'adaptation de préfiltres en amont, et un ou deux étages de pièges à iode. Il faut noter que ce sont les pièges à iode - débit maximal 1.400 m<sup>3</sup>/h pour une vitesse de passage de 30cm/s - qui déterminent les dimensions frontales du caisson, et que la section utile à leur implantation peut atteindre le double de celle nécessaire aux filtres " absolus ".

### EQUIPEMENTS AVEC PLATEFORMES - CONCEPTION AMERICAINE (figure 3)

Conformément au Regulatory Guide 1-52, les équipements sont réalisés en acier doux de forte épaisseur protégé par peinture décontaminable, à l'exception des plateformes qui sont construites en acier inoxydable. L'ensemble est conçu d'après les spécifications correspondant à la classe sismique n° 1 afin d'assurer le fonctionnement de l'équipement en toutes circonstances. Des dévésiculeurs sont installés en tête de l'équipement et sont suivis d'une batterie de réchauffage destinée à abaisser, en cas d'accident dans l'enceinte de confinement du réacteur, l'hygrométrie en dessous de 70%. Les préfiltres doivent présenter une efficacité minimale de 40% suivant la méthode ASHRAE opacimétrique. Les pièges à iode peuvent être constitués par des cellules à charbon actif, mais on utilise de plus en plus aux Etats-Unis des adsorbateurs à lits fixes

dans lesquels, le charbon actif est admis et évacué par voie pneumatique. Les avantages de ces adsorbants sont brièvement les suivants :

- Encombrement réduit : la section frontale de l'adsorbant est inférieure à celle des filtres " absolus ".
- Facilité et sécurité d'exploitation : les opérations de vidange et de remplissage sont effectuées sur le site supprimant ainsi les opérations de démontage, et de remontage propres aux cellules à charbon actif.
- Economie d'exploitation résultant de la suppression des opérations précitées.

On peut remarquer que suivant la conception américaine, il est prévu presque systématiquement un deuxième étage de filtration " absolue " dont le rôle, à notre avis, est discutable. Certes il existe derrière les pièges à iode, qu'il s'agisse de cellules ou d'adsorbants à manutention pneumatique, un risque d'entraînement de fines particules de charbon, mais celles-ci ne sauraient être contaminées puisque les pièges à iode sont précédés par des filtres " absolus ". Nous pensons qu'il incombe aux spécialistes des problèmes de sécurité nucléaire de trancher sur ce point.

En ce qui concerne les préfiltres d'extraction, il existe deux écoles : l'une qui prévoit systématiquement des préfiltres en amont des filtres " absolus " pour en accroître la durée de vie ; l'autre, française, qui, compte tenu de la grande surface de filtration des filtres de production nationale, n'en prévoit, généralement pas. Dans ce domaine, il ne faut pas perdre de vue que l'évacuation d'un filtre contaminé, qu'il s'agisse d'un préfiltre ou d'un filtre " absolu " demande beaucoup de précaution, un personnel spécialisé et un temps non négligeable, de sorte que l'opération coûte chère à l'exploitant. C'est pourquoi nous pensons qu'il est préférable, d'autant que les concentrations en poussière sont généralement faibles, de n'installer en extraction que des filtres " absolus " en déterminant leurs caractéristiques de débit et de perte de charge finale colmatée, pour obtenir une durée de vie

d'environ deux ans.

CAISSONS A SAS ETANCHES (figure 4)

Depuis quinze ans, nous avons installé de nombreux caissons à sas étanches tant en France qu'à l'étranger dans des usines de retraitement, des laboratoires à haute activité, des réacteurs etc. . .

Ces caissons ont l'avantage de permettre l'évacuation de chaque filtre contaminé ainsi que la mise en place d'un filtre neuf sous sac vinyl c'est-à-dire sans rupture d'étanchéité. De ce fait, ce procédé assure une protection totale du personnel contre les risques de contamination accidentelle.

Les caissons à sas étanches offrent de nombreuses possibilités d'arrangement. Réalisés en acier doux protégé par peinture décontaminable, ils peuvent comporter jusqu'à quatre étages de filtration : préfiltres - filtres " absolus " - pièges à iode-filtres " absolus ". Ils sont conçus pour recevoir des filtres de dimensions standard 610 x 610 x 292mm qu'il s'agisse de filtres " absolus " ou de pièges à iode. Le débit des cellules à charbon actif étant limité à 1.400 m<sup>3</sup>/h, leur nombre devra être sensiblement le double de celui des filtres " absolus ". Par suite, on aura intérêt, pour des débits d'air importants, à dissocier filtres " absolus " et pièges à iode, et à les installer dans des caissons séparés montés en série comme représentés sur la figure 4.

-:-:-:-:-

Il est bien difficile, au constructeur de matériel de filtration que nous sommes, de formuler un choix entre les trois types de conception que nous venons d'examiner car celui-ci est fonction de l'estimation des risques de contamination accidentelle propre à chaque installation. Il faut toutefois noter que la formule des caissons à sas étanches offre le maximum de sécurité pour le personnel d'exploitation, alors qu'à l'inverse, la solution américaine, bien que très complète

sur le plan du traitement de l'air, nécessite des interventions en scaphandre en cas de contamination accidentelle.

Sur le plan des investissements, la conception américaine est certainement la plus onéreuse du fait des impératifs de construction qui amènent à réaliser les caissons entièrement en tôle de 6mm. Si cette conception nous semble par trop robuste, par contre, le fait de prévoir les plateformes-suppports en acier inoxydable est certainement une bonne solution car elle permet d'avoir toujours des portées de joints en parfait état ; ceci contribue à l'obtention d'une bonne étanchéité entre filtres et plateformes-suppports.

#### LES CONTROLES IN SITU ET LES RESULTATS D'EXPLOITATION

Depuis quelques années, toutes les installations nouvelles réalisées en France et en Belgique sont systématiquement testées à l'aérosol de fluoresceine sodée par les services spécialisés du CEA. Cette méthode, d'une grande sensibilité, est particulièrement bien adaptée à ce type de contrôle, et permet de mettre en évidence les défauts d'étanchéité toujours possibles sur une installation.

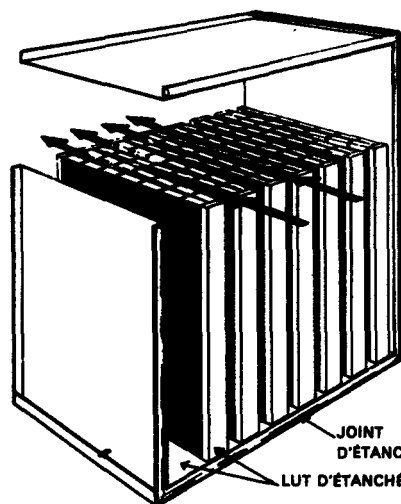
A titre d'exemple, on trouvera en figure 5, les résultats des essais effectués par le CEA sur des caissons à sas étanches SOFILTRA POELMAN installés à la Centrale de TIHANGE en Belgique. Il convient de remarquer que sur les deux circuits " Locaux jaunes " et " Piscine de désactivation ", les efficacités exprimées en coefficients d'épuration qui ont été mesurées sur les ensembles filtres + registre by-pass sont inférieures à 1.000, alors que l'efficacité des filtres seuls est satisfaisante. Ces essais ont ainsi permis de mettre en évidence des défauts d'étanchéité sur les registres by-pass.

En ce qui concerne la durée de vie des filtres " absolus ", il convient de rappeler qu'elle est inversement proportionnelle au carré du débit d'utilisation d'une part, et d'autre part, fonction de la perte de charge maximale colmatée que l'on s'est fixée pour le calcul de la hauteur manométrique des ventilateurs.

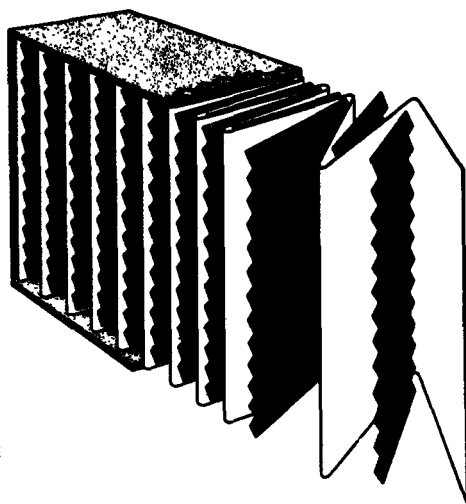
En pratique, nous pensons qu'il convient de prendre en considération comme perte de charge des filtres colmatés 100 à 120mm Ç.E., ce que confirme, d'ailleurs, l'expérience acquise par le CEA dans ce domaine. Quant au débit d'utilisation pour un filtre donné, il doit être déterminé par le constructeur en fonction de la concentration en poussière de l'air à filtrer et de la durée de vie souhaitée.

Les durées de vie des filtres " absolus " équipant les diverses installations nucléaires françaises sont généralement comprises entre deux et trois ans, alors qu'elle n'est souvent à notre connaissance que de l'ordre d'un an sur certaines installations étrangères. A ce sujet, il convient de noter que le coût de l'évacuation d'un filtre contaminé sous protection alpha et de son stockage avoisinerait, d'après une estimation du CEA, le prix du filtre lui-même. C'est pourquoi nous pensons qu'il est souhaitable lors d'études d'installations nouvelles de procéder à un examen économique d'ensemble. L'installation la moins chère en premier investissement pourrait s'avérer très onéreuse en exploitation.

Fig.1.FILTRES "ABSOLUS"



PLISSAGE SOFILTRA (Breveté)



PLISSAGE A PLIS PROFONDS

PLISSAGE SOFILTRA	CARACTÉRISTIQUES	PLISSAGE A PLIS PROFONDS
Nappes disposées en V de papier plissé sur 20 mm de profondeur et entretoisé avec des bandelettes d'amiante ce qui permet de mettre en œuvre une surface maximale sans que les plis se touchent.	Plissage	Papier plissé en accordéon sur une profondeur de 270 mm environ et entretoisé au moyen d'intercalaires ondulés en papier kraft ou d'aluminium. Ces intercalaires dépassent légèrement pour protéger le papier filtre.
45 m <sup>2</sup>	Surface de papier mise en œuvre	23 m <sup>2</sup>
3 000 m <sup>3</sup> /h	Débit pour une $\Delta P = 25$ mm CE	1 850 m <sup>3</sup> /h
1 100 gr	Pouvoir de rétention en poussière AFI pour une $\Delta P$ colmatée de 80 mm CE	650 gr
Turbulent	Flux d'air à la sortie	Laminaire



Fig2. EQUIPEMENT AVEC PLATEFORMES A MANCHETTES (E.D.F.)

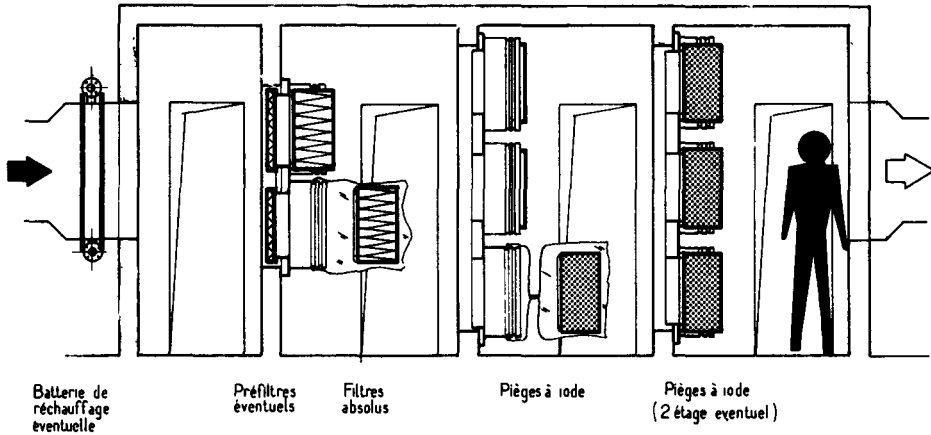


Fig3. EQUIPEMENT AVEC PLATEFORMES CONCEPTION AMERICAINE

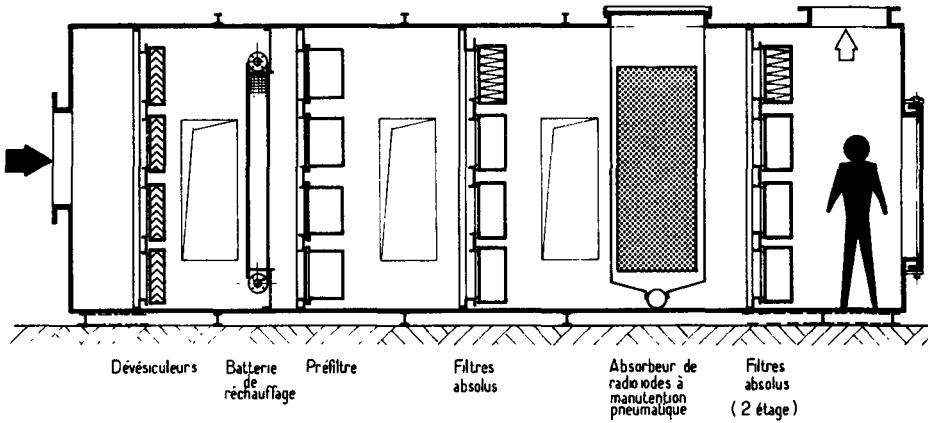
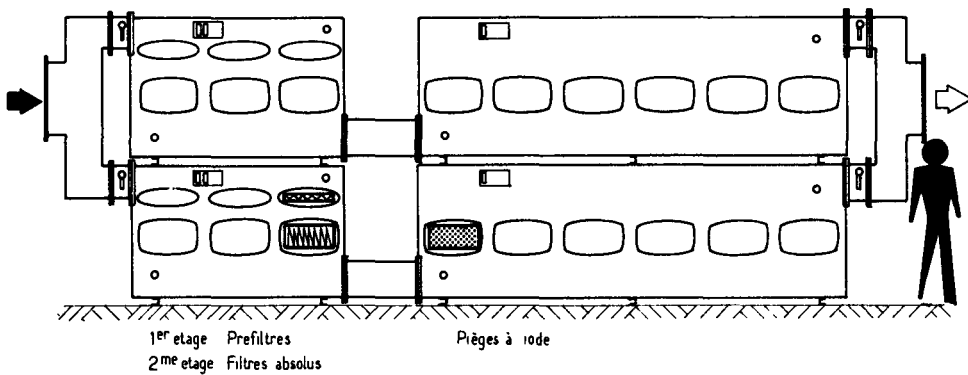


Fig 4. CAISSONS A SAS ETANCHES



Efficacité in situ à l'aérosol de fluorescéine sodée de 0,15  $\mu\text{m}$  (norme AFNOR NFX 44 011) des filtres d'épuration de la Centrale Nucléaire de Tihange 1 (essais du 15 au 19 Mars 1976)

Installation				Efficacité						Débit d'air			
Circuit	Nombre de cellules filtrantes	Perte de charge mm CE	N° de l'essai	Concentration massique amont $\text{g.m}^{-3}$	Concentration massique aval mesurée $\text{g.m}^{-3}$	Concentration massique aval calculée $\text{g.m}^{-3}$	Efficacité	Efficacité moyenne	Rendement moyen %	Valeur mesurée $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	Valeur moyenne $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	Débit par cellule filtration $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$	Vitesse de filtration $\text{cm.s}^{-1}$
Espace annulaire Ventilation interne	n° 1	3	19	1	$5,2 \cdot 10^{-6}$	$2,47 \cdot 10^{-10}$	$> 2,1 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^4$	99,998	$4,65 \cdot 10^3$	$4,55 \cdot 10^3$	1 510	1,13
				2	$5,4 \cdot 10^{-6}$	$7,42 \cdot 10^{-11}$	$> 7,3 \cdot 10^4$						
	n° 2	3	17	1	$5,54 \cdot 10^{-6}$	$1,33 \cdot 10^{-10}$	$> 4,15 \cdot 10^4$	$> 4 \cdot 10^4$	$> 99,997$	$4,35 \cdot 10^3$	$4,45 \cdot 10^3$	1 480	1,14
				2	$5,27 \cdot 10^{-6}$	$1,31 \cdot 10^{-10}$	$> 4 \cdot 10^4$						
Espace annulaire Extraction	n° 1	1		1	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$3,18 \cdot 10^{-9}$	$6,6 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^4$	$> 99,998$	$1,14 \cdot 10^2$	$1,03 \cdot 10^2$	103	0,077
				2	$2,58 \cdot 10^{-4}$	$3,46 \cdot 10^{-9}$	$7,45 \cdot 10^4$						
	n° 2	1	4	1	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-10}$	$3,32 \cdot 10^5$	$2,82 \cdot 10^5$	$> 99,9996$	$7,6 \cdot 10^1$	$7,9 \cdot 10^1$	79	0,06
				2	$2,9 \cdot 10^{-4}$	$1,25 \cdot 10^{-9}$	$2,32 \cdot 10^5$						
Locaux jaunes	Filtres	24	16	1	$1,26 \cdot 10^{-6}$	$6,7 \cdot 10^{-11}$	$1,68 \cdot 10^4$	$1,68 \cdot 10^4$	99,994	$1,90 \cdot 10^4$	$1,90 \cdot 10^4$	792	0,6
	Filtres + clapet X5AZ1			1		$3,06 \cdot 10^{-9}$	$6,55 \cdot 10^{-9}$						
Locaux rouges	Filtres	16	13	1	$1,11 \cdot 10^{-6}$	$2,32 \cdot 10^{-10}$	$4,8 \cdot 10^3$	$4,8 \cdot 10^3$	99,98	$2,16 \cdot 10^4$	$2,16 \cdot 10^4$	1 350	1,01
	Filtres + clapet X15AZ1			1		$2,39 \cdot 10^{-10}$	$4,49 \cdot 10^{-10}$						
Piscine de désactivation	Filtres	12	8	1	$3,34 \cdot 10^{-6}$	$5,55 \cdot 10^{-11}$	$> 6 \cdot 10^4$	$> 6 \cdot 10^4$	$> 99,998$	$7,2 \cdot 10^3$	$7,2 \cdot 10^3$	600	0,45
	Filtres + clapet X20AZ2			1		$1,16 \cdot 10^{-7}$							
Salle de commande	Filtres + clapet	1	6	1	$1,10 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-9}$	$2,98 \cdot 10^4$	$2,98 \cdot 10^4$	99,996	$2,17 \cdot 10^2$	$2,17 \cdot 10^2$	217	0,16

METHODS OF INSTALLING AND TESTING ABSOLUTE  
FILTERS IN THE NUCLEAR INDUSTRY

B. Hoppitt  
Vokes Air Filters United  
Burnley, Lancs. - UNITED KINGDOM

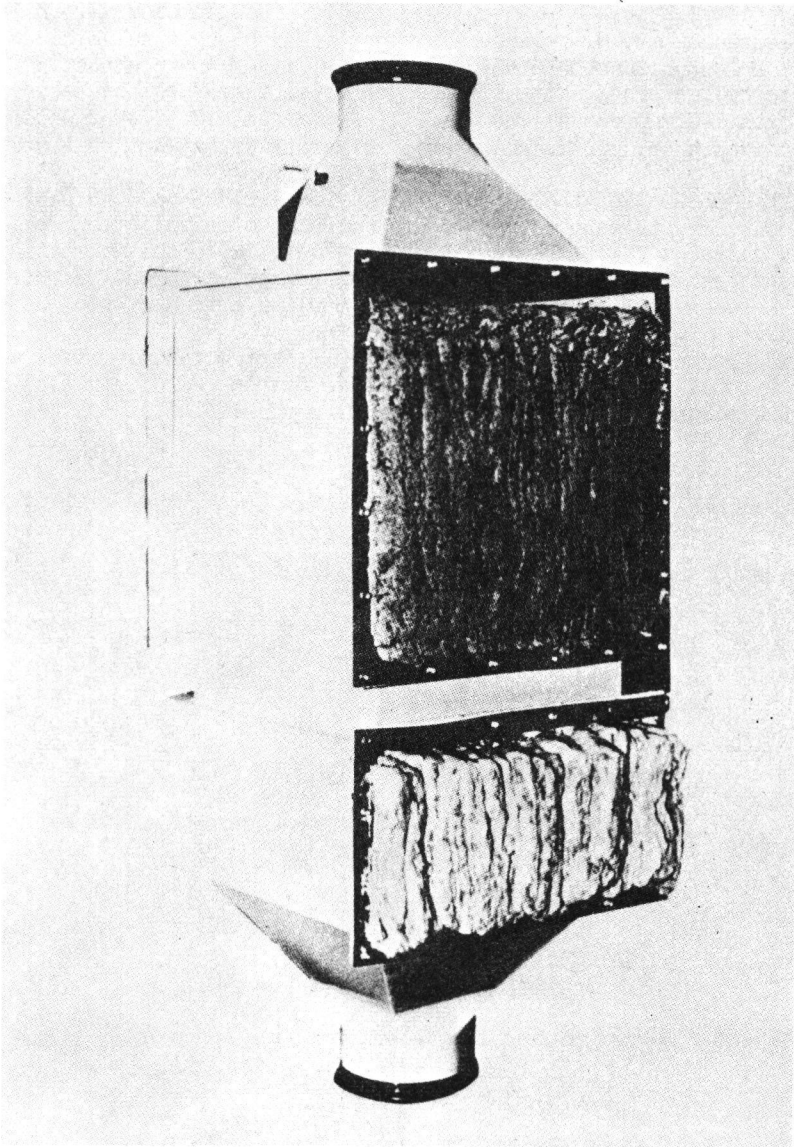
SUMMARY. The paper will cover methods of installing Absolute Filters in Unipak housings complete with bag changing obloids, also the new swing bolt base frame assembly for ladder mounted installations. Details of "on site" testing and the results obtained will be given utilising the thermo-pneumatic Dioctyl Phthalate (D.O.P.) method on various installations within British Nuclear Power Stations.

KURZFASSUNG. VERFAHREN ZUM EINBAU UND ZUR ERPROBUNG VON ABSOLUT FILTERN IN IN DER NUKLEAR INDUSTRIE. Verfahren zum Einsetzen von Absolutfiltern in Unipak-Halterungen mit Hilfe von Sackwechsellvorrichtungen sowie die neuen Rahmen mit Gelenkbolzen für die Anordnung der Filter übereinander. Ueber Einzelheiten von In-situ-Erprobungen sowie deren Ergebnisse bei Anwendung des Thermopneumatischen Dioktyl-Phthalat (D.O.P.)-Verfahrens bei verschiedenen Anlagen in britischen Kernkraftwerken wird berichtet.

RESUME. METHODES D'INSTALLATION ET D'ESSAI DES FILTRES ABSOLUS DANS L'INDUSTRIE NUCLEAIRE. Le rapport traite des méthodes d'installation de filtres absolus en caissons "UNIPAK" équipés de gouttières obloïdes permettant le remplacement des filtres contaminés sous sacs en polyéthylène. Il décrit également les nouveaux cadres de montage à boulons articulés pour assemblage en batterie. On trouvera une description détaillée de l'essai effectué "in situ" et des résultats obtenus grâce à l'utilisation de la méthode du dioctyle phtalate (D.O.P.) thermo-pneumatique utilisée dans diverses installations des centrales nucléaires britanniques.

In the early 1950's Extract Filters used in the Nuclear Industry consisted of resin wool or alternatively asbestos wool laps, which were wound onto perforated drums and utilized in cylindrical cases. Another type utilized the laps packed into metal canisters interleaved by perforated metal spacers to increase the filter area.

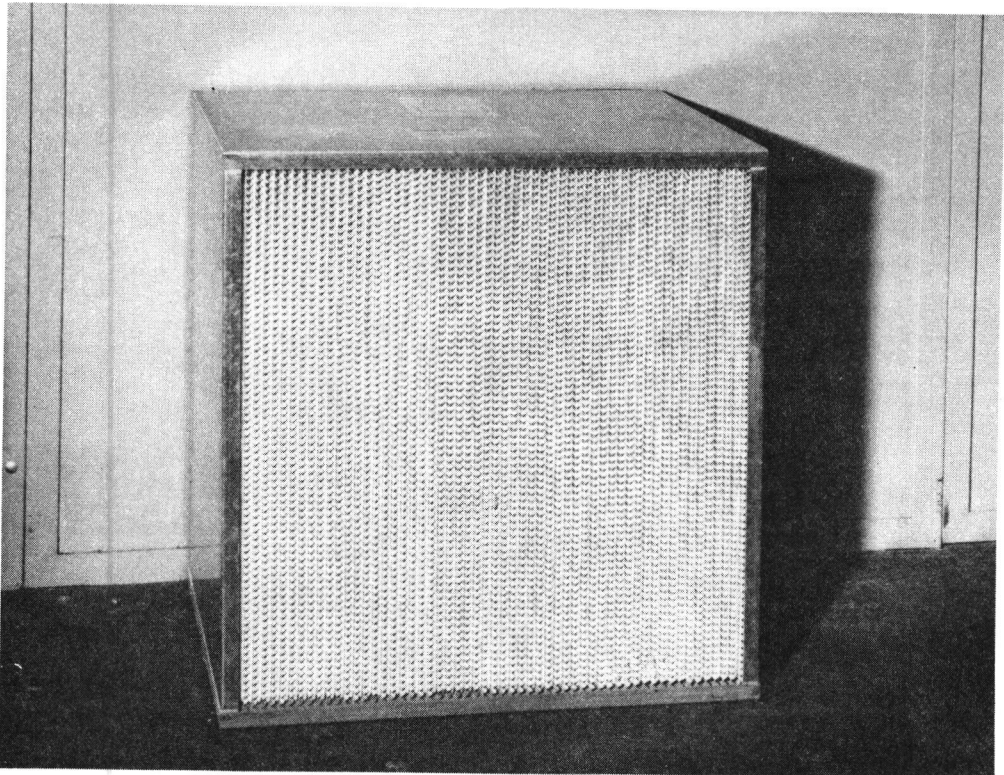
Fig.1. Photo: Resin Wool Canister with glass lap prefilter (Capacity approx.  $340 \text{ m}^3/\text{hr}$ )



At the end of their useful life, whether this was due to an increase in pressure loss which reduced the air-flow or due to an increase in the activity level, these filters had to be removed complete from their installation, the inlet and outlet apertures capped to prevent dispersal of active contaminant and the filter in its entirety moved to the decontamination area.

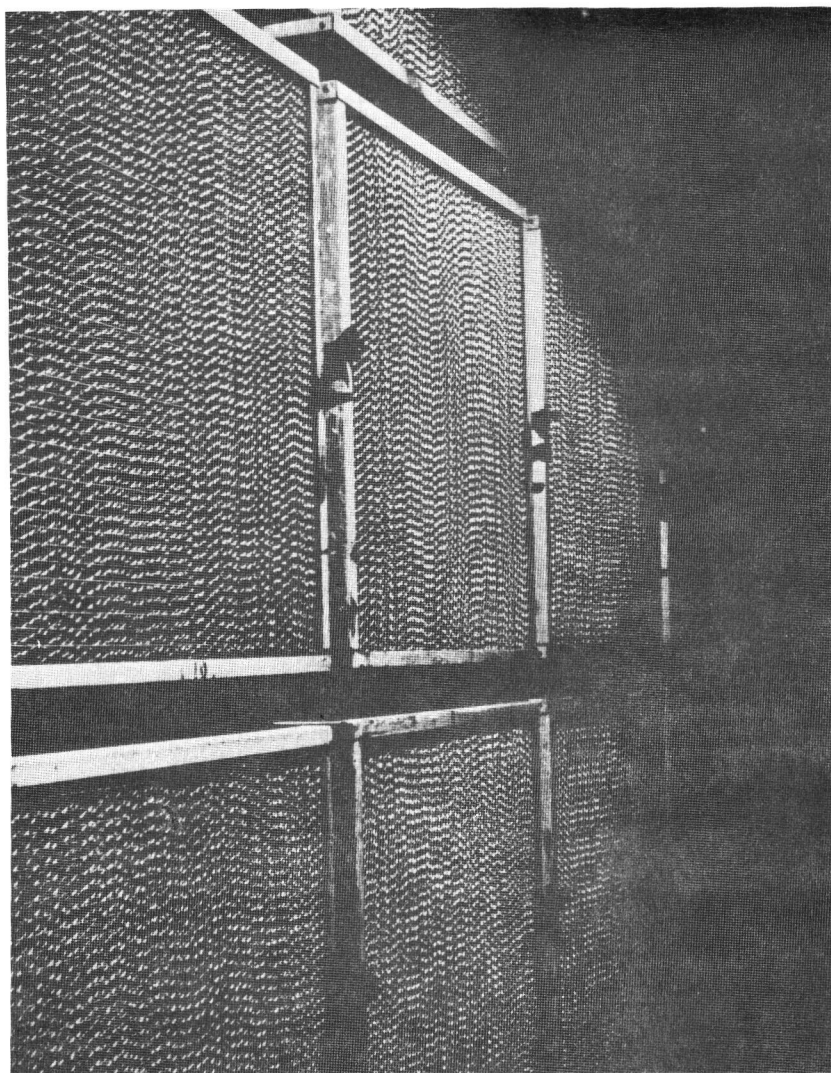
With the introduction of the Absolute Filter in its present form, it became possible for installations of larger capacity to be reduced in overall size and the disposal aspect was limited to the Absolute Filter alone, the housing remaining and being decontaminated where necessary in-situ.

Fig.2. Photo: Typical Absolute Filter



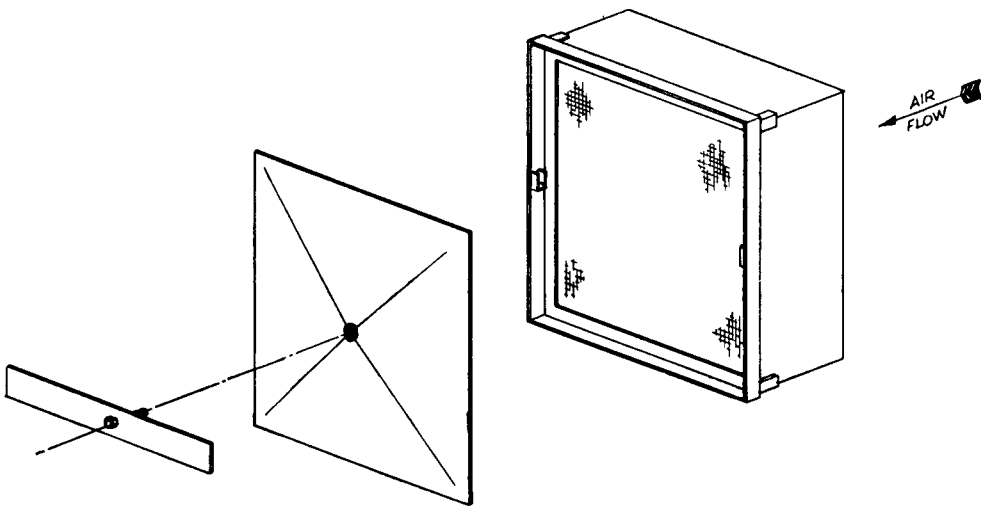
Since that time developments on the range of Absolute Filters have lead to units capable of temperature and chemical resistance. Additionally filters which are almost completely disposable by incineration are available in penetrations ranging from 5% to 0.003% against Sodium Flame Photometer method of test. It is also possible when required, for filters to be produced in efficiencies outside the standard range offered by the majority of manufacturers.

Fig. 3. Photo. Absolute Filters in Wall Mounted Ladder Frame



Most early installations of Absolute Filters were mounted in Ladder Frame assemblies, although such Ladder Frames caused problems with regard to both installation and maintenance. The installation had to be contained within a "dirty" area and the problems of ensuring adequate sealing between the metal-work of the filter frame and the surrounding masonry had to be considered. Cases of damage during maintenance operations were not uncommon, caused either by the Absolute Filter impinging upon the fixed clamping bolt, or alternatively by the ladders or gantries used when the installations were large.

Fig. 4. Diagram of base frame with closure device.



LADDER FRAME WITH CLOSURE  
DEVICE

The possible transfer of contaminant from the upstream to the clean side of the filter bank had to be considered and a number of Ladder Frames were produced with fixtures for plates to be fitted on the downstream side to isolate an aperture while the filter was being changed.

The method of maintenance of such Ladder Frame assemblies almost always required operators to be "suited-up" and the discomfort limits for operators working in suits for 20 - 30 minutes meant in many cases it was not possible for one maintenance team to complete the filter change on banks containing a large number of Absolute Filters.

Ladder Frames are now rarely used within the Nuclear Industry, although they are still in fairly common use for pharmaceutical and medical applications. The Ladder Frames now produced are more sophisticated than the early installations, although many of the aspects included in their design date from their use within the Nuclear Industry. In the Ladder Frames that we now produce more attention has been paid to the support for the Absolute Filter, improved methods of clamping are employed and plastic fittings rather than metal wing nuts are utilized on the holding bolts, these being initially introduced to prevent damage to protective suits. The greatest single improvement however, has been the introduction of the Swing Bolt Base Frame which enables the fixing bolts to be swung away from the holding shelves of the installation, to prevent damage when the Absolute is being installed.



Fig. 5. Photo: Swing Bolt Base Frame Assembly for 6800 m<sup>3</sup>/hr with filters arranged 2 high x 2 wide.



The first casings or canister filters were introduced in the late 1950's and the early units had simple wedges attached to the door and the rear face of the canister to raise the Absolute Filter onto its sealing surface. This was quickly followed by an improved wedge method operated by a handle, which had to be pushed into the unit before the door could be closed, thus ensuring that the filter was raised to its sealing surface before the installation was put back into operation. The main difficulties with the wedge method of sealing the Absolute were two-fold. The wedges with a relatively small contact area on the base of the Absolute Filter tended to cause damage when the filter was raised to the sealed position and additionally these methods were not subject to any adjustment to ensure that the filter was sealed. Fig. 6 and Fig. 7.

The rotating cam method for sealing the Absolute Filter was patented by our Company in 1961 and comprised two cams with offset bearing surfaces to raise the filter into position. The cams were fitted with safety handles, which located in small domes provided in the door of the unit, thus it was not possible to replace the door on the unit without the filter being in its sealed position, additionally the cams were locked in position when the door was replaced.

This method of raising the filter on its sealing face was subject to adjustment as shims could be inserted beneath the bearings to ensure that the filter sealed. This adjustment took place at the factory and was checked again "during on-site testing", but this type of unit, although it could be re-adjusted at the first maintenance period, providing conditions allowed the adjustments to be made, had no facility for taking up any deformation which might take place in the seal of the Absolute Filter itself. Fig. 8 and Fig. 9.

Fig.6 Photo: Unipak Housing showing cam operating handles and location domes in closure doors.



Fig.7 Photo: Unipak housing showing cam bar mechanism.

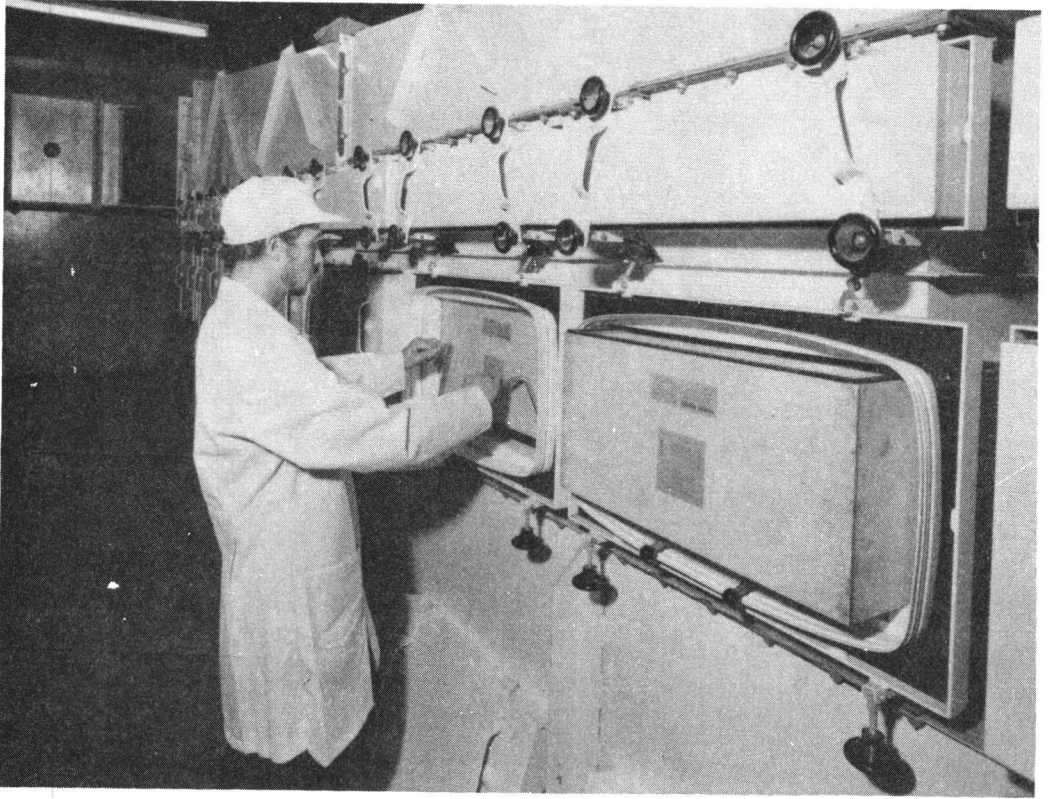
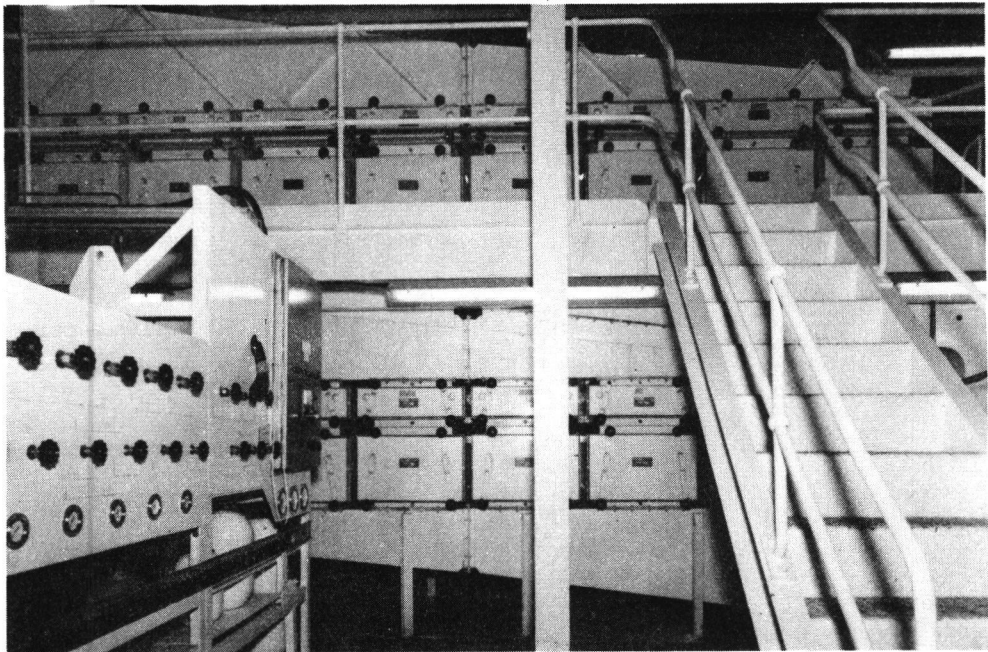
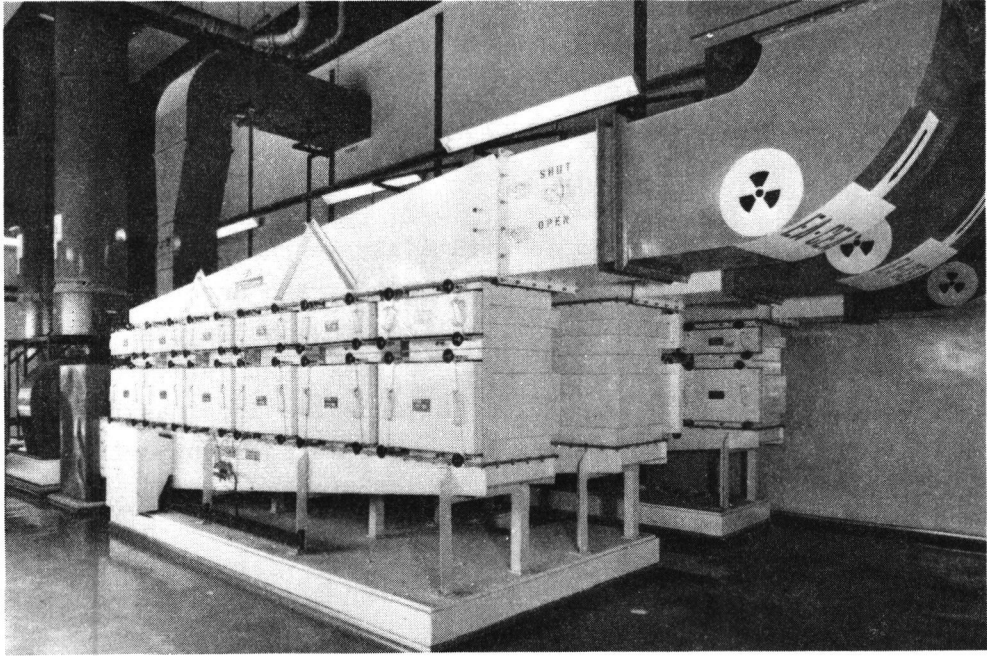


Fig. 8. Unipak Installation at C.E.G.B. Hinkley Point Nuclear Power Station (Pile Cap Extract).

Fig. 9. Unipak Installation at C.E.G.B. Hinkley Point Nuclear Power Station (Cooling Pond Extract No.1 Reactor)



The latest Unipak unit is considerably more advanced and contains a spring loaded device which allows for the equating of the filter onto the periphery of the sealing surface, the springs are of a given value which will only allow a deflection of 0.15 mm. on the filter when it is subjected to a downward thrust of 99 kg., (equivalent to a differential pressure on the Absolute Filter of 6.75 KPa ) it is not, of course, normal for filters to be utilized at this standard of differential within Unipak housings and our recommendation is 2.5 KPa maximum.

The new unit is equipped with a single cam, the handle locating in a dome within the closure door and accordingly retains all the safety features of the previous Unipak in that the door may not be replaced on the Unipak unit until the filter is in the sealed position and once the door has been placed on the unit, the filter is locked in position until such time as the door is removed for servicing. This new method of operation of the filter sealing device is the subject of a further patent.

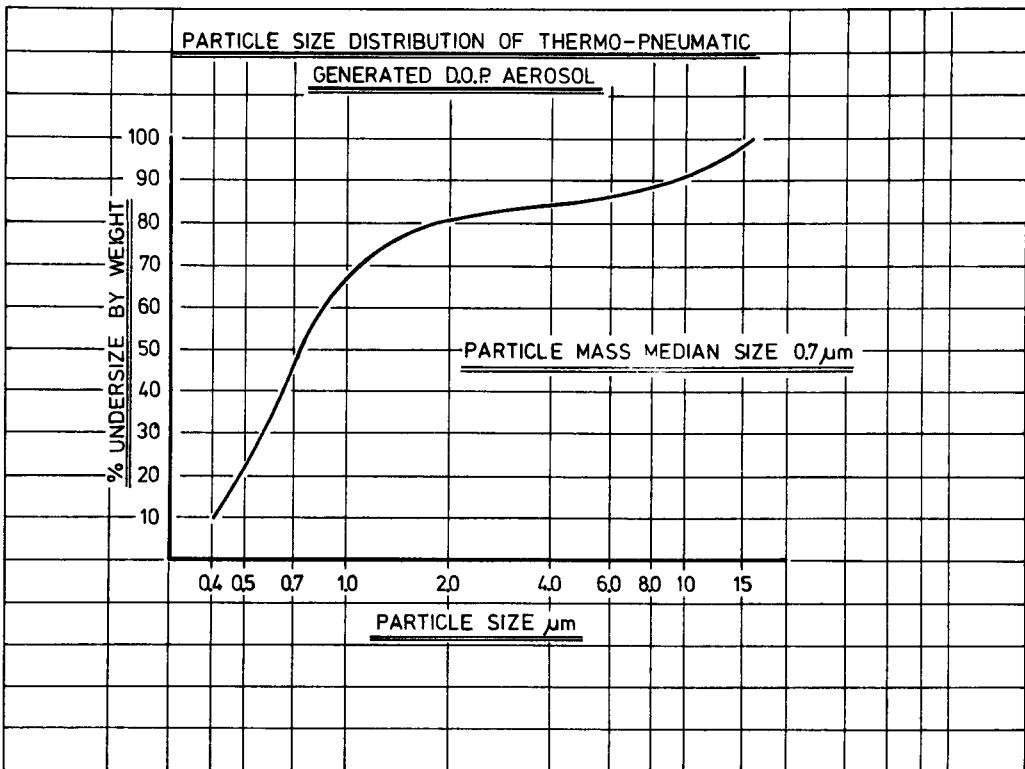
#### 'ON SITE' TESTING

For Nuclear purposes we feel that it is vitally necessary for complete filter installations to be tested prior to entry into service, for this reason we operate an extensive 'On Site Testing Service'. The 'On-Site' Test is carried out by the use of D.O.P. (Di-Octyl-Pthalate) producing a test cloud of a given particle size into the air stream and sampling to establish the integrity of the complete installations.

The test cloud utilized by us is thermo-pneumatic D.O.P. with a particle size ranging from 0.4  $\mu$  to a maximum of 15  $\mu$  with 70 % of the particles below 1  $\mu$  and a mass median of 0.7  $\mu$ .

We endeavour when testing to operate at a D.O.P. concentration of 21 mgs/m<sup>3</sup>, although the adjustment allowable on the D.O.P. tester will give adequate results at variances of 25% each side of the optimum concentration.

Fig.10 Graph showing Particle range distribution Thermo-Pneumatic D.O.P. aerosol.



The generator operates by utilizing CO<sub>2</sub> under pressure to pass the D.O.P. oil through an atomiser prior to a heated block producing the test aerosol, and for sampling we utilize a TDA.2DN particulate detector which incorporates a scattering chamber and a vacuum pump.

A sample of the aerosol is drawn through this chamber passing through the focal part of the light cone, causing light to be scattered forward into the dark area of the chamber actuating the phototube, producing an amplified signal on a micro-ammeter.

It is important that the D.O.P. cloud is introduced at a point in the upstream ducting at a distance from the filters which enables adequate dispersion within the air-stream. With the filters removed the tester is calibrated to 100% penetration on a sample taken at the downstream sampling point. Fig. 11.

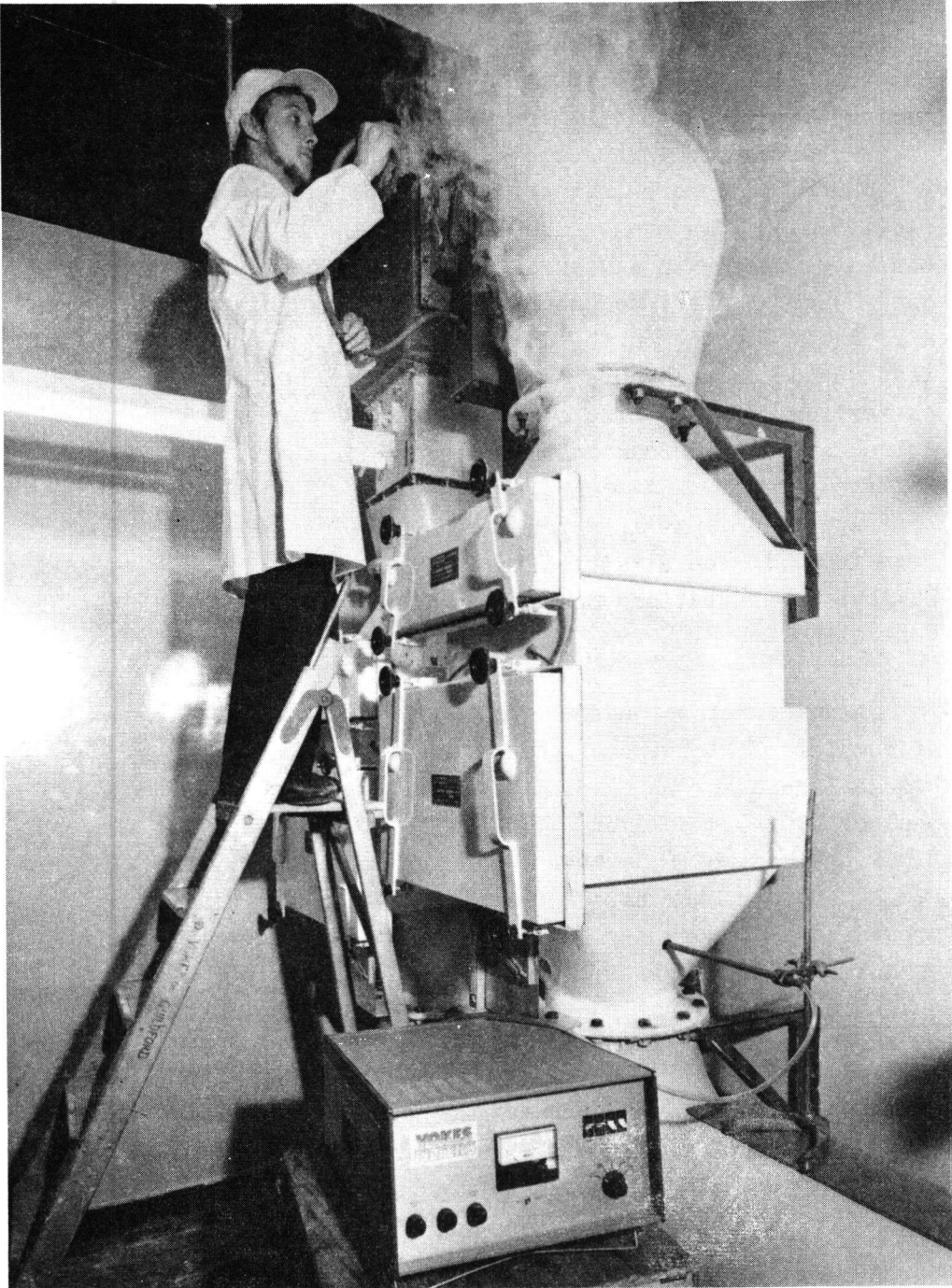
It is not unusual for large installations containing multiple Absolute Filters to show the incorrect penetrations against this initial portion of the test and it is accordingly necessary to institute a "trouble-shooting" procedure. In correctly designed installations of the Unipak type, where care has been taken to maintain a relatively constant velocity in the inlet and outlet ductings, the time taken to locate a damaged filter or a leak point is much reduced.

It has been found that under these constant velocity conditions, the aerosol assumes a laminar flow characteristic, which enables a quick assessment to be made of the location of the leak point.

By traversing the downstream or clean side of the suspect filter or area of leakage utilizing a suitable probe, it is possible to locate the smallest leak accurately within a reasonably short period.



Fig. 11. D.O.P. Aerosol Generator and Detection Apparatus with distribution manifold partly withdrawn from ducting.



When testing Ladder Frame installations, conditions are often more difficult. In many cases it is not possible to introduce the smoke at a sufficient distance upstream to ensure adequate dispersal over the whole cross-sectional area of the Ladder Frame. It is also necessary in the majority of cases, to traverse the downstream side of the Ladder Frame to ascertain the total penetration value of an installation by taking the average of the traverse readings. Nevertheless, it is possible to introduce again a 'trouble-shooting' procedure, to ensure that all leakage points are located and rectified. This can be done by utilizing a 'fish-tail' discharge nozzle in any suspected area or over the face of any suspect filter, to ensure that the leak point is adequately located on the downstream side. It is true to say that during recent years very little work has been necessary on testing of large size Ladder Banks due to the introduction of Unipak installations Fig. 12.

Appended below is a table of average values which have been found in 'on site' testing installations, primarily on Nuclear Power Stations operated by the Central Electricity Generating Board.

A number of methods are now being promoted for testing of complete filter installations and it is possible that some of these now being discussed will in due course replace D.O.P. However, it is reasonable to say that the D.O.P. method which has been utilized in the U.K., the U.S.A. and a number of other countries for many years, has proved satisfactory for ensuring that filter installations do not have any serious leakage points and can at least be qualified in terms of their overall performance, as opposed to the individual performance of the filters contained within the installation.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The writer gratefully acknowledges the permission of the Central Electricity Generating Board to photograph installations at Hinkley Point Nuclear Power Station and to use 'On-site' Test results.

FIG.12

TABLE SHOWING RESULTS OBTAINED FROM VARIOUS "SITE TESTS" ON NUCLEAR POWER STATIONS

SITE	DUTY	SYSTEM	ABSOLUTE FILTER		D.O.P. TEST
			NOM. FLOW	NaCl GRADE	
Dungeness 'A' Nuclear Power Station	R2 Active Waste Vault Extract system	Single two-stage Unipak Canister	1,700m <sup>3</sup> /h	<0.01%	0.002%
Hinkley Point 'A' Nuclear Power Station	Water Treatment Plant Building Extract System 'A'	Two-stage Unipaks 8 canisters long x 2 wide x 1 high	27,200m <sup>3</sup> /h	<0.05%	0.01%
Hunterston 'B' Nuclear Power Station	Cooling Pond Extract System	Two stage Unipak 7 canisters long x 1 wide x 1 high	11,900m <sup>3</sup> /h	<0.01%	0.004%
Hunterston 'B' Nuclear Power Station	R.4 Pilecap Extract System	Two stage Unipak 6 canisters long x 1 wide x 1 high	10,200m <sup>3</sup> /h	<0.01%	0.002%
Hinkley Point 'A' Nuclear Power Station	Water Treatment plant, Settling Tank purge Extract System A	Two stage Unipak 2 canisters long x 1 wide x 1 high	3,400m <sup>3</sup> /h	<0.01%	0.004%
Hinkley Point 'B' Nuclear Power Station	R.3 Pilecap Extract System	Two stage Unipak 6 canisters long x 1 wide x 1 high	10,200m <sup>3</sup> /h	<0.05%	0.01%



VERLAENGERUNG DES WARTUNGS-ZYKLUS  
VON SCHWEBSTOFFFILTERN DURCH OPTIMIERUNG  
DER FILTERTECHNISCHEN KENNDATEN  
UND DEREN KONSTRUKTIVE REALISIERUNG

H. Bella, H. H. Stiehl und D. Sinhuber  
Delbag Luftfilter  
Berlin - B. R. DEUTSCHLAND

**KURZFASSUNG.** Die Kenntnis der Parameter der zur Zeit in kerntechnischen Anlagen verwendeten Aerosol-Filter ermöglichte eine Optimierung der Filter hinsichtlich Volumenstrom, Druckdifferenz und Standzeit. Ueber die Anwendung dieser Optimierung auf neuere Bauformen von Aerosol-Filtern erhöhter Leistungsdichte sowie die Ueberprüfung der Berechnungen im Versuch wird berichtet. Der Einsatz der hinsichtlich Beladung und Standzeit optimierten Aerosol-Filter erhöhter Leistungsdichte und die Auswirkungen dieser Bauform auf die Absenkung von Betriebs- und Wartungskosten werden diskutiert.

**SUMMARY.** EXTENSION OF THE MAINTENANCE CYCLE OF HEPA FILTERS BY OPTIMIZATION OF THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF FILTERS AND THEIR CONSTRUCTION. The knowledge of the parameters of HEPA filters used at present in nuclear plants allows optimization of such filters with respect to flow rate, pressure drop and service life. The application of optimizing new types of HEPA filters of improved performance is reported. The calculated results were checked experimentally. The use of HEPA filters optimized with respect to dust capacity and service life, and the effects of this new type of filter on the reduction of operating and maintenance costs are discussed.

**RESUME.** DIMINUTION DE LA FREQUENCE D'ENTRETIEN DES FILTRES D'AEROSOLS PAR OPTIMISATION DE LEURS CARACTERISTIQUES TECHNIQUES ET DES PROCEDES DE FABRICATION. La connaissance des paramètres des filtres d'aérosols utilisés actuellement dans des centrales nucléaires a permis d'optimiser les filtres quant au débit, à la perte de charge et à la durée de fonctionnement. On présente l'application de cette optimisation aux modèles récents de filtres à rendement amélioré ainsi que la vérification expérimentale des calculs. L'utilisation des filtres d'aérosols à rendement amélioré, optimisés sur le plan de la charge et de la durée de fonctionnement, ainsi que l'incidence de ces nouveaux filtres sur la diminution des frais d'exploitation et d'entretien sont exposées.

Die Verlängerung des Wartungs-Zyklus ist in der Kerntechnik von besonderem Interesse, da neben den reinen Investitionskosten für das Schwebstofffilter-Element erhebliche Wartungskosten anfallen. Das Wechseln der Schwebstofffilter-Elemente mit Schutzsacktechnik oder unter Vollatemschutz sowie der Abtransport, die Beseitigung und die Lagerung der radioaktiv kontaminierten Schwebstofffilter in Abfallbehältern verursacht Kosten, die den Wert der Schwebstofffilter-Elemente in der Regel übersteigen. Durch eine Verlängerung des Wartungs-Zyklus lassen sich daher erhebliche Kosten einsparen, und es wird das Risiko der radioaktiven Kontamination der Anlagerräume und das Risiko der erhöhten Strahlen-Belastung des Wartungspersonals verringert.

Die Verlängerung des Wartungs-Zyklus kann bei einer gegebenen Anlage nur durch die Standzeitveränderung der Schwebstofffilter-Elemente erreicht werden. Eine Verlängerung der Standzeit ist jedoch nur durch die Optimierung der filtertechnischen Daten der Schwebstofffilter-Elemente möglich.

Die Standzeit wird beeinflusst durch die Anfangsdruckdifferenz des Elementes, die spezifische Speicherfähigkeit des filternden Materials und durch den geometrischen Aufbau der Schwebstofffilter-Elemente, wie Faltentiefe, Faltenabstand und Art der Abstandshalter, im besonderen jedoch durch die Größe der aktiven Filterfläche. Unter Berücksichtigung des geometrischen Aufbaus ist durch die Vergrößerung der aktiven Filterfläche eine Verlängerung der Standzeit zu erreichen.

Grundlage für die Optimierung der genannten technischen Daten ist die Wahl des zulässigen Betriebszustandes. Es wurde von folgenden Betriebsbedingungen ausgegangen: Die relative Feuchtigkeit der Luft sollte immer unter 95 % liegen. Sie kann jedoch kurzfristig überschritten werden bis zu einer relativen Luftfeuchte von 98 - 100 %. Die Betriebstemperatur soll im Normalfall immer kleiner als 100°C sein. Die maximale Druckdifferenz am Schwebstofffilter-Element ist 1000 Pa.

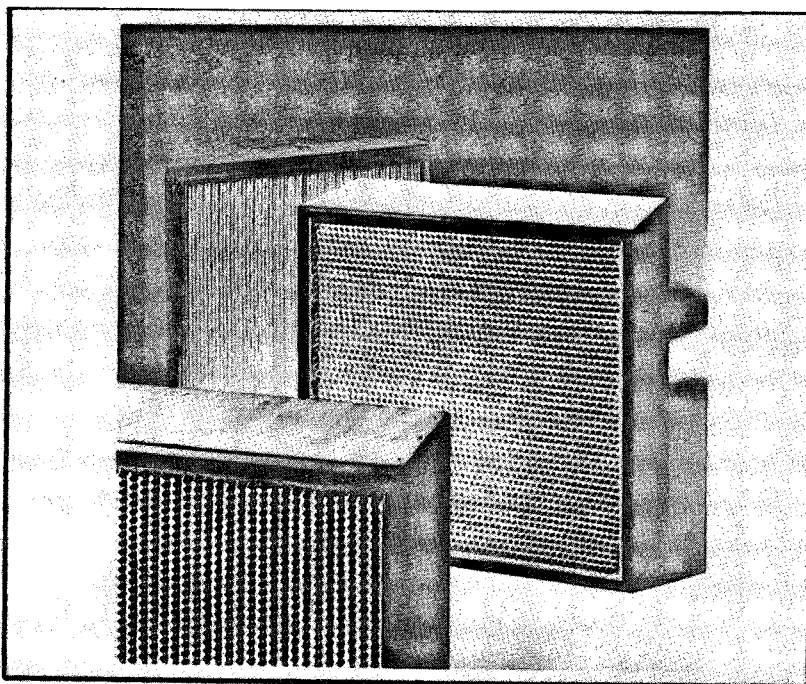


Bild 1: Schwebstofffilter-Element Ausführung MACROPUR-19

Standard-Schwebstofffilter-Elemente bestehen in der Regel aus Glasfaserpapier, das über Abstandshalter aus Aluminium oder Pappe gefaltet wird und dann in einem Rahmen aus Stahlblech oder Holz mit einem Coating eingegossen wird. Eine wesentliche Vergrößerung der Filterfläche ist bei

diesen Elementen nicht möglich, da bei einer enger werdenden Faltung die Anfangsdruckdifferenz durch Strömungswiderstände in den Falten erheblich ansteigt. Man mußte also einen anderen Aufbau des Filterelementes suchen.

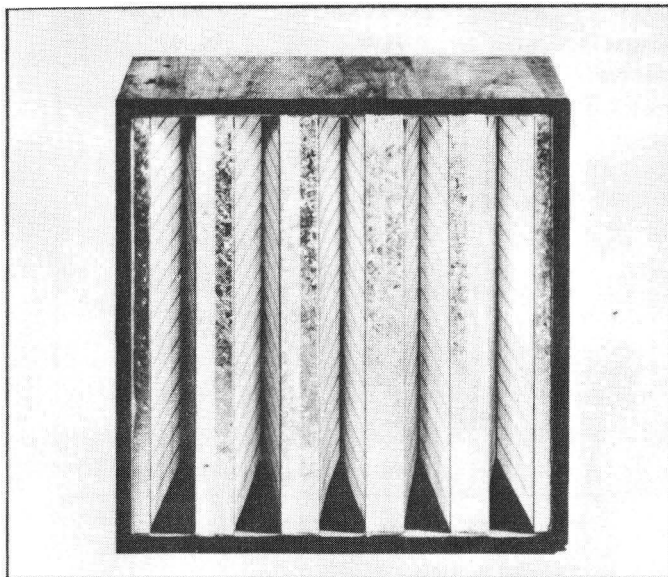


Bild 2: Schwebstofffilter-Element Ausführung MACROPUR-F 30

Durch die Entwicklung einer neuen Fertigungstechnik konnte der Aufbau der Schwebstofffilter-Elemente geändert werden. Es besteht ebenfalls aus gefaltetem Glasfaserpapier. Durch eine neue Art des Abstandshalters war es jedoch möglich, Filtersegmente mit großen Faltenzahlen pro Längeneinheit und geringen Faltentiefen bei genügend großer Festigkeit herzustellen. Der Abstandshalter wird als plastischer Kunststoff in dünnen Fäden auf das Glasfaserpapier gespritzt und die Falten werden dann zusammengelegt. Die Kunststoffäden in den Falten berühren sich und verbinden sich miteinander. Dadurch entsteht nach dem Aushärten des Kunststoffs ein selbsttragender Rippenverband, der den Faltenabstand fixiert und den Segmenten aus gefaltetem Glasfaserpapier eine sehr gute Festigkeit gibt. Dieser selbsttragende Rippenverband gewährleistet eine genügende Festigkeit auch bei Druckstößen oder sehr hoher Luftfeuchtigkeit. Wichtig ist die Wahl des Abstandes der Kunststoffrippen, da bei hohen Druckdifferenzen ein Zusammenlegen der Falten nicht erfolgen darf. Diese Segmente haben ein besonders günstiges Verhältnis der Druckdifferenz am Medium zu den Druckdifferenzen durch die gefaltete Form, wodurch ein hoher spezifischer Volumenstrom pro Anströmfläche ermöglicht wurde. Diese Segmente wurden zu V-förmigen Taschen zusammengesetzt und in die üblichen Rahmen eingegossen.

Aus der Gegenüberstellung der technischen Daten (Bild 3) wird der Leistungsunterschied der beiden Ausführungen deutlich. Bei gleichen Außenabmessungen und gleicher Abscheideleistung läßt das V-förmige Schwebstofffilter-Element einen Volumenstrom von  $3000 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einer Druckdifferenz von 250 Pa zu, während die Standard-Elemente nur mit einem Nenn-Volumenstrom von  $1900 \text{ m}^3/\text{h}$  belastet werden können. Die Filterfläche wurde in dem V-förmigen Schwebstofffilter-Element verdoppelt. Für unsere Überlegungen wurde ein Volumenstrom von  $1900 \text{ m}^3/\text{h}$  angenommen und die zugehörigen Anfangsdruckdifferenzen sind 250 und 150 Pa. Die Enddruckdifferenz ist 1000 Pa.

Unter der Annahme, daß das Filterpapier gleichmäßig angeströmt wird, ergibt sich eine Anströmgeschwindigkeit auf das Papier von 2,2 cm/s und 1,1 cm/s. Die dabei auftretende Druckdifferenz am Filterpapier ist 160 und 80 Pa. Aus der genannten Enddruckdifferenz des Schwebstofffilter-Elementes von 1000 Pa ergibt sich eine Enddruckdifferenz am Filterpapier von 910 und 930 Pa.

Ausführung		MACROPUR-19 (STANDARD)	MACROPUR-F 30 (V-förmig angeordnet)
Abmessungen	[mm]	610/610/292	610/610/292
Abscheidegrad DOP	[%]	99,99	99,99
Volumenstrom	[m <sup>3</sup> /h]	1900	3000
Anfangs- $\Delta p$	[Pa]	260	260
Filterfläche	[m <sup>2</sup> ]	24	48
$\Delta p$ bei 1900 m <sup>3</sup> /h	[Pa]	260	160
End- $\Delta p$	[Pa]	1000	1000
Anström- geschwindigkeit auf das Papier *	[cm/sec]	2,2	1,1
$\Delta p_A$ am Papier *	[Pa]	160	80
$\Delta p_G$ am Papier *	[Pa]	910	930
* bei 1900 m <sup>3</sup> /h			

Bild 3: Technische Daten im Vergleich

Zur Bewertung der Standzeiten wird ein Vergleich der in die Schwebstofffilter einzuspeichernden Massen Staub durchgeführt (Bild 4).

Davis hat für den Druckdifferenzanstieg an ungefaltetem filternden Material in Abhängigkeit von der eingespeicherten Masse Staub die Funktion nach Punkt 1 angegeben.

Unter der Annahme, daß das gesamte Filterpapier gleichmäßig mit Luft beaufschlagt wird, ist die Druckdifferenz am Filterpapier leicht in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit auf das Filterpapier bei der eingespeicherten Masse  $\sigma$  bestimmt. Der verbleibende Anteil der Anfangsdruckdifferenz am Schwebstofffilter-Element wurde als konstant angenommen, da sich die Reibungswiderstände und Strömungswiderstände durch Verengung der Falte bei Staubeinspeicherung nur unwesentlich verändern.

Unter Punkt 2 wurde die Funktion von Davis logarithmiert und nach  $m$  umgestellt und die einzuspeichernden Massen der beiden Elementausführungen ins Verhältnis gesetzt. Da in beiden Elementen das gleiche filternde Material verwendet wurde, fällt der Materialkoeffizient  $\beta$  aus der Gleichung aus.

Aus technischen Angaben ergeben sich die Bedingungen, daß die Filterfläche  $A_1$  zweimal so groß ist wie die Filterfläche  $A_2$  und daß der Faktor  $n_1$ , das  $n$ -fache der Anfangsdruckdifferenz bis zum Erreichen der Enddruckdifferenz, des V-förmigen Elementes größer ist als  $n_2$ . Unter den genannten Voraussetzungen muß nach der Funktion von Davis das Verhältnis der einzuspeichernden Massen  $m_1 / m_2$  immer größer 2 sein.

Es ist also zu erwarten, daß die Standzeit des V-förmigen Elementes bei gleicher Staubkonzentration länger ist als das zweifache der Standzeit der Standardelemente.



1. 
$$\frac{\Delta p_m}{\Delta p_{m=0}} = e^{\frac{\beta \cdot m}{A}}$$

$\Delta p_m$  = Druckdifferenz bei eingespeicherter Masse m  
 $\Delta p_{m=0}$  = Druckdifferenz bei eingespeicherter Masse m=0

$\frac{\Delta p_m}{\Delta p_{m=0}}$  = relative Druckdifferenzänderung  
(das n-fache der Anfangsdruckdifferenz)

$\beta$  = Massenbeladungskoeffizient  
m = eingespeicherte Masse  
A = Fläche des filternden Materials

2. 
$$m_1 = \ln \left( \frac{\Delta p_m}{\Delta p_{m=0}} \right)_1 \cdot A_1 \beta$$
 (V-förmiges Schwebstofffilter-Element)

$$m_2 = \ln \left( \frac{\Delta p_m}{\Delta p_{m=0}} \right)_2 \cdot A_2 \beta$$
 (Standard-Schwebstofffilter-Element)

3. 
$$\frac{m_1}{m_2} > 2$$

Bedingungen
$A_1 = 2 A_2$
$n_1 > n_2$

Bild 4: Vergleich der einzuspeichernden Masse Staub

Dieses Ergebnis wurde in Laborversuchen mit verschiedenen Aerosolen überprüft (Bild 5).

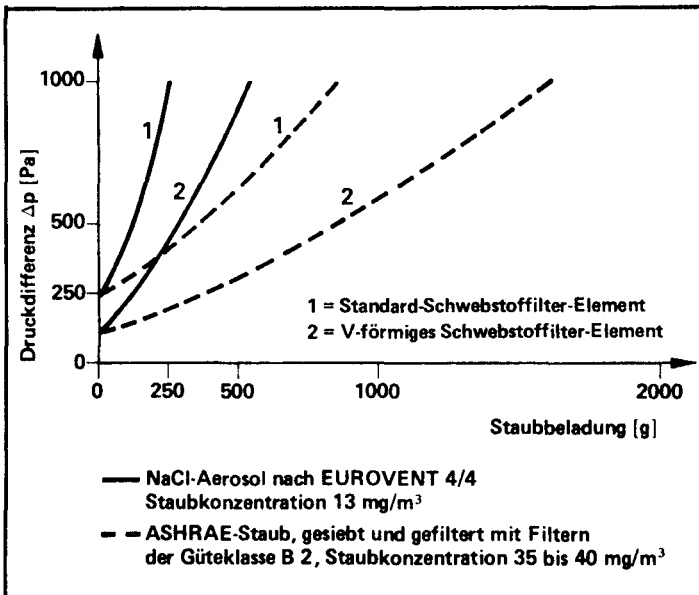


Bild 5: Staubbelastung von Schwebstofffiltern

Es wurde hier der Druckdifferenzanstieg der beiden verglichenen Schwebstofffilter-Ausführungen bei Staubeinspeicherung aufgetragen. Die beiden Kurven mit durchgezogenen Linien wurden bei der Einspeicherung von NaCl-Aerosol nach EUROVENT 4/4 bei einer Konzentration von  $13 \text{ mg/m}^3$  aufgenommen und die beiden gestrichelten Kurven wurden bei der Einspeicherung von gesiebttem ASHRAE-Staub aufgenommen. Diese Versuche wurden mit Vorfiltern der Güteklasse B 2 durchgeführt. Das NaCl-Aerosol hat eine Korngrößenverteilung zwischen  $0,02$  und  $2 \mu\text{m}$ . Der ASHRAE-Staub besteht aus wesentlich größeren Partikeln, die zwischen  $0,08$  und  $8 \mu\text{m}$  liegen.

Das Verhältnis der eingespeicherten Massen bei Erreichen der Enddruckdifferenz von  $1000 \text{ Pa}$  ist bei NaCl-Aerosol ca.  $2,0$  und bei ASHRAE-Staub ca.  $1,9$ , was etwa einer verdoppelten Standzeit entspricht.

Standzeitbeobachtungen in ausgeführten Anlagen sind jedoch noch nicht ausreichend vorhanden, um ein abschließendes Ergebnis angeben zu können.

Um einen Eindruck über das Kostenverhältnis bei Einsatz der beiden verschiedenen Ausführungen zu gewinnen, wurde ein Kostenvergleich durchgeführt (Bild 6).

Ausführung	Kosten pro Filterwechsel [DM]	
	Standardelement	V-förmiges Element
Investitionskosten	400,—	650,—
Wartungskosten (2 Monteure, 1 TÜV, 1 Strahlenschutz)	230,—	230,—
Kosten für Abtransport und Vernichtung	300,—	300,—
Σ	930,—	1180,—
Gesamt-Energiekosten in 12 Jahren $K = \frac{\Delta p_m \cdot V \cdot t \cdot 0,15}{3600 \cdot 102 \cdot \eta}$ $t = 12 \cdot 7000 \text{ h}$ $\eta = 0,7$	5820,—	5170,—
Gesamt-Filterwechselkosten in 12 Jahren	(6facher Wechsel) 5580,—	(3facher Wechsel) 3540,—
Gesamt-Kosten	11400,— 131 %	8710,— 100 %

Bild 6: Kostenvergleich Standard- / V-förmiges Element

Die Kosten für den Filterwechsel setzen sich zusammen aus den Investitionskosten, den Wartungskosten und den Kosten für Abtransport und Vernichtung der Schwebstofffilter-Elemente.

Ausgehend von einer Betriebszeit von 12 Jahren und einer Standzeit des Standard-Elementes von 2 Jahren wurden die Energiekosten unter Berücksichtigung der mittleren Druckdifferenzen an den Schwebstofffilter-Elementen ermittelt und mit den Kosten für die Filterwechsel in 12 Jahren addiert. Dabei ergibt sich bei Einsatz der V-förmigen Schwebstofffilter-Elemente eine Ersparnis von  $31 \%$ .

Die vorherigen Betrachtungen gelten jedoch nicht nur für den Vergleich der Standzeiten bei konstantem Volumenstrom, sondern sie können auch sinngemäß übertragen werden für Überlegungen

bei Ausnutzung des zulässigen Volumenstromes des V-förmigen Elementes von 3000 m<sup>3</sup>/h. Die Luftfilteranlagen können dann um 30 % verkleinert werden, wobei die Standzeiterwartung in der gleichen Größenordnung liegt, wie sie jetzt bei Standard-Schwebstofffilter-Elementen erreicht wird.

Weiterhin ergeben sich bezüglich der Energiekosten wichtige Gesichtspunkte, wenn von einer bisher üblichen Standzeit ausgegangen wird und die V-förmigen Schwebstofffilter-Elemente dementsprechend nur bis zu einer Enddruckdifferenz von ca. 50 kp/m<sup>2</sup> gefahren werden. Die Energiekostensparnis liegt hier bei 45 %. Hier ist natürlich auch der geringere Aufwand für Ventilatoren und Kanäle zu berücksichtigen.

Abschließend ist festzustellen, daß sich neben den wirtschaftlichen Aspekten beim Einsatz der V-förmigen Elemente durch den verlängerten Wartungszyklus auch eine Begrenzung der Risiken bei der Wartung der Luftfilteranlagen, beim Transport der kontaminierten Schwebstofffilter-Elemente und bei deren Lagerung ergibt. Der Einsatz der Elemente muß daher positiv bewertet werden.

Quellen:

Davis, C.N. — Journal of Aerosol Science 35-39 (1970)  
Davis, C.N. — Air Filtration Academic Press 1973  
ASHRAE-Standard 52-68  
Dokument EUROVENT 4/4



## IN-SITU-PRUEFUNG VON HEPA-FILTERN IM FILTERSYSTEM "NUCLEAR-KARLSRUHE"

M. Ohlmeyer, W. Stotz  
Gesellschaft für Kernforschung  
Karlsruhe - B. R. DEUTSCHLAND

KURZFASSUNG. Betreiber von kerntechnischen Anlagen und Filterhersteller sind bemüht, durch verstärkte Betriebsüberwachung bzw. Qualitätssteigerung bei der Filterherstellung den Umweltschutz zu verbessern. Die In-situ-Prüfung ist ein wesentlicher Faktor zur Realisierung dieser Bemühungen, sie stellt eine unmittelbare Erfolgskontrolle dar. Die Einrichtung zur Durchführung der In-situ-Prüfung sollte folgenden Mindestanforderungen genügen :

- Ein Sicherheitsrisiko für das Personal während der Prüfung ist auszuschliessen.
- Die Prüfmethode muss bei maximaler Ansprechempfindlichkeit objektiv und rekonstruierbar sein.
- Mit der Prüfmethode müssen die Lecks in der Filteranlage einzeln feststellbar sein, damit sie optimal beseitigt werden können.
- Von der Prüfeinrichtung sollte kein Konstruktionszwang auf die lufttechnischen Anlagen und die Bauausführung ausgehen.
- Die Prüfung muss bei geringem apparativen und personellen Aufwand einfach durchführbar sein.

Bei der GfK wurde nach den vorgenannten Erkenntnissen das Filtergehäuse "Nuclear-Karlsruhe" entwickelt. Dieses Gehäuse ermöglicht die In-situ-Prüfung ähnlich dem visuellen Oelfadentest nach Din 24184 bzw. der DOP-Rauchprobe. Die Ueberwachung des allgemeinen Filterzustandes durch einfache Sichtkontrolle von aussen ist ebenfalls möglich.

Ein sicherer Filterwechsel mit einer Spezial-Plastiksackbefestigung bei einer wartungsfreundlichen Arbeitshöhe trägt wesentlich zum Schutz des Bedienungspersonals bei.

Das Filtergehäuse "Nuclear-Karlsruhe" hat sich im Einsatz vielfach bewährt und alle Erwartungen erfüllt.

SUMMARY. IN-SITU TESTING OF HEPA FILTERS IN THE "NUCLEAR-KARLSRUHE" FILTER SYSTEM. Nuclear plant operators and filter manufacturers are endeavouring to improve environmental protection by intensifying process control and/or improving filter quality. In-situ testing is an important element in these efforts since it represents a direct means of checking the success or otherwise of a particular development. The arrangements for in-situ testing should satisfy the following minimum requirements :

- The staff should not be exposed to risk during the test.
- The test method should be objective and reproducible as well as being as sensitive as possible.
- The test method should permit detection of individual leaks in the filter system so that they can be remedied as efficiently as possible.
- The test equipment should not necessitate modifications to the extract systems or plant construction.
- The test should be simple and capable of being carried out with a minimum of effort and equipment.

GfK has developed the "Nuclear-Karlsruhe" filter housing in accordance with these principles. This housing permits in-situ testing similar to the DIN 24184 visual oil-fog test or the DOP test. External visual checks on the general condition of the filter is also possible.

A safe system of filter changing with a specially designed plastic bag attachment at an accessible height considerably increases the degree of protection of operating personnel.

The "Nuclear-Karlsruhe" filter housing has proved itself time and again in operation and met all expectations.

**RESUME. CONTROLE IN SITU DES FILTRES ABSOLUS DU SYSTEME DE FILTRATION "NUCLEAR-KARLSRUHE".** Les exploitants d'installations nucléaires et les fabricants de filtres s'efforcent de mieux protéger l'environnement par une surveillance technique accrue et une amélioration de la qualité dans la fabrication des filtres. Le contrôle in situ constitue un facteur essentiel de la concrétisation de ces efforts et représente un élément d'appréciation directe de leur efficacité.

L'équipement servant aux contrôles in situ doit répondre aux exigences minimales suivantes :

- Le contrôle doit pouvoir s'exercer sans risque pour la sécurité du personnel.
- La méthode d'essai doit être sensible en même temps qu'objective et reproductible.
- La méthode doit permettre de détecter les fuites du système de filtration afin de les éliminer de façon optimale.
- L'équipement de contrôle ne doit entraîner aucune contrainte pour la construction du système de ventilation et pour l'exécution des travaux de construction.
- L'opération de contrôle doit être simple et n'exiger qu'un personnel et un équipement réduits.

En partant des conditions précitées, la Gesellschaft für Kernforschung a mis au point le système de filtre "Nuclear-Karlsruhe". Ce filtre permet le contrôle in situ selon le test visuel au filet d'huile de la norme DIN 24184 ou le test au DOP. La surveillance de l'état général du filtre par simple contrôle visuel de l'extérieur est également possible.

Une fixation spéciale du sac en plastique permet de remplacer avec plus de sécurité les filtres situés à une hauteur accessible et améliore ainsi la protection du personnel d'entretien.

Le filtre "Nuclear-Karlsruhe", longuement éprouvé, répond à toutes les exigences.

Abluftfilter in kerntechnischen Einrichtungen stellen die letzte Rückhaltbarriere dar, mit der die Abgabe radioaktiver Stoffe über die Fortluft unterhalb der zulässigen Freigrenzen gehalten werden muß. Diese Barriere schützt somit die Umgebung vor unzulässig hoher Strahlenbelastung über den Luftweg und hat damit aus sicherheitstechnischer Sicht einen entsprechend hohen Stellenwert. Für die Betreiber kerntechnischer Einrichtungen in der Bundesrepublik Deutschland besteht die Verpflichtung, dafür zu sorgen, daß "die Strahlenbelastung für die Umgebung und innerhalb der Anlage auch unterhalb der zugelassenen Werte so gering wie möglich ist" (1).

Dieser Verpflichtung kann bezogen auf die Strahlenbelastung der Umgebung nur durch eine strenge Überwachung der Funktionsfähigkeit der Abluftfilteranlagen nachgekommen werden. Es muß bei diesen Abluftfilteranlagen ein so hoher Qualitätsstandart vorausgesetzt werden, daß der Abscheidegrad des eingesetzten Filtermediums unabhängig von der Einbauart voll erhalten bleibt.

Innerhalb der Anlage müssen dagegen zum Schutze des Personals geeignete bauliche und wartungstechnische Maßnahmen getroffen werden, um optimale Voraussetzungen für Arbeitsplatz und Arbeitsablauf zu schaffen.

Der Verpflichtung nach außen und nach innen gleichermaßen gerecht zu werden bedeutet somit konkret, daß die Einrichtungen überwacht werden müßten, ohne daß damit zusätzliche Risiken oder Belastungen für das Personal verbunden sind. Andererseits darf daraus nicht gefolgert werden, daß die Maßnahmen zum Schutz des Personals die Qualität und Zuverlässigkeit der Überwachung mindern.

Diese berechtigten und unmißverständlichen Forderungen sollten von vornherein solche Überwachungsverfahren und Überwachungseinrichtungen ausschließen, bei denen das Wartungspersonal zwangsläufig einer erhöhten Strahlenbelastung ausgesetzt ist, bzw. die Überwachungsarbeiten unter erschwerten Arbeitsbedingungen durchgeführt werden müssen, wie das

beispielsweise bei Arbeiten im Vollschutzanzug der Fall ist. Auch die meist vorhandenen Überwachungseinrichtungen, mit denen die Gesamtabgabe der radioaktiven Stoffe registriert wird, können nicht zur Filterüberwachung herangezogen werden. Diese Einrichtungen sind in der Regel hinter den Filtern im Fortluftstrom angeordnet und sollen gewährleisten, daß die Freigrenzen nicht überschritten werden. Nähert sich die Abgabemenge radioaktiver Stoffe den eingestellten Grenzwerten, so gehen von der Einrichtung Befehle aus, die entsprechende Sicherheitsmaßnahmen einleiten können. Zeigt eine solche Überwachungseinrichtung z. B. steigende Abgabewerte an, so kann dies ebenso von einem defekten Filter, wie von einem erhöhten Schadstoffanfall aus der Anlage verursacht sein; andererseits kann eine niedrige Abgaberate trotz defektem Filter bei entsprechend geringem Schadstoffanfall vorliegen. Es handelt sich hier also nur um eine indirekte Filterüberwachung, die den oben erwähnten Forderungen nicht genügt. Ebenso sind Prüfmethode abzulehnen, bei denen die Filter nur vor dem Einbau in die Anlage geprüft werden und nach dem Einbau lediglich der Dichtsitz geprüft wird. Wer mit der Technik des Filterwechsels vertraut ist und den für Beschädigungen anfälligen Aufbau der Filterzellen kennt, muß solche fragwürdigen Methoden ablehnen. Hier wird die für die Filterzelle im Hinblick auf Beschädigungen gefährlichste Phase, nämlich der eigentliche Wechselvorgang, von der Prüfung ausgenommen. Die Fragwürdigkeit dieser Prüfmethode wird auch von den Entwicklungstendenzen bei den Filterherstellern unterstrichen. Nachdem man dort erkannt hatte, wie empfindlich bei der Handhabung -nicht zu verwechseln mit der Standzeit unter normalen Betriebsbedingungen- die im Aufbau komplizierten Filterzellen tatsächlich sind, wird von dieser Seite versucht, durch vereinfachten stabileren Aufbau (2) und strenge Hinweise für Handhabung und Transport der Filterzellen, die Risiken zu verringern.

Ausgehend von den genannten Forderungen und den unbefriedigenden Versuchen diese zu erfüllen, wurde bei der GfK das Filtersystem "Nuclear-Karlsruhe" neu entwickelt, bei dem die langjährigen Betriebserfahrungen mit handelsüblichen Filtereinrichtungen einbezogen sind. Das System



hat sich inzwischen über einige Jahre in zahlreichen kerntechnischen Einrichtungen bewährt, so daß wir heute dieses System, dessen grundlegende Merkmale unter besonderer Berücksichtigung der In-situ-Prüfung nachstehend erläutert werden, zur allgemeinen Anwendung empfehlen können (3).

Das Filtersystem "Nuclear-Karlsruhe" wurde von vornherein als Weiterentwicklung der sogenannten Filtergehäuse in Kanalbauweise angelegt, um die Kontaminations- und Strahlenrisiken für das Wartungspersonal so gering wie möglich zu halten und erschwerte Arbeitsbedingungen zu vermeiden. Unter diesen Gesichtspunkten waren Filterwände grundsätzlich abzulehnen, denn hier ist die Strahlenbelastung bei einer Anzahl von n Filtereinheiten praktisch n mal so groß wie bei Einzelgehäusen und der Filterwechsel ist normalerweise nur unter sehr erschwerten Arbeitsbedingungen z. B. im Vollschutzanzug möglich. Modifikationen an der klassischen Filterwand haben auch in jüngster Zeit die Probleme nicht beseitigt, sondern nur verlagert oder zu Teillösungen geführt und sind damit letztlich Flickwerk geblieben.

Der erste Schritt bei der Weiterentwicklung galt dem sicheren Filterwechsel in Bezug auf das Wartungspersonal und die Umgebung. Der Filterwechsel wurde für das Wartungspersonal durch das von der GfK entwickelte Profil gem. Fig. 1 entscheidend verbessert, denn das Profil ermöglicht den nach sicherheitstechnischen Gesichtspunkten unabdingbaren, während der Standzeit und des Wechsels dichten und festen Anschluß des Plastiksackes an das Filtergehäuse (4).

Weiterhin war es zum Schutz für die Umgebung notwendig, eine Filteranordnung zu finden, die eine Verschleppung von Schadstoffen auf die Reinfluftseite ausschließt. Neben weiteren an sich selbstverständlichen Forderungen - siehe auch Fig. 2 und Tabelle I - sollte auch eine In-situ-Prüfung in das System integriert werden, dabei fiel die Wahl auf den Ölfadentest nach DIN 24 184,<sup>\*)</sup> da dieser Test gegenüber allen bekannten Verfahren entscheidende Vorteile besitzt, wie später noch gezeigt wird (8).

\*) Der DOP-Rauchtest ist gleichermaßen geeignet, und die Ausführungen gelten hierfür sinngemäss.

Das mit Hilfe der aus Tabelle I gewonnenen Erkenntnisse konzipierte Filtergehäuse erfüllt die Forderungen auf eine verblüffend einfache Weise. Der Luftstrom wird von oben in das Gehäuse eingeführt, nach Durchströmen des Vorfilters oder der Vorfilterkombination um  $180^{\circ}$  umgelenkt und durch die letzte HEPA-Filterstufe von unten nach oben wieder aus dem Gehäuse herausgeführt - Fig. 3.

Um den Ölfadentest als In-situ-Prüfung in das Filtersystem "Nuclear-Karlsruhe" zu verlegen, waren lediglich der Einbau eines Fensters, durch das man die Reinluftseite des HEPA-Filters und die umlaufende Abdichtung dieses Filters gegen das Gehäuse einwandfrei von außen einsehen kann, ein schwarzer Anstrich auf der Reinluftseite des Gehäuses, gegen den sich durchtretende Ölfäden bei entsprechender Beleuchtung abheben und ein Aufgabestutzen für das Prüfmedium erforderlich. Ein tragbarer Ölnebelentwickler und eine geeignete Lichtquelle vervollständigen das In-situ-Prüfsystem.

Die an eine In-situ-Prüfung nach heutigen Kenntnissen auch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu stellenden Forderungen sind in der Tabelle II zusammengefaßt. Jeder Fachmann, der sich eingehend mit der Materie beschäftigt hat, wird bestätigen können, daß diese Forderungen berechtigt sind.

Durchgeführt wird der Ölfadentest nach jedem Filterwechsel und als Wiederholungsprüfung während der Standzeit. Darüber hinaus wird der Test dann notwendig, wenn der Verdacht auf einen geminderten Abscheidegrad, z. B. nach einem Ansprechen der Gesamt-Abluftüberwachung vorliegt.

Es genügt angelerntes Personal ohne besondere Qualifikationen mit der In-situ-Prüfung zu betrauen. Sinnvollerweise beauftragt man mit dieser Aufgaben die selben Leute, die auch den Filterwechsel vornehmen. Ein kleiner, tragbarer Ölnebelentwickler, wie er im Prinzip in der DIN 24184 beschrieben ist, wird vom Operateur einerseits an eine

Druckluftquelle und andererseits mit einem Schlauch am Ölnebeleinlaß der abgesperrten Staubluftseite des Filtergehäuses angeschlossen. Den Ölnebel gewinnt man aus handelsüblichem Paraffin, er hat einen häufigsten Tröpfchendurchmesser von 0,3 bis 0,5  $\mu$  und liegt damit etwa im Abscheideminimum eines HEPA-Filters. Den Ölnebel preßt man nun mit geringer Geschwindigkeit durch das HEPA-Filter. Aus dem abgedunkelten Filterraum leuchtet der Prüfer durch das Prüffenster die Reinluftseite und Dichtung des HEPA-Filters ab. Undichtigkeiten und Mikrolecks im Filtermedium oder der Abdichtung zeigen sich nun deutlich als lange, milchigweiße Ölnebelfäden gegen den schwarz gehaltenen Hintergrund der Reinluftseite. Als Beleuchtungsquelle eignet sich vorzüglich eine fokussierbare Mikroskopierleuchte, da sie leicht zu handhaben ist und einen stark gebündelten Lichtstrahl liefert, ohne durch Seitenlicht zu blenden. Die Lichtquelle darf nicht zu stark sein, da bei zu großer Aufhellung des Hintergrundes der Kontrast zu den Ölfäden leidet. Eine 15-Watt-Leuchte, die mit verminderter Spannung betrieben wird, reicht völlig. Im Gegensatz zu den sonst üblichen Prüfständen treten bei der In-situ-Prüfung keinerlei Störgrößen, wie z. B. Wärme durch starke Beleuchtungsquellen oder Luftströmungen in Erscheinung - beides löst Ölfäden frühzeitig auf und erschwert deren Erkennen. Der Ölfadentest, im Nuclear-Karlsruhe-Gehäuse durchgeführt, ist wesentlich genauer und klarer reproduzierbar als der ohnehin schon außerordentlich anzeigempfindliche Test auf den normalen, offenen Ölfäden-Prüfständen. So erhält man mit diesem qualitativen In-situ-Verfahren eine Anzeigempfindlichkeit, die von den bisher angewandten und erheblich aufwendigeren quantitativen Prüfverfahren kaum erreicht wird.

Zu den bereits genannten Vorzügen bringt der Einsatz des Nuclear-Karlsruhe-Systems noch folgende Vorteile:

- bis zu 40 % Platzersparnis auch gegenüber sogenannten Filterwänden
- jede Filterzelle ist einzeln gasdicht absperrbar

- der Anpressmechanismus liegt außerhalb des Gehäuses, d. h. außerhalb aggressiver Medien
- die Anpresskraft wirkt selbstnachstellend und federnd an der Dichtung umlaufend gleichförmig
- das Filtersystem kann über Hilfsfilter für den Wechsel ent- und belüftet und nach dem Wechsel gespült werden, um die Filtersäcke zu evakuieren, kann über die gleiche Einrichtung das Gehäuse auf den max. Anlagenunterdruck gebracht werden
- das System ergibt eine gleichmäßig wartungsfreundliche Arbeitshöhe für den Filterwechsel
- im Gehäuseinneren gibt es keine Angriffsmöglichkeit für Korrosionen
- Fremdkörper und Kondensate aus dem Luftstrom werden durch die Umlenkung vor dem HEPA-Filter unschädlich abgeschieden
- der zunehmende Differenzdruck am HEPA-Filter wird durch das steigende Staubgewicht weitgehendst kompensiert
- der Filterzustand ist auf der Reinluftseite jederzeit von außen durch Augenschein feststellbar.

Der entscheidende Vorteil ist jedoch die Tatsache, daß man mit dieser einfachen In-situ-Prüfung der Einzelfilter die schadhafte Filterzellen lokalisieren und dann austauschen kann, während man mit integralen Prüfmethode über die gesamte Filteranlage im Schadensfalle sämtliche Filterzellen wechseln muß. Beim totalen vorzeitigen Filterwechsel einer mittleren Anlage entsteht schnell ein zusätzlicher Kostenaufwand von einigen 10 000 DM. Die hier vorgestellte In-situ-Prüfung nach der Ölfadenmethode beschränkt diese Kosten auf den erforderlichen Mindestbedarf (9/10) und erfüllt damit die Anforderungen in Bezug auf den wirtschaftlichen Einsatz von Anlagen- und Betriebskosten gleichermaßen.

Zusammenfassung:

Das vorgestellte Filtersystem "Nuclear-Karlsruhe" kann, von wenigen Sonderfällen abgesehen, überall eingesetzt werden, wo es um die Abscheidung von Schwebstoffen geht. Die vorliegenden Betriebsergebnisse, die bei vielen Einsätzen dieser Filter über mehrere Jahre gewonnen wurden, haben alle Erwartungen bestätigt. Insbesondere die In-situ-Prüfung, mit der die einzelnen Leckstellen sichtbar gemacht und damit gezielt beseitigt werden können, hat bei erhöhter Sicherheit die Wirtschaftlichkeit entscheidend verbessert. Wenn man bisher im Falle eines vermuteten Filterdefektes die ganze Anlage oder Teilanlage neu bestücken mußte, kann man sich jetzt auf den Austausch der schadhaften Filterzelle beschränken. Neben der Kostenersparnis für die nicht benötigten Ersatzfilter spart man auch bei der Abfallbeseitigung, da die Filter als radioaktiver Abfall behandelt und dem Endlager zugeführt werden müssen. Die steigenden Kosten auf der Abfallseite unterstreichen die Vorteile der hier angewandten In-situ-Prüfung zusätzlich.

Literatur:

- (1) Der Bundesminister des Inneren der BRD: Sicherheitsrisiken für Kernkraftwerke. 25. Juni 1974
- (2) Deutsches Patentamt München:  
Deutsche Offenlegungsschrift 2 110 300  
Deutsche Offenlegungsschrift 2 138 412  
Deutsche Auslegeschrift 2 334 586
- (3) M. Ohlmeyer, W. Stotz: Schwebstoff-Filteranlagen für die Abluft aus kerntechnischen Einrichtungen, Kerntechnik 15 (1973) 9
- (4) E. Windbühl, M. Ohlmeyer: Mehr Sicherheit bei der Arbeit an Hand-  
schuhkästen durch Verbesserung der Handschuhbefestigung. Kern-  
technik 2 (1976) 85, 89
- (5) J. Bradel et J. Brien, Methode d'essais des filtres à haute efficacité  
par aerosol d'uranine. Thermique et Aeroloque 01, 7-9-1970
- (6) Druckschrift C 1001 3/71 "Prüfung" der Firma Camfil
- (7) J. Fahrbach: Der Einfluß von Lecks auf den Gesamtdurchlaß-Ge-  
schwindigkeits- und Konzentrationsmessungen an perforierten  
Filtern. Staub-Reinhaltung der Luft 30 (1970) Nr. 12
- (8) D. Hasenclever: Filter zur Luft- und Gasreinigung in kerntech-  
nischen Anlagen. Staub-Reinhaltung der Luft (1971) Nr. 2
- (9) P. Berliner, M. Ohlmeyer, W. Stotz: The Nuclear Karlsruhe Air  
Filter System. IAEA-International Symposium on the Design of and  
Equipment for Hot Laboratories - Aug 76
- (10) M. Ohlmeyer: Jährliche Kosten von Schwebstoff-Filtereinrichtungen  
in lufttechnischen Anlagen, speziell für Abluftanlagen, in der Kern-  
technik. Klimatechnik 12 (1970) 10, 14

Tabelle I / Filterbeaufschlagung

 Einbausituation der Filter							
Forderungen an die Filteranlagen							
1	Ölfadentest in Strömungsrichtung mit Filtersitzkontrolle	+	-	-	-	+	-
2	Staubabfall zur Reinluftseite ist ausgeschlossen	+	-	-	-	+	-
3	Filterwechsel erfolgt zur Staubluftseite	+	-	-	+	+	-
4	Filterdrainage zur Staubluftseite vermeidet Durchtritt von Kondensaten	+	+	-	-	+	+
5	Die steigende Druckdifferenz soll die Anpfeßvorrichtung nicht belasten	+	-	-	+	+	-
6	Zunahme von Druckdifferenz und Staubgewicht sollen das Filtermedium nicht unnötig belasten	+	+	-	-	-	-
Erklärung: + Forderung ist erfüllt      - Forderung ist nicht erfüllt      + Forderung ist nur teilweise erfüllt							

Tabelle II / <u>In-situ-Prüfmethoden</u>					
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: right; margin-right: 10px;">→</div> <u>Prüfmethode</u> </div> <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: left; margin-right: 10px;">↓</div> <u>Forderungen an die Prüfmethode</u> </div>		Allgemeine Ab- luftüberwachung	Quantitative Metho- de mit Teilstrom- entnahme vor und nach den Filtern	Methode wie b, jedoch mit Leck- suche (scanning) nach den Filtern	Ölfadentest im Filtersystem "Nuclear- Karlsruhe"
		a	b	c	d
1	Sicherheitsrisiken für das Prüfpersonal sind auszu- schließen	+	+	-	+
2	Hohe Ansprech- empfindlichkeit	+	+ <sup>1)</sup> -	+ <sup>1)</sup> -	+
3	Rekonstruierbar	-	+ <sup>2)</sup> -	+ <sup>2)</sup> -	+
4	Feststellen von Einzellecks	-	-	+ <sup>3)</sup> -	+
5	Kein unbilliger Kon- struktionszwang für die Gesamtanlage	+	-	-	+
6	Geringer apparativer und personeller Aufwand	-	+ -	-	+
<u>Erklärung:</u> + Forderung ist er- füllt - Forderung ist nicht erfüllt ± Forderung ist z.T. erfüllt		1) hängt vom Prüfmittel ab und liegt oft an der Nachweisgrenze des Gerätes (5) 2) hängt von vielen Parametern ab (Luftmenge/Luftzustand usw.) (6) 3) unscharf, da Grenze zwischen Leck und dünner Filterschicht fließend (7)			



Figur 1:

Die Wirkungsweise der Verbindung zwischen dem GfK-Profil 1 und dem Plasticksack 2 beruht darauf, daß der Gummiring 3 unabhängig von der Umfangsform des Profils gleichmäßig in die Rille 4 eingepreßt wird und durch die Querspannung Q gegen die Rillenwandung abdichtet. Beanspruchungen in Richtung X bewegen den Gummiring in Richtung Y und bewirken eine Erhöhung der Abdichtung mit Selbsthemmung.

Figur 2:

Belastung der Filterzellen durch Differenzdruck, Staubgewicht und Eigengewicht in Abhängigkeit von der Beaufschlagung und der Einbausituation.

Erklärung:

P = Belastung einer Filterzelle mit Anströmfläche 610 x 610 mm und Nennluftmenge von 1800 m<sup>3</sup>/h

p = Differenzdruck über die Filterstandzeit

A-E = Verlauf der Belastbarkeit mit unterschiedlichen Staubgewichten

A+E = schwerer feuchter Staub

B+D = leichter Staub

C = Staubgewicht bleibt ohne Einfluß

X = Enddruckdifferenz mit den bei extremen Staubverhältnissen auftretenden Belastungen Y und Z

Die Figur zeigt eindrucksvoll, daß die Belastung bei herkömmlicher Einbauweise mehr als doppelt so hoch ist, wie beim System "Nuclear-Karlsruhe".

Figur 3:

Filtergehäuse "Nuclear-Karlsruhe" in zweistufiger Ausführung, hier mit zwei parallel geschalteten Einheiten dargestellt.

Erklärung:

1. HEPA-Filter, 2. Vorfilter, 3. Prüffenster, 4. Nebeleinlaß für In-situ-Prüfung, 5. Anpreßvorrichtung für HEPA-Filter, 6. Anzeige der Filterwiderstände, 7. Gasdichte Absperrungen, 8. Hilfsfilter mit Dreivegehahn, 9. Reinluftkanal, 10. Staubluftkanal, 11. Einzelabsperrung in der Ent- und Belüftungsleitung, 12. Schutzdeckel und Plasticksackverbindung mit GfK-Profil.

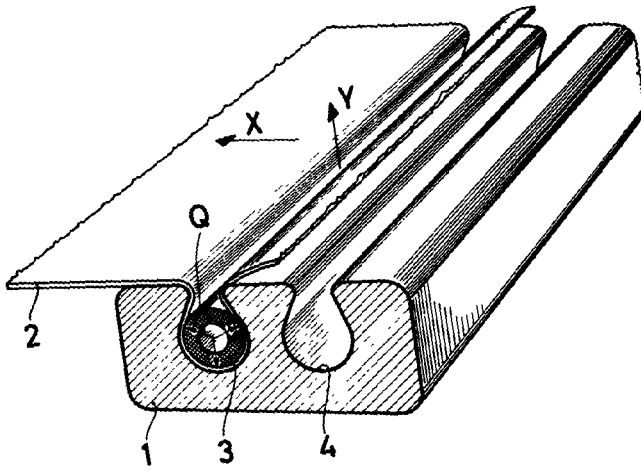


FIG.1

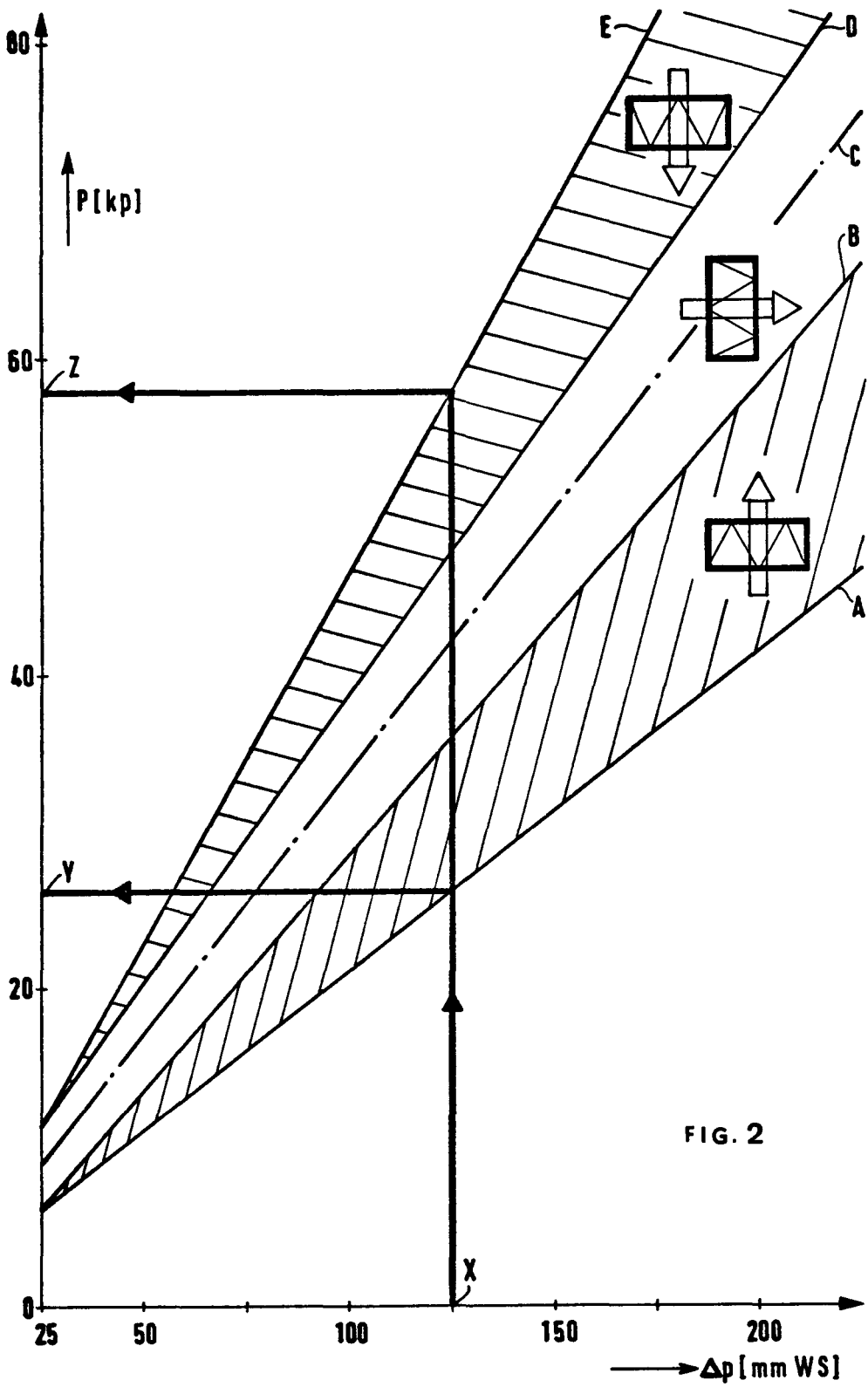


FIG. 2

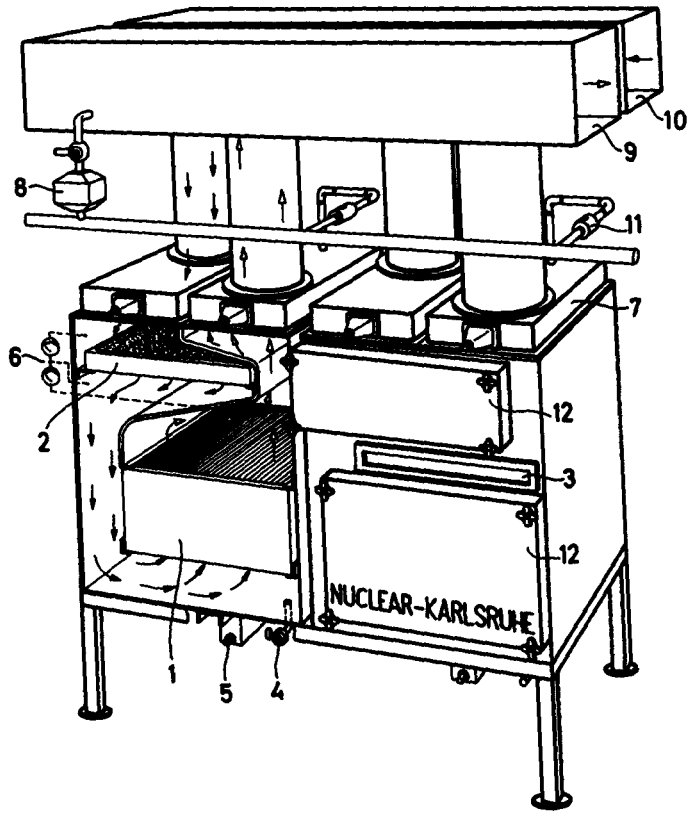


FIG. 3

THE SODIUM CHLORIDE AEROSOL TEST  
FOR HIGH EFFICIENCY AIR FILTER INSTALLATIONS

R. G. Dorman, J. Edwards and R. Poynting  
Chemical Defence Establishment  
Wiltshire - UNITED KINGDOM

**SUMMARY.** Although the individual HEPA filters of an installation may have been tested by the supplier, it is still necessary to test the plant as a whole because filters may have been damaged or have been incorrectly fitted.

On-site tests are listed and a detailed description is given of the method developed at the Chemical Defence Establishment, Porton Down. In this test the filter bank is challenged by a thermally generated submicron aerosol of common salt, and the fraction penetrating the filter is measured using a portable Sodium Flame Photometer.

Problems arising in practical on-site testing are detailed and solutions are suggested. Installations design is discussed and results of a typical test, on a 50 000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> installation, are given.

**KURZFASSUNG.** DAS VERFAHREN ZUR PRUEFUNG VON FILTERANLAGEN HOHER ABSCHIEDELEISTUNG MITTELS KOCHSALZ-AEROSOL. Obwohl die einzelnen HEPA-Filter einer Anlage häufig schon vom Hersteller geprüft sind, ist es immer noch notwendig, die Anlage insgesamt zu prüfen, weil die Möglichkeit besteht, dass Filter beschädigt oder unsachgemäß eingebaut worden sind.

Vor-Ort-Prüfungen werden aufgeführt und das beim Chemical Defence Establishment, Porton Down, entwickelte Verfahren wird ausführlich beschrieben. Bei dieser Prüfung wird das Filter mit einem thermisch erzeugten Kochsalz-Aerosol (Submikron-Bereich) beaufschlagt. Die vom Filter durchgelassene Fraktion wird sodann mit Hilfe eines tragbaren Natriumflammen-Fotometers gemessen.

Bei Vor-Ort-Prüfungen aufgetretene praktische Probleme werden im einzelnen dargelegt und Lösungswege vorgeschlagen. Die Konstruktion der Anlage wird erörtert und die typischen Ergebnisse einer Prüfung an einer 50 000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup>-Anlage werden vorgelegt.

**RESUME.** LA METHODE D'ESSAI D'INSTALLATIONS DE FILTRAGE DE HAUTE EFFICACITE AU MOYEN D'AEROSOLS DE CHLORURE DE SODIUM. Bien que les filtres absolus d'une installation aient pu être contrôlés individuellement par le fournisseur, il est encore nécessaire de contrôler le montage dans son ensemble car des filtres peuvent avoir été endommagés ou mal assemblés.

Les contrôles in situ sont répertoriés et une description détaillée de la méthode mise au point par le Chemical Defence Establishment, Porton Down, est donnée. Au cours de ce test, on contrôle l'ensemble des filtres par un aérosol dispersé de sel ordinaire produit thermiquement; la fraction qui pénètre dans le filtre est mesurée à l'aide d'un photomètre portatif à flamme de sodium.

Les problèmes qui peuvent intervenir au cours d'un contrôle sur place sont détaillés et des solutions sont suggérées. La conception du montage est discutée et les résultats d'un contrôle type sur une installation de 50 000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> sont donnés.

## Introduction

Although high efficiency air filters are tested by the makers to ensure that specifications are met, it is unusual for the overall performance of a filter system to match the rating of the individual component filters until leaks have been located and remedied. Such leaks may be due to filters having been damaged in transit or during installation or to faulty sealing of gaskets to filter frames. It is essential, therefore, to carry out commissioning tests on the complete system when the filters are first installed, and advisable to repeat the tests at intervals throughout the working life of the installation.

This paper describes a recently developed on-site test method, in which the installation is challenged by sodium chloride aerosol, using specially developed aerosol generators and detectors. With this highly portable apparatus, which operates independently of mains services, installations of capacity  $80,000 \text{ m}^3\text{h}^{-1}$  can be tested at penetrations down to 0.001%.

## Principles of on-site testing

The principles involved in on-site tests are basically the same as those of a standard laboratory test, such as British Standard 3928 or the dioctyl phthalate (DOP) test. The system is challenged by an aerosol of suitable concentration and particle size (preferably around  $0.3 \mu\text{m}$  diameter) and the upstream and downstream concentrations are measured, using a sensitive calibrated detector. A number of methods are currently in use:

- a. DOP (sprayed) is widely used in the USA and elsewhere (1). Detection is by light-scattering photometry.
- b. The uranine method is used in France (2). An aqueous solution of sodium fluoresceinate is atomised and mixed with dry air to evaporate the water. The resulting aerosol is sampled and estimated by spectrofluorimetry.
- c. The condensation nucleus counter method is used by the UKAEA (3). Nuclei are generated by a bunsen burner flame and their concentration measured by a Pollak counter.

d. The UK MOD method here described, in which the aerosol is sodium chloride, as in the BS 3928 test. To achieve the relatively high aerosol generation rates required in on-site testing the salt solution atomisers used in BS 3928 are replaced by a specially developed thermal generator. Detection is by a portable sodium flame photometer, similar to that described by Dorman (4).

### Apparatus for on-site testing

#### i. Aerosol generator

The development of this apparatus has been described by Edwards and Kinnear (5). The generator is shown operating in Fig 1. Basically, it comprises an oxypropane gas torch fitted with a specially designed annular nozzle (Fig 2), through which a salt "stick", normally 12 mm in diameter, is fed at a controlled rate. Sodium chloride evaporates in the flame and recondenses to form a fine aerosol of mass median equivalent diameter about 0.3  $\mu\text{m}$  (see Fig 3). The standard rate of generation is 5  $\text{g min}^{-1}$  but the output is controllable down to 0.1  $\text{g min}^{-1}$ .

The generator is compact and readily portable, weighing 7 Kg. A pair of small propane and oxygen cylinders, of combined weight 6 Kg give 15 min continuous operation, ample for at least 5 normal tests. If prolonged operation is necessary, larger gas containers may, of course, be used.

A smaller version of the generator, weighing only 2½ Kg, is shown, in prototype form, in Fig 4. This apparatus is designed to produce salt aerosol at rates ranging from 250  $\text{mg min}^{-1}$  down to 50  $\text{mg min}^{-1}$  or less, for testing the smaller installations.

#### ii. Portable detector

This is shown in its commercially available form, Fig 5. Its use has been described by Jovanovic et al (6) and Dorman and Dyment (7). The circuit is shown schematically in Fig 6. The detector is a sensitive portable flame photometer which will measure sodium chloride concentrations of between 50 ng and 15 mg in a cubic metre of air. The sample flow to the photometer is between 15 and 45  $\text{l min}^{-1}$ . In order to sample from ducts which are at near to, or slightly below atmospheric pressure an auxiliary fan with a head of 1 kPa is employed. The complete apparatus, including a small hydrogen cylinder for 20 h supply, weighs about 28 Kg.

A modified version of the standard portable detector is shown, in prototype form in Fig 7. This photometer has a built-in fan, complete with a rechargeable battery, and can sample against a duct depression of 2 kPa (8 inches wg). The hydrogen cylinder is also built-in. A forced ventilation system ( $20 \text{ l min}^{-1}$ ) has been adopted for the flame tube so that the detector can be used in a wind without risk of flame extinguishment. This enables the operator to take the complete apparatus into a duct or plenum chamber to trace leak sources (Fig 8). The total weight of the new detector with its meter unit and chart recorder is 17 Kg. The equipment has proved valuable in commissioning tests on a large installation which had serious leaks.

### Practical On-Site Testing

As stated previously, HEPA filters are manufactured and tested to recognized standards and the problem in on-site testing is normally one of leak detection and location.

The test procedure, simply, is that the aerosol is injected at a convenient point in the ducting system and its concentration is sampled upstream and downstream of the filters.

To obtain accurate results the test cloud must be injected in such a way that a uniform aerosol concentration is presented to each filter and to the upstream sampling point. Where the fan is sited upstream of the filter bank, adequate mixing can be ensured by arranging that the aerosol passes through the fan. If the fan is downstream, the aerosol must be injected far enough upstream of the filters (preferably at least 10 duct diameters) to allow it time for mixing. The situation is improved if bends are present in the duct work or if mixing baffles can be fitted. In extreme cases it may be desirable to extend the ducting with plastic sheet etc. The downstream sample must similarly be taken from a position where the air and any aerosol passing the filters will be fully mixed; a pin hole leak can give rise to a streamline of salt aerosol which could otherwise be missed in a downstream sample taken from the centre of the ducting.

If the installation fan is between the filters and the positions where the samples must be taken, it must be carefully inspected for leaks. Leakage, which often occurs at the 'eye' of the fan will falsify concentration measurements.



The usual constraints apply to sampling. Samples are withdrawn from the duct via elbow tubes bent so that their open ends, which should be knife edged, face the airstream. The tubes should preferably be sized so that air entry velocity at the usual sampling rates of 20-30 l min<sup>-1</sup> is between  $\frac{1}{4}$  and 4 times the air velocity in the duct. The pressure within an installation may be positive or negative, with respect to the atmosphere, in the region of the filter housings. If the duct is under negative pressure, a small fan is required to extract the sample. The characteristics of test aerosol losses on the sampling fan blades must be known.

Occasionally, due to ductwork layout etc, it may be impractical to take an upstream sample. In such cases it is necessary to calculate the aerosol concentration from a knowledge of the generation rate and as accurate as possible a measurement of the air flow rate. Knowledge, or accurate estimation, of likely ductwork and sampling fan losses obviously become doubly important in such cases.

The portable photometer is calibrated against salt aerosol concentrations of up to about 15 mg m<sup>-3</sup>. To ensure maximum sensitivity the aerosol generation rate should be chosen to give an upstream concentration as close as possible to this value without exceeding it.

#### Installation Design

Existing installations have to be tested as they stand. Their layout is normally less than ideal for accurate testing and compromises have to be accepted. Careful siting of sampling and test aerosol injection points and very occasionally the fitting of mixing baffles in the ductwork is the most that can be done to ensure reliable results.

Maintenance and testing can be greatly simplified if consideration is given to their requirements at the design stage of an installation; this is especially true in large air volume HEPA installations where many filter housings may be used in parallel, often with each housing holding two filters in tandem.

This type of system causes considerable difficulty in the location and detection of leaks. The fact that only a small percentage of the total air flow is drawn through any particular filter means that leakage through one faulty filter will be diluted by the clean air from the others while with tandem filters one faulty unit will remain undetected if it is preceded or followed by a sound one. The first problem can only be overcome by scanning the downstream faces of the filters individually, often an extremely difficult operation but one which is facilitated by the use of the latest CDE wind-proof detector. The second difficulty necessitates the removal of one 'layer' of filters while testing the other, this involves the risk of damage and faulty re-fitting.

Ideally tandem installations would have the first and second stage filters widely separated so that the stages could be tested independently. In either one or two stage systems sufficient ductwork (eg 10 duct diameters) should be left either side of the filters to ensure mixing of upstream and downstream aerosols before sampling. An additional refinement would be the fitting of mixing baffles, either side of the filters, these could be swivelled out of the way in normal use. Using typical dimensions laid down in BS 3928 the area of the baffles should be half of the cross-sectional area of the duct and they should be situated so that there is three duct diameters length of ducting upstream of them and ten diameters downstream.

Access points closely downstream from, or dampers fitted to, each individual filter would facilitate the precise location of leaks once detected. The use of dampers to isolate suspected filters may well alter the flow through the remaining on-stream units with consequential change in their performance; this effect should be considered when interpreting results.

#### Typical Test Results

Results are given below of tests on a large installation consisting of two nominally  $50,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  filter banks. As the 72 housings each held 2 filters in tandem, the top filter was removed from each housing in order to test the lower set. The initial tests indicated serious leaks in one bank; these were located by an operator inside the duct using a portable photometer.

The leaks proved to be due to damaged filters, to misplaced gaskets and to incorrectly clamped filters. After rectification of these faults the installation was retested to ensure that it was then within the specification of the individual filters (<0.05% penetration). The top filter set was then replaced and the overall performance checked to ensure that a further improvement had taken place.

TABLE 1

Test results on a 2 x 50,000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> installation

		Upstream Conc (mg m <sup>-3</sup> )	Downstream Conc (µg m <sup>-3</sup> )	Penetration (%)
Initial results	Bank No. 1	7	1.0	0.15
	" " 2	6	0.6	0.01
After rectifying faults	Bank No. 1	13	1.5	0.01
	" " 2	7	0.9	0.01
After replacing top filters	Bank No. 1	10	<0.05	<0.0005
	" " 2	7.5	<0.05	<0.0007

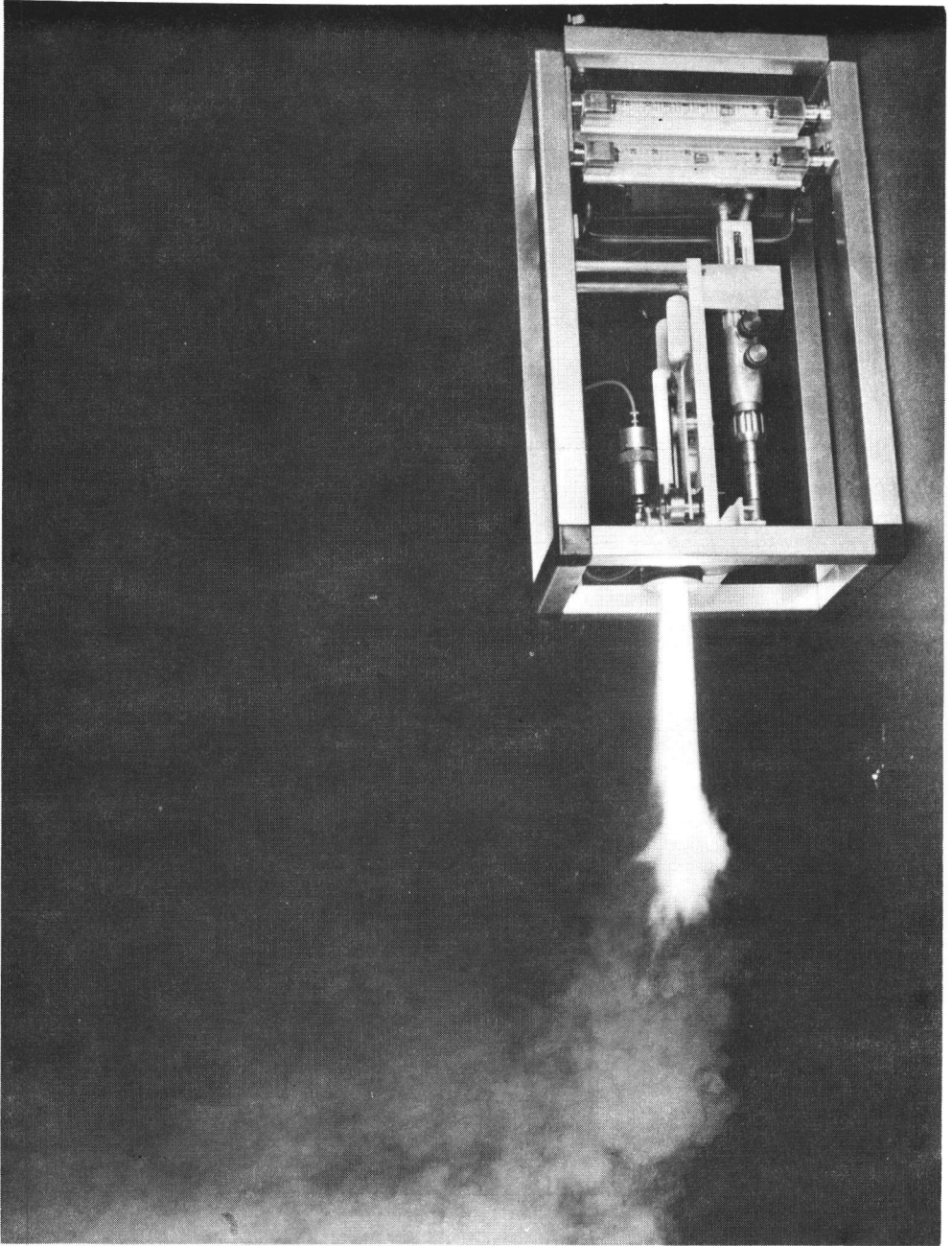
SUMMARY

1. A system for the on-site testing of high efficiency filter installations is described. The equipment is highly portable and operates independently of mains power supplies.
2. The HEPA filters used in an installation may well have been individually tested by their makers. It is still important to test the installation as a whole because of the risk of damage to, or incorrect fitting of, the filters.
3. Filter systems are individually designed and no two present identical layouts or difficulties. Testing should be done by a team familiar with the problems involved and capable of solving them.
4. On plants where the applications are critical, and where periodic testing will be necessary, requirements for testing should be taken into account at the design stage.

REFERENCES

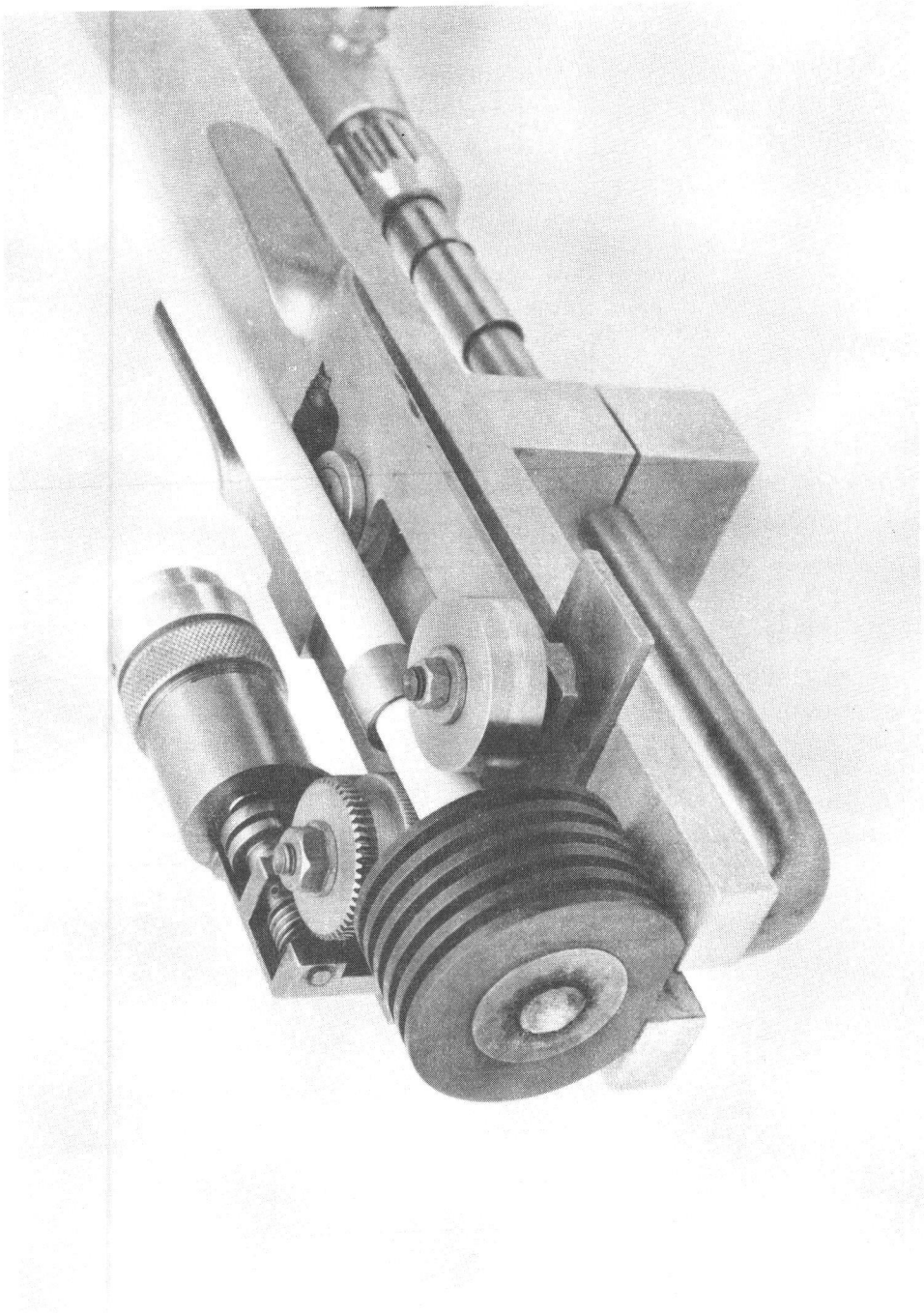
1. US National Standard (1972) ANSI N 101-1
2. J. Dupoux, J. Pradel (1974) Proc. International Symposium on Contamination Control, London.
3. R. E. Davis, J. J. Clifton (1966) Filtration and Separation 3 (6), 473.
4. R. G. Dorman, (1970), J.Inst. Heat Vent. Engrs, 38, 178
5. J. Edwards, D. I. Kinnear, (1974), Proc. 13th AEC Air Cleaning Conf. USAEC.
6. O. Jovanovic, M. Vidmar, M Tubic, D. Patic, R. Radosavlevic, and R. Smiljanic, (1974) Ibid.
7. R. G. Dorman, J. Dymont, (1974) Proc. International Symposium on Contamination Control, London.

Reproduced by permission of HMSO, London, 1976



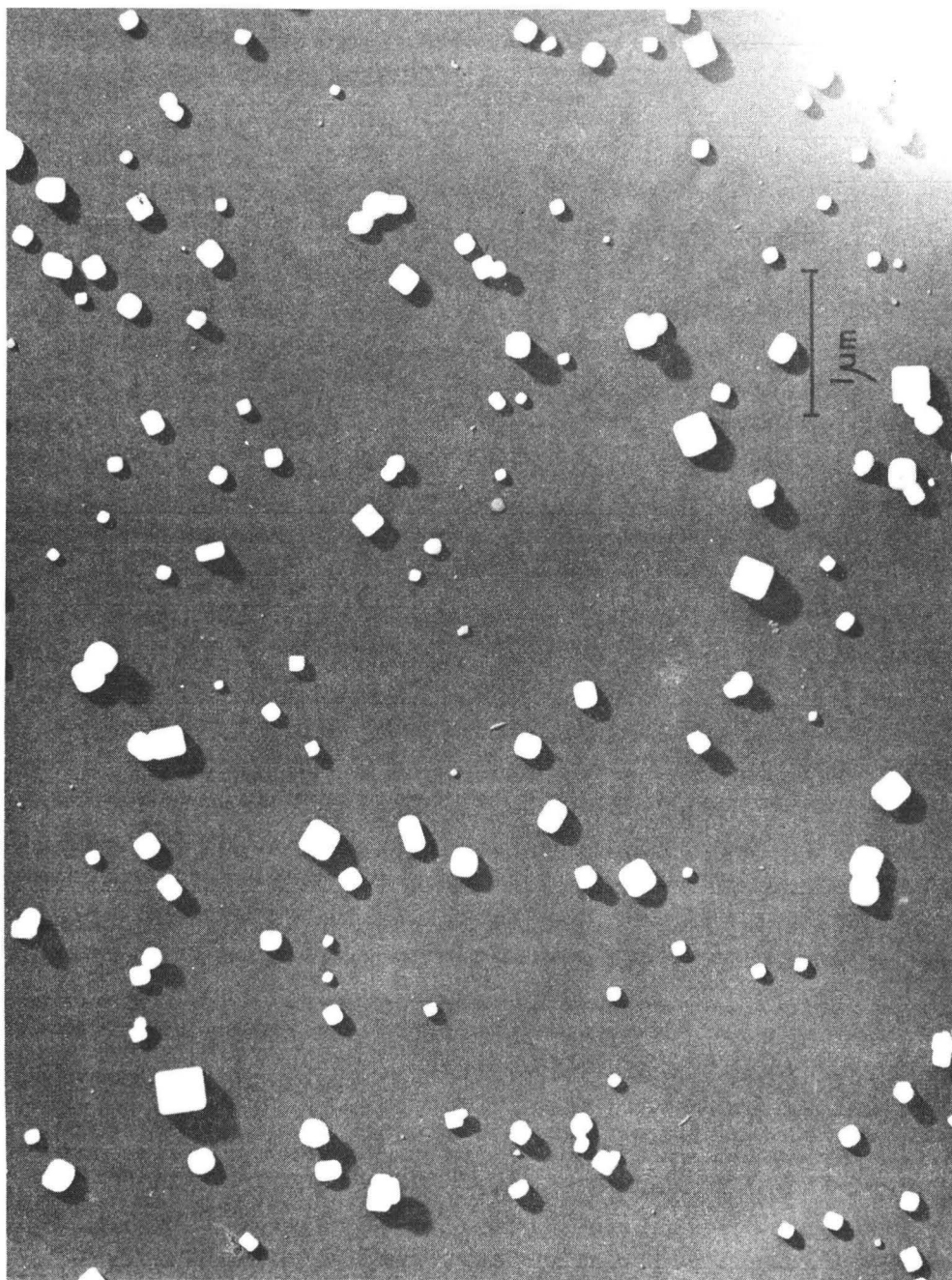
Salt aerosol thermal generator.

FIG. 1



Nozzle and salt stick drive mechanism.

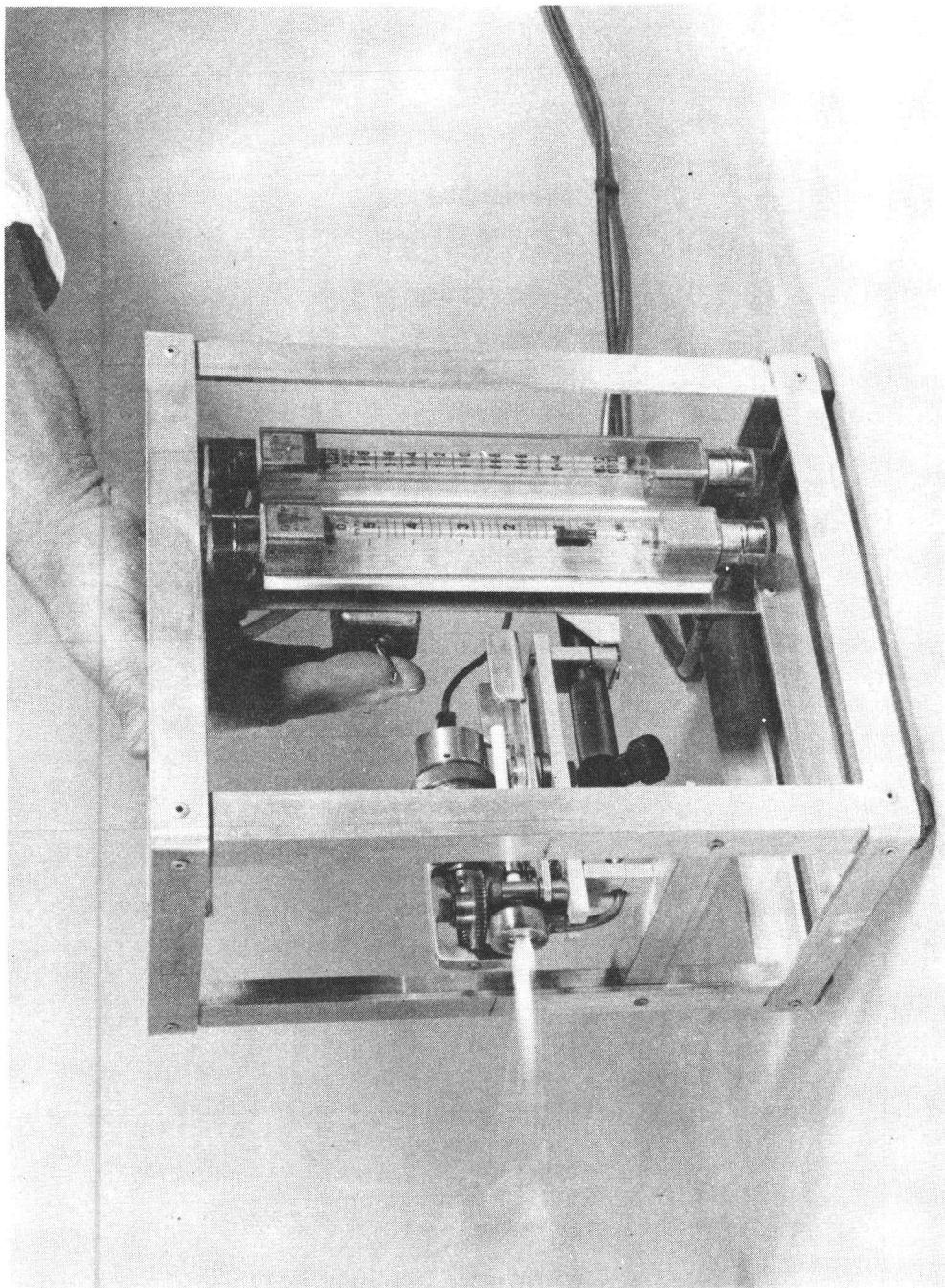
FIG. 2



Electron micrograph of NaCl aerosol from thermal generator operating at  $5 \text{ g min}^{-1}$  output.

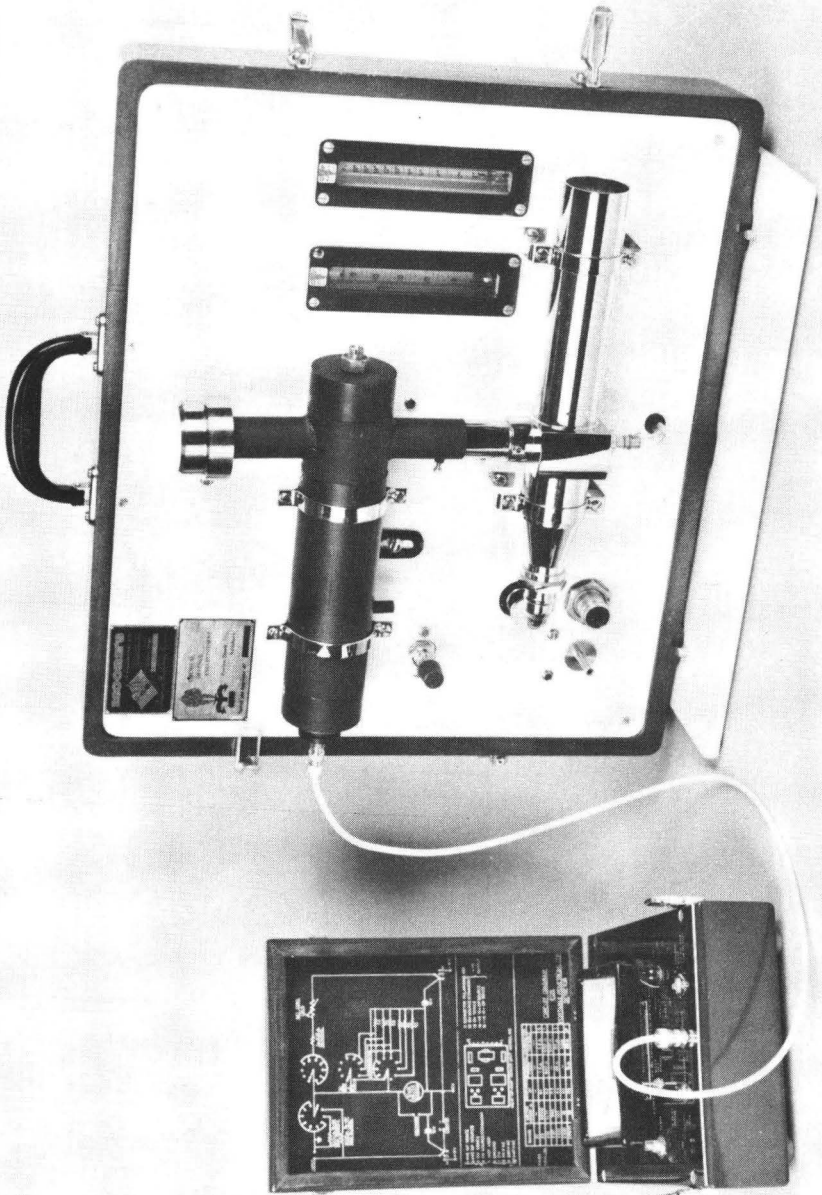
FIG. 3





Miniature version of salt aerosol generator (prototype)

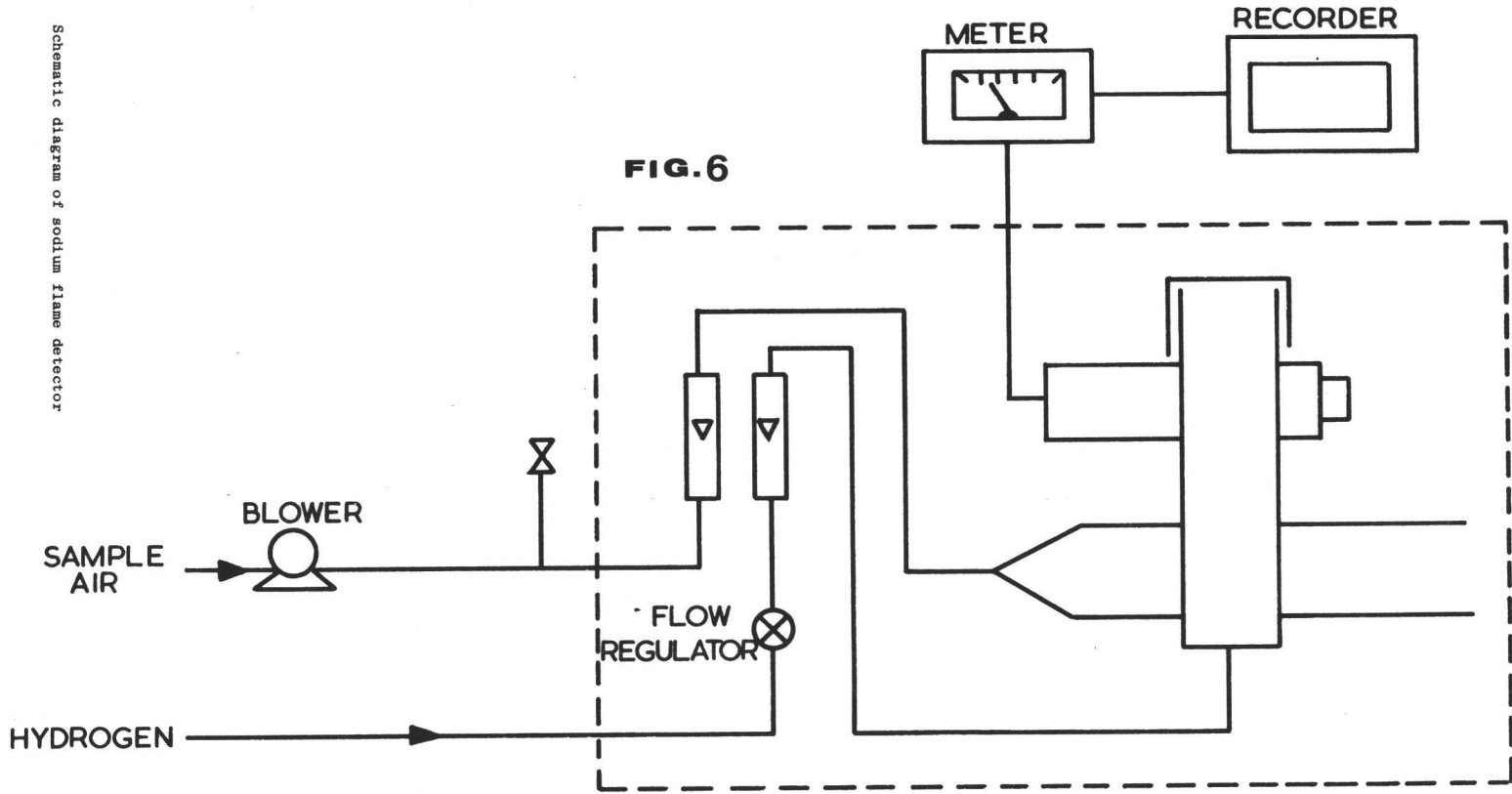
FIG. 4

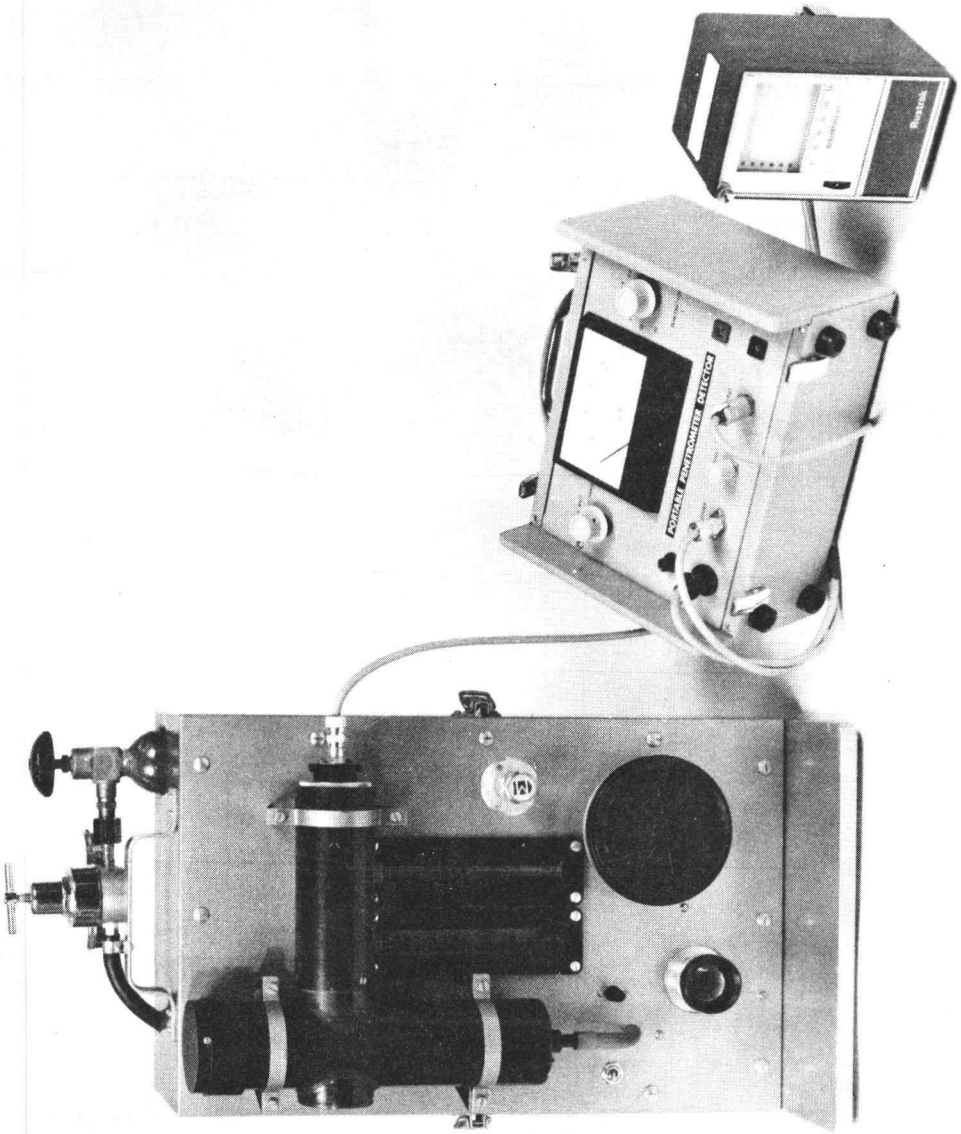


CDE portable flame photometer

FIG. 5

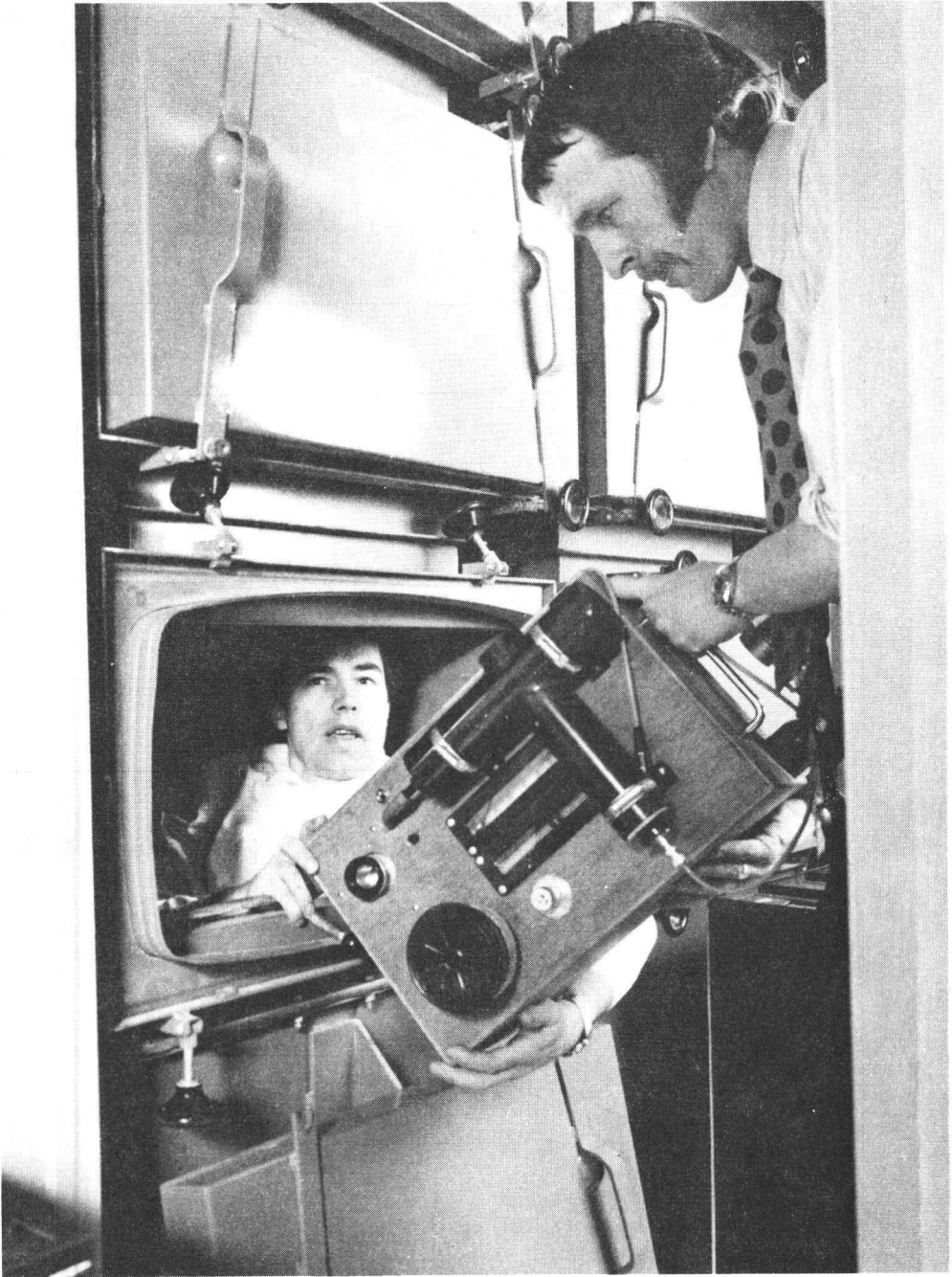
Schematic diagram of sodium flame detector





Modified CDE portable detector (prototype)

FIG. 7



Use of prototype sodium flame detector in duct for leak testing.

FIG. 8



CONTROLE IN SITU DE FILTRES ABSOLUS  
PAR LA METHODE DE TEST AU DOP

G. Fieuw, W. Slegers et Th. Zeevaert  
C. E. N. /S. C. K.  
Mol - BELGIQUE

**RESUME.** Les installations nucléaires et les centres de recherche nucléaires en particulier sont des utilisateurs importants de filtres absolus. En plus des contrôles que les filtres subissent en usine lors de leur fabrication, des tests in situ sont indispensables avant la mise en exploitation afin de vérifier si l'ensemble des installations filtrantes donne satisfaction. Des tests périodiques sont exécutés afin de vérifier le maintien des performances en cours d'exploitation.

Au Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (CEN/SCK) à Mol, la méthode de test au DOP, basée sur la norme ANSI-N. 101. 1-1972 est d'utilisation. Un aérosol polydispersé de DOP est injecté dans l'installation en amont des filtres. L'efficacité de l'installation est obtenue à partir de la mesure relative de la concentration DOP en amont et en aval des filtres par détermination de la lumière diffractée sous un petit angle par le nuage d'aérosol présent. La méthode, les générateurs à tête de pulvérisation Laskin et du type à condensation de vapeur ainsi que le détecteur sont décrits.

La répartition granulométrique des aérosols a été vérifiée. Les résultats pratiques, ainsi que les enseignements à tirer de l'expérience acquise lors des tests in situ au moyen de la méthode DOP sont commentés.

**KURZFASSUNG.** IN-SITU-PRUEFUNG VON ABSOLUTFILTERN MIT HILFE DES DOP-PRUEFVERFAHRENS. In kerntechnischen Anlagen, insbesondere in kerntechnischen Forschungsinstituten, gelangen zahlreiche Absolutfilter zum Einsatz. Abgesehen von den Prüfungen, die an den Filtern bei ihrer Herstellung durchgeführt werden, sind In-Situ-Erprobungen vor der Inbetriebnahme unbedingt erforderlich, mit denen jeweils die Leistungsfähigkeit der gesamten Filteranlage geprüft wird. Ausserdem werden regelmässige Wiederholungsprüfungen zur Kontrolle der Betriebsleistungen durchgeführt.

Im Kernforschungszentrum Mol wird das auf der Norm ANSI-N. 101. 1-1972 beruhende DOP-Prüfverfahren angewandt. Ein polydisperses DOP-Aerosol wird vor den Filtern in die Anlage injiziert. Die Leistung der Anlage lässt sich durch relative Messung der DOP-Konzentration vor und hinter den Filtern auf Grund der Messung des unter kleinem Winkel von der Aerosolwolke gestreuten Lichtes ermitteln. Das Prüfverfahren, der Laskin-Sprühkopf des mit Dampfkondensation arbeitenden Aerosolgenerators sowie der Detektor werden beschrieben.

Die Grössenverteilung der Aerosole wurde festgestellt. Die praktischen Ergebnisse sowie die Schlussfolgerungen aus den bei In-situ-Prüfungen mit Hilfe des DOP-Verfahrens gewonnenen Erfahrungen werden dargelegt.

**SUMMARY.** IN-SITU TESTING OF HEPA FILTERS BY THE DOP TEST METHOD. Nuclear facilities and especially nuclear research centres are important users of HEPA filters. In addition to the initial tests by the manufacturer, filters have to be tested in-situ in order to establish the efficiency of the installed filters prior to their utilization. Periodic tests are carried out in order to verify their operational performance.

At the Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (CEN/SCK) of Mol the DOP test method, based on the ANSI-N. 101. 1-1972 standard, is in general use. A polydisperse DOP aerosol is injected upstream of the filters. The overall filter efficiency is obtained by comparing the concentrations upstream and downstream by determination of forward-scattered light from the aerosol cloud. The test method, the Laskin-nozzle vapour condensation aer-

osol generators and the detector are described. The particle size distribution of the test aerosol has been verified. The practical results and the conclusions to be drawn from the experience gained during the tests in-situ by the DOP method are reviewed.



## INTRODUCTION

L'application de filtres à haute efficacité est d'un emploi généralisé dans l'industrie nucléaire. Des limites très strictes sont imposées lors des rejets de produits radioactifs sous forme d'aérosols en condition d'exploitation normale, tandis que des garanties sont exigées afin de limiter les conséquences d'incidents ou d'accidents. Bien que les filtres utilisés subissent des contrôles de qualité lors de leur fabrication, un contrôle in situ est indispensable.

En plus de la vérification lors de la réception de l'installation, un contrôle périodique est nécessaire afin de vérifier l'évolution de l'efficacité du système en cours d'exploitation. La périodicité de tels contrôles sera essentiellement fonction de la nature de l'installation et des conditions d'exploitation. Cette vérification devient toutefois indispensable après tout remplacement ou enlèvement de filtres ou intervention importante sur le système de filtration, ainsi que lors de toute indication permettant de douter à l'efficacité du système en place [1] [2].

Les méthodes principales de la vérification in situ de la pénétration des systèmes de filtration, équipés de filtres à haute efficacité, sont les suivantes :

- **Méthode au DOP** : la pénétration est calculée à partir de la mesure de la concentration d'un aérosol de DOP en amont et en aval des filtres. Cet aérosol est généré par pulvérisation ou évaporation, suivie de condensation. La mesure de la concentration se fait généralement directement sur place au moyen d'un photomètre.
- **Méthode d'uranine** : une solution aqueuse d'uranine est pulvérisée dans l'air du système de ventilation ; la pénétration du système de filtration est calculée à partir de la mesure de fluorescence d'échantillons pris en amont et en aval du système de filtration.
- **Méthode au chlorure de sodium** : l'aérosol d'essai peut être généré selon deux méthodes différentes. Pour des débits de filtration peu élevés, la génération se fait par pulvérisation et évaporation d'une solution aqueuse de NaCl. Pour des débits plus élevés, le sel, sous forme solide, est évaporé au moyen d'une torche, puis condensé. La détection est effectuée au moyen d'un photomètre à flamme. La pénétration est calculée à partir de la mesure sur place, de la concentration de l'aérosol en amont et en aval du système de filtration.

## METHODE D'ESSAI AU DOP

Au C.E.N./S.C.K. à Mol, des vérifications in situ des systèmes de filtration à haute efficacité des différentes installations ont débuté en 1968. La méthode au DOP y fut adoptée. Actuellement la procédure suivie est celle décrite par l'A.N.S.I.-N101.1-1972, American National Standard : "Efficiency Testing of Air Cleaning Systems containing Devices for Removal of Particles" [2].

Cette norme est inspirée à partir de la norme utilisée pour la vérification au DOP des filtres à haute efficacité lors de leur fabrication [3].

Parmi les éléments, qui ont déterminé le choix de la méthode, citons sa souplesse et facilité de mise en oeuvre, qui permet une évaluation immédiate sur place, permettant de prendre rapidement les mesures correctives et d'en vérifier l'efficacité.

### Principes

Lors des vérifications, un aérosol de DOP est généré dans des conditions standards et introduit en amont à une distance suffisante pour obtenir une concentration homogène à hauteur des filtres. Une mesure de la concentration de DOP avant les filtres à haute efficacité et en aval du système de filtration permet de calculer la pénétration du système.

$$P = \frac{\text{concentration aval}}{\text{concentration amont}}$$

Bien que les concentrations de DOP peuvent en principe être mesurées par toute méthode adéquate, la mesure de la lumière diffusée en avant sous un petit angle par un photomètre est généralement utilisée.

### Aérosol de DOP

Le DOP ou le di [2-ethylhexyl] phtalate est un liquide huileux, stable, incolore, inodore, non corrosif et non toxique, avec les caractéristiques suivantes : [4] [5]

- formule chimique globale :  $C_{24}H_{38}O_4$
- poids moléculaire : 390,54
- densité à 20 °C : 0,98
- tension de vapeur à 25 °C :  $(1,73 \pm 0,08) \cdot 10^{-7}$  mbar
- point d'éclair : 201 °C.

La distribution granulométrique de l'aérosol en nombre de particules doit satisfaire aux conditions suivantes [2] :

- diamètre moyen de l'ordre de  $0,5 \mu\text{m}$
- 95 % des particules de diamètre inférieur à  $1 \mu\text{m}$ .

#### Générateur TDA-4A (Fig. 1)

Le générateur est équipé de pulvérisateurs du type Laskin. Huit de ces pulvérisateurs sont montés verticalement ; les orifices se trouvant à maximum  $2,5 \text{ mm}$  en dessous du niveau de DOP de la chambre de pulvérisation. La pulvérisation se fait au moyen d'air comprimé à  $1,4 \text{ kg.cm}^{-2}$  et à un débit de  $12 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ . Il est possible d'utiliser 8, 6, 3 ou 1 pulvérisateur séparément. L'emploi des 8 pulvérisateurs ensemble permet une génération de l'ordre de  $700 \text{ g.h}^{-1}$  de DOP. L'appareil peut être utilisé pour la vérification de systèmes de filtration avec des débits de ventilation jusqu'à  $7000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

La distribution granulométrique renseignée par le constructeur est :

- plus de 99 % moins que  $3,0 \mu\text{m}$
- 95 % moins que  $1,5 \mu\text{m}$
- 92 % moins que  $1,0 \mu\text{m}$
- 50 % moins que  $0,72 \mu\text{m}$
- 25 % moins que  $0,45 \mu\text{m}$
- 10 % moins que  $0,35 \mu\text{m}$ .

#### Générateur TDA-5A (Fig. 2)

Un débit d'azote de l'ordre de  $2,5$  à  $5 \text{ l/min}$  sous  $0,35$  à  $0,7 \text{ kg.cm}^{-2}$  entraîne le DOP vers une chambre, où le DOP est chauffé et vaporisé. Lors du mélange à l'air à la sortie du pulvérisateur un aérosol polydispersé, reproductible est formé. L'appareil permet la vérification de systèmes de filtration avec des débits de ventilation jusqu'à  $80\ 000 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ .

#### Appareil de mesure

L'appareil de mesure doit satisfaire à trois conditions :

- la lecture de l'appareil doit varier linéairement avec les concentrations de DOP à mesurer ;
- des concentrations de  $10^{-3} \mu\text{g.l}^{-1}$  doivent être détectables à 1 % de l'échelle la plus sensible ;
- l'appareil doit pouvoir mesurer des concentrations correspondant à  $10^3$

fois la concentration maximum de l'échelle la plus sensible.

Le principe généralement utilisé est la mesure relative de la concentration de DOP en amont et en aval du système de filtration par détermination de la lumière diffusée en avant sous un petit angle par l'aérosol présent.

L'appareillage correspondant est composé d'une chambre de diffusion, une source de lumière, un système optique et un photomultiplicateur associé à une électronique d'interprétation du signal obtenu.

Au C.E.N./S.C.K. l'appareil TDA-2C est utilisé,

#### Appareil de mesure TDA-2C (Fig. 3)

L'appareil est basé sur l'évaluation de concentrations d'aérosols à partir de la lumière diffusée en avant sous un petit angle par l'aérosol présent.

L'appareil est composé

- d'une pompe d'aspiration de  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  ;
- une source de lumière ;
- deux lentilles plan-convexes ;
- un écran opaque ;
- une chambre de diffusion ;
- un photomultiplicateur et électronique associé.

L'air dont la concentration de DOP est à mesurer est aspiré à travers la chambre de diffusion. La lumière diffusée par les aérosols est détectée par le photomultiplicateur.

#### PROCEDURE D'APPLICATION

Lors de la vérification d'un système de filtration la procédure suivante est appliquée. Le débit de ventilation est réglé au maximum du débit de fonctionnement prévu. Lorsque des variations du débit de ventilation sont à prévoir, la procédure est répétée au débit minimum. La perte de charge de chaque filtre ou groupe de filtre est notée.

L'aérosol de DOP est injecté dans la conduite de ventilation en amont des filtres à une distance suffisante pour obtenir un mélange homogène à hauteur des filtres. A cette fin le point d'injection est pris à une distance des filtres de l'ordre de dix fois le diamètre équivalent de la conduite. Au moyen du détecteur la concentration de DOP est mesurée à différents endroits d'un plan perpendiculaire à l'axe de la conduite et situé aussi proche que possible des filtres. Au cas où une différence supérieure à 10 % de la concentration maximum est constatée entre les concentrations maximum et minimum

un mélange supplémentaire est requis.

La concentration en aval des filtres est mesurée si possible derrière le ventilateur ou à une distance de l'ordre de dix fois le diamètre équivalent de la conduite. Un mélange supplémentaire est nécessaire au cas où les concentrations maximum et minimum de DOP, mesurées dans des points d'un même plan perpendiculaire à l'axe de la conduite diffèrent de plus de 0,01 % de la concentration de DOP en amont des filtres.

Au cas où il n'est pas possible d'obtenir un mélange homogène la technique d'échantillonnage par points multiples est effectuée. A cette fin, la conduite est divisée en 10 segments d'une surface maximale de 0,10 m<sup>2</sup>. A partir des mesures au milieu de chaque segment une moyenne et un intervalle de confiance de 95 % sont calculés.

Quand la pénétration globale est supérieure à 0,05 % l'origine du défaut est recherchée. A cette fin les joints, cadres et filtres sont contrôlés en passant la sonde détectrice à environ 3 cm des surfaces à examiner, ceci à une vitesse de maximum 3 m.min<sup>-1</sup>.

Chaque vérification fait l'objet de l'établissement d'un procès-verbal.

#### EXPERIENCE ACQUISE AU C.E.N./S.C.K.

Les tableaux I et II donnent un aperçu des vérifications effectuées depuis 1968 avec l'appareillage décrit ci-dessus. Lors de ces contrôles des pénétrations de maximum 0,05 % furent admis.

Dans les tableaux les défauts principaux observés sont détaillés, notamment :

- défauts aux joints des filtres ;
- défauts d'encadrement ;
- by-pass ;
- serrage insuffisant ;
- placement non conforme ;
- défauts ou détérioration du filtre ;
- défaut non identifié.

Au C.E.N./S.C.K. les défauts constatés se répartissent comme suite :

- 36 % dus à des serrages insuffisants ;
- 33 % à hauteur des joints ;
- 19 % trouvent leur origine dans les filtres mêmes, il y a toutefois lieu de faire remarquer qu'un nombre appréciable de ces défauts fut décelé lors d'une première vérification de certaines installations en

1972.

Dans des installations contrôlées en dehors du C.E.N./S.C.K., 27 % du total des systèmes inspectés donnaient un résultat insuffisant lors du premier essai, comme défauts principaux, citons :

- 36 % dus à des serrages insuffisants ;
- 18 % dus à des by-pass.

L'expérience acquise lors des essais des filtres in situ nous permet de souligner les points suivants :

- lors de la conception de systèmes de filtration, le problème des essais in situ doit également être pris en considération ; le choix et l'accessibilité des points d'injection et de mesure devrait être fixé en accord avec l'organisme chargé des essais ;
- avant l'exécution des essais, une vérification de conformité avec les plans est indispensable ;
- un contrôle visuel permet dans beaucoup de cas de corriger des erreurs grossières ;
- une instruction adéquate préalable des équipes chargées de la manipulation et le placement des filtres réduit le nombre de pénétration non admissibles ;
- les installations de filtration doivent être nettoyées avant leur première mise en fonctionnement ;
- dans la mesure du possible des caissons de filtres sont à préférer aux bancs de filtres ; dans ces derniers, les fuites ne sont pas seulement plus fréquentes mais également plus difficiles à localiser ;
- lors des essais, une attention toute particulière est à donner aux dispositifs extra-filtres (by-pass, portes, ...).

## CONCLUSIONS

Les huit années d'expérience nous permettent d'affirmer que les essais in situ des systèmes de filtration à haute efficacité sont indispensables. L'efficacité du système ne dépend en effet pas uniquement de la qualité des filtres employés, mais également en grande partie de la conception du système, de sa réalisation et de son entretien.

La méthode de DOP est d'une application facile et donne des résultats immédiatement exploitables.

REFERENCES

- [1] Regulatory Guide 1.52,  
Design, testing, and maintenance criteria for atmosphere cleanup system  
air filtration and adsorption units of light-water-cooled nuclear water  
plants, June 1973
- [2] ANSI N.101.1-1972, Efficiency Testing of Air Cleaning Systems Containing  
Devices for Removal of Particles
- [3] MIL-STD-282, Filter units, protective clothing, gas mask components and  
related products : performance test methods
- [4] Raillere, R., Influence des caractéristiques d'un aérosol d'essai sur  
l'efficacité apparente d'une couche filtrante mesurée par une méthode  
optique. Thermique et Aéraulique, 03, Jan.-Mars 1971
- [5] Chang, R., Davis, E.J., Knudsen Aerosol Evaporation. Journal of  
Colloid and Interface Science, Vol. 54, No. 3, March 1976.

TABLEAU I : Résultats d'essais au C.E.N./S.C.K.

Année	Système de filtrat.	Pénétration > 0,05 %		Remise en état immédiate		Causes						
		nombre	%	nombre	%	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1968	59	15	25	11	73	3		2	3	1	2	4
1969	132	18	14	15	83	5			7		6	
1970	123	20	16	19	95	4			10		4	2
1971	110	16	15	12	75	11			2		3	
1972	171	44	26	31	70	10			12	1	11	10
1973	184	24	13	20	83	11			9		4	
1974	192	25	13	20	80	9	1		13	1	1	
1975	189	24	13	14	60	7	1		11	1	4	
1976 <sup>(8)</sup>	135	15	11	13	87	6			6	1	2	
Total	1295	201	15,5	155	77	66	2	2	73	5	37	16

(1) défaut au joint du filtre

(2) défaut de l'encadrement

(3) by-pass

(4) serrage insuffisant

(5) placement non conforme

(6) défaut ou détérioration du filtre

(7) défaut non identifié

(8) jusqu'au 1<sup>er</sup> octobre.



TABLEAU II : Résultats d'essais en dehors du C.E.N./S.C.K.

Année	Système de filtrat.	Pénétration > 0,05 %		Remise en état immédiate		Causes					
		nombre	%	nombre	%	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1972	2	1	50	1	100		1				
1973	1	1	100	1	100		1				
1974	17	7	41	4	57	1		3	2		1
1975	29	12	41	11	92		1		7	1	3
1976 <sup>(8)</sup>	45	4	88	3	75	2		1		1	
Total	94	25	27	20	80	3	3	4	9	2	4

- (1) défaut au joint du filtre
- (2) défaut de l'encadrement
- (3) by-pass
- (4) serrage insuffisant
- (5) placement non conforme
- (6) défaut ou détérioration
- (8) jusqu'au 1<sup>er</sup> octobre.

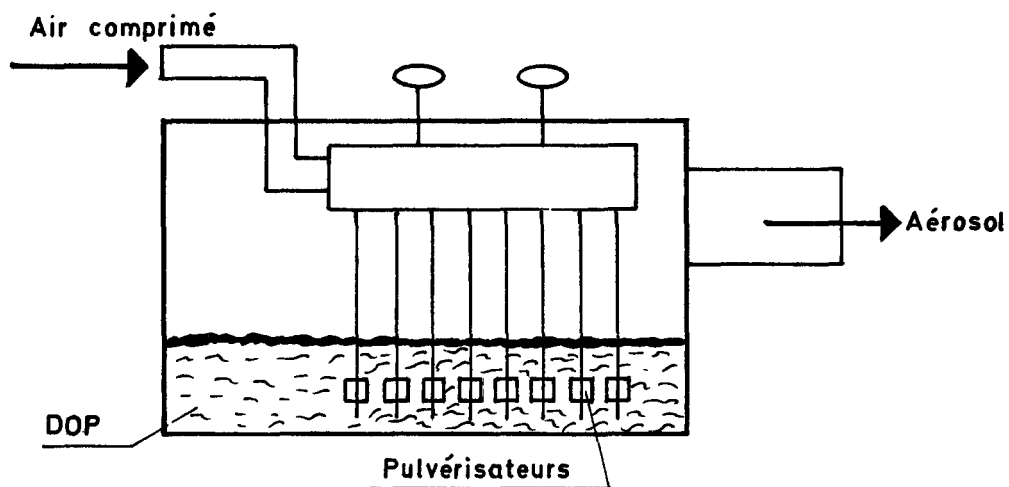


FIG.1 - TDA-4A

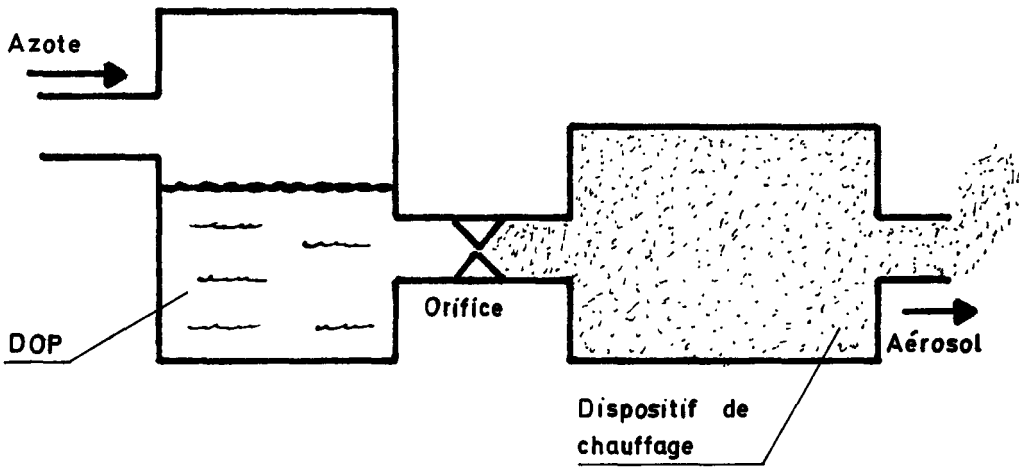


FIG.2 - TDA-5A

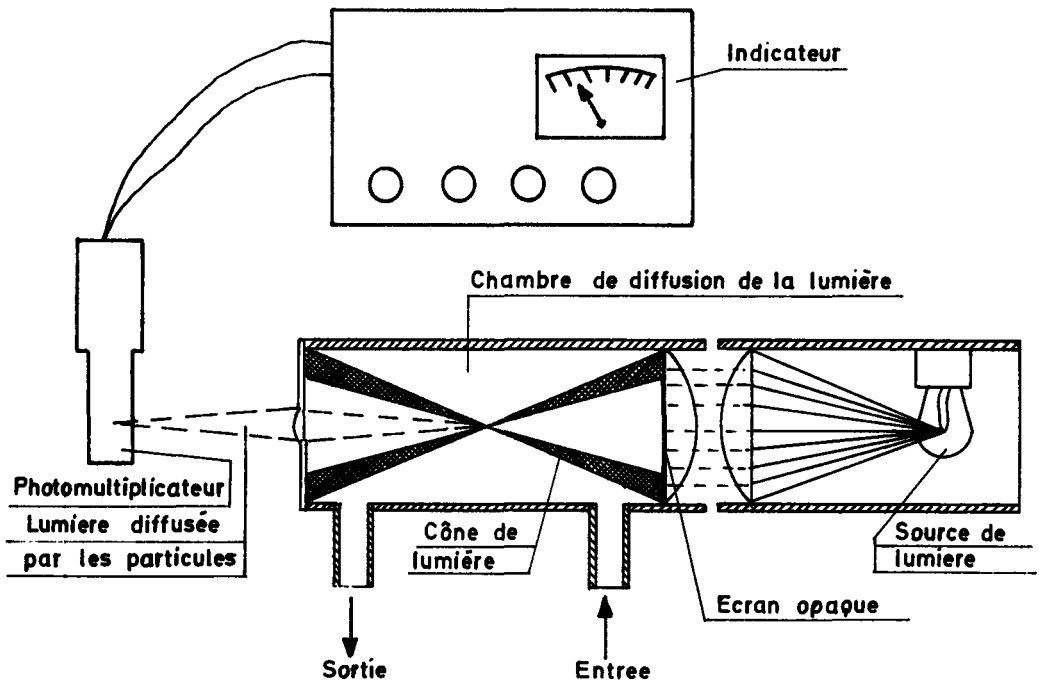


FIG.3 - Photomètre

MESURE IN SITU DE L'EFFICACITE DES INSTALLATIONS  
FILTRANTES DANS L'INDUSTRIE NUCLEAIRE  
PAR LA METHODE A L'AEROSOL  
DE FLUORESCEINE SODEE (URANINE)  
NORME AFNOR NFX 44 011

J. Dupoux et A. Briand  
Commissariat à l'Energie Atomique (C. E. A.)  
Gif-sur-Yvette - FRANCE

**RESUME.** En matière de sûreté nucléaire, il est primordial de contrôler sur le site l'efficacité de l'ensemble des éléments filtrants après leur mise en place dans les installations.

Il est en effet indispensable de vérifier que ces éléments n'ont pas subi, depuis le contrôle de leur conformité en usine ou en laboratoire, des détériorations au cours de leur transport jusqu'au site ou de leur mise en place dans l'installation.

Il faut également s'assurer que l'efficacité globale de l'installation n'est pas diminuée par suite d'une mauvaise étanchéité de montage de ces éléments filtrants.

On décrit la méthode française à l'aérosol de fluorescéine sodée (Norme AFNOR NFX 44 011) qui, du fait de sa grande sensibilité et de sa facilité de mise en oeuvre, permet de mesurer le coefficient d'épuration d'installations filtrantes à très haute efficacité et à grand débit.

On présente également des résultats obtenus en utilisant cette méthode.

**KURZFASSUNG.** IN-SITU-MESSUNGEN DER ABSCHIEDELEISTUNG VON FILTERANLAGEN IN KERntechnischen ANLAGEN MIT HILFE DES NATRIUMFLUORESCEINAT-(URANIN)-AEROSOLVERFAHRENS. NORM AFNOR NFX 44 011. Im Hinblick auf die Sicherheit in kerntechnischen Einrichtungen kommt der Kontrolle der Abscheideleistung sämtlicher Filterelemente in-situ, d. h. nach ihrem Einbau in die Anlagen, grösste Bedeutung zu.

Es muss nämlich unbedingt nachgeprüft werden, ob diese Elemente nach ihrer Eignungsprüfung beim Hersteller oder im Labor nicht während ihres Transports an den Standort oder beim Einbau in die Anlage beschädigt wurden.

Ausserdem hat man sich zu vergewissern, dass der Gesamtwirkungsgrad der Anlage nicht durch eine bei der Montage der Filterelemente hervorgerufene Undichtigkeit herabgesetzt wird.

Im Referat wird das französische Natriumfluoresceinat-Aerosolverfahren (Norm AFNOR NFX 44 011) beschrieben, mit dem sich wegen seiner grossen Empfindlichkeit und leichten Anwendbarkeit das Rückhaltevermögen von Filteranlagen mit hoher Abscheideleistung und grossem Durchsatz messen lässt.

Ausserdem werden Ergebnisse angeführt, die mit diesem Verfahren erzielt wurden.

**SUMMARY.** IN-SITU MEASUREMENT OF FILTER EFFICIENCY IN THE NUCLEAR INDUSTRY USING THE SODIUM FLUORESCEINATE (URANINE) AEROSOL METHOD. AFNOR NFX 44 011 STANDARD. Of paramount importance in the field of nuclear safeguards are the in-situ checks on the efficiency of installed filters.

It is essential to ensure that such filters have not been damaged in transit or during installation, subsequent to the factory or laboratory quality control tests.

There must also be a check to establish whether the overall efficiency of the installation is not impaired by unsatisfactory sealing in the housing. A description of the French method using sodium fluoresceinate aerosols (AFNOR NFX 44 011 Standard) is given, which, in view of its high degree

of sensitivity and convenience allows the performance of high-efficiency/  
high-throughput filter installations to be measured.  
Results obtained using this method are also presented.

## 1 - INTRODUCTION

In matters of nuclear safety, it is indispensable to make sure, on the site, that the filter elements of a purification installation, following their conformity check in the plant or laboratory, have not undergone damage during transportation to the site and installation in their final location. It is also important to confirm that the leaktightness of the assembly grouping these elements is satisfactory.

Defects of these types are reflected by 'leaks' through which unfiltered aerosol-charged air streams penetrate, reducing the efficiency of the installation.

Taking an example, consider an installation with a flow rate of  $100,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  built with filter elements with a cleaning factor of 10,000 (penetration 0.01 %). The cleaning factor will be reduced to 3,000 (penetration 0.033 %) if 'leaks' exist with a total flow rate of  $23 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

## 2 - CHOICE OF MEASUREMENT METHOD

The total leak flow rate can be measured in one of two ways. The first consists of measuring the rate of each leak at the 'source', in other words, at the filter element, and drawing up a cumulative total. In practice, the aerosol concentrations are measured just downstream of each filter element by using an instant reading instrument, generally a photometer. The number of measurement points is, as a rule, equal to the ratio of the total flow rate of the installation to the sampling rate of the detector.

The second method consists of measuring the mean aerosol concentration downstream of the overall installation after a degree of dilution of the air streams corresponding to the leaks has occurred, involving the filtered air of the installation.

If, at this point, some air streams are more highly charged with aerosols than neighboring streams, it is necessary to measure the various concentration levels distributed in the cross-section of the ventilation duct, and to calculate the mean. As in the first method, this is done by using a detector which gives an instant measurement of the aerosol concentration.

If the aerosol concentration is uniform at this point, it is sufficient to sample a certain volume of air, and to determine the sample aerosol concentration by a delayed measurement, in order to determine the mean aerosol concentration passing through the filtration installation. In this case, the efficiency of the filtration installation is measured for the tracer aerosol employed.

The sampling point on the ventilation duct is selected at a sufficient distance downstream of the filter elements, a distance which can be reduced by the presence of elbows, or preferably, at the discharge point of the exhaust fans.

The second method is generally employed initially, because results are obtained more quickly, and it can be implemented from outside the ventilation circuit, which is sometimes contaminated. If this method reveals the presence of leaks, the first method is then used to locate the different defects.

The CEA department responsible for safety investigations in the area of the inspection of purification installations for gaseous radioactive wastes, has selected a process based on the delayed measurement of a representative aerosol sampling, in order to devise a simple, sensitive method for acceptance of high-efficiency, large flow rate installations.

In effects, with an instant concentration measurement, the concentration upstream of the filters cannot be increased, whereas with a delayed measurement of a sampling, the flow rate and sampling time can be varied. The sensitivity of the method has also been improved by determining the samples with a highly sensitive fluorescence technique.

Hence for the aerosol selected, determinations can be made of a sampling weighing  $10^{-9}$  gram. It was then decided to check that after one hour of sampling, a filtration installation conveying a flow of  $100,00 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  has a cleaning factor 3,000 (penetration 0.033 %). For a sampling rate of  $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  downstream of the installation, this leads to a mass flow rate of the aerosol to be generated amounting to  $25 \cdot 10^{-3} \text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$ .



This low aerosol flow rate can be emitted in a constant manner by a simple portable generator. There is no risk of coagulation of the aerosol and clogging of the filters. The method should also be :

- reproducible, easy to use with minimum personnel, featuring simple, rugged equipment adapted to the installations and to working and safety conditions in a radioactive environment,
- capable of locating defects in the filter elements.

It was decided to employ the soda-fluorescein (uranin) aerosol method described by AFNOR Standard NFX 44.011.

The use of this method is closely associated with that of the iodine 131 method for measuring the efficiency of adsorbent elements.

### 3 - CHARACTERISTICS OF THE METHOD

Various reports / 1 , 2 / have already described this method in detail, and its main features will be reviewed briefly here, so that its application may be discussed at length.

#### 3.1 - Principle

The test aerosol is produced by spraying of an aqueous soda-fluorescein solution with a rough formula  $C_{20} H_{10} O_5 Na_2$ , also called uranin. After the elimination of large droplets by means of an inertia separator, the remaining liquid aerosol is evaporated by dilution with dry air. Aerosol samplings upstream and downstream of the test filter are collected on plane filters, from which the soda-florescein is then extracted by washing. The solutions obtained are finally titrated by measuring their fluorescence. The ratio of the amount of aerosol upstream of the test filter to the amount of aerosol downstream expresses the cleaning factor of the filter. Figure 1 shows a diagram of the test circuit, which may also be that of a filtration installation.

### 3.2 - Aerosol generation

Figure 2 illustrates an aerosol generator comprising two sections : the spray system and the separator. The spray system consists of a shell (1) containing the soda-fluorescein solution, and a spray head (2) supplied with compressed air. The liquid aerosol produced enters the separator at (6).

The two-stage separator consists of shells (9), diaphragms (10) and nozzles (11). It is designed using the principle of the Hounam centripeter. The largest droplets are collected in settling vessels (12) or stopped by the filters (13). The fine aerosol liquid exits at (15). It is then dried almost instantaneously by simple mixing with dry air. Figure 3 presents an electronmicroscope photograph of the particles obtained. The particle size distribution (Figure 4) corresponds to a standard logarithmic distribution with the following main characteristics :

- count median diameter            0.08  $\mu\text{m}$
- mass median diameter            0.15  $\mu\text{m}$
- geometric standard deviation    1.6

The aerosol is non radioactive, non toxic and non corrosive.

### 3.3 - Generator operation

In normal service conditions, the spray system is filled with a 1 % aqueous solution of soda-fluorescein, and the effective air supply pressure is 2 bars. The air flow rate is 30 liters per minute and the solution rate 40  $\text{cm}^3$  per hour. Evaporation of the droplets is achieved in less than half a second by dilution in a 1 : 6 ratio with air with less than 20 % relative humidity (compressed air of industrial networks). Hence the total flow rate is 180 liters per minute, so that a 1 to 2 liter transit tube is adequate.

The amount of fine aerosol generated is about 25 mg per hour to within  $\pm 10$  %. Self-contained operation between two solution fillings is five hours. Since the unit does not contain any moving parts, the only maintenance

involved consists of periodic washing of the spray system and separator, and periodic replacement of the filter cartridges of the separator. The spray system and separator are assembled in a small case with a total weight of about 11 kg. Figure 5 presents a photograph of this portable generator, with the cover removed.

A new generator model whose service and maintenance conditions have been further improved is available on the market. This new generator includes two cases weighing a total of 38 kg, including covers, and 25 kg with the covers removed (Figures 6 and 7).

### 3.4 - Aerosol sampling

Each aerosol sampling system includes a simple rectilinear probe with a filter holder (Figure 8), a compressed air ejector for air suction, and a gas meter for measuring the air volume sampled (Figure 9). The elbow probe with fine-edge nozzle for isokinetic sampling is not necessary, owing to the small size of the particles with negligible inertia in the test conditions. Fiberglass filter paper discs 4.7 cm in diameter are employed.

The sampling rate generally ranges from 2 to 5 m<sup>3</sup> per hour, corresponding to air velocities of 57 to 144 cm per second through the filters, and may be raised to 12 m<sup>3</sup> per hour if greater sensitivity is desired (Figure 10).

### 3.5 - Processing of samples - Measurements

The soda-fluorescein collected on the sample filters is extracted by simple dipping in 10 cm<sup>3</sup> of ammonia-water. The solution obtained is titrated by means of a liquid fluorescence measurement instrument. This is a photometer whose light source is a xenon discharge lamp. The excitation and fluorescence wavelengths (490 nm and 520 nm respectively) of soda-fluorescein are selected by means of two optical interference filters.

The minimum weight detectable on a sampling filter with low fluorescence background noise is 10<sup>-9</sup> gram (5.10<sup>-10</sup> gram in special cases). The instrument is calibrated with solutions obtained by successive dilutions of a

mother liquor containing 10 grams per liter. The efficiency of the installation can be determined on the site within 15 to 30 minutes after sampling is completed. Figure 11 is a photograph of this fluorimeter.

## 4 - FEATURES OF THE METHOD

### 4.1 - Selectivity

This method is characterized by an aerosol containing fine solid particles providing a mean voluminal diameter of  $0.15 \mu\text{m}$ , which is the dimension corresponding to the minimum filter efficiency (3). Hence, once the defects are located, it is certain that the efficiency of the filtration installation in actual service conditions is higher than the efficiency measured with this standard aerosol. This is very important from the purification reliability standpoint.

### 4.2 - Sensitivity

This is one of the main features of the method, and is discussed more fully in Chapter 2.

### 4.3 - Ease of use

The equipment required for the tests, consisting of generator, filter-holders with sampling probes, gas meters, and ejectors, is especially rugged and easily portable. Its operation is actuated by compressed air at 3 to 5 bars pressure. Sampling may also be performed in the ducts under pressure or over pressure.

Distinct sampling systems are provided upstream and downstream, and barring an operator error, there is no need to fear any pollution of the downstream sampling filter by the aerosol, which is present in a higher concentration upstream.

The fluorimeter, which is a more delicate instrument, is easy to handle and can be transported to the test site.

## 5 - CONDITIONS OF USE ON THE SITE

As filtration installations often feature iodine filters and aerosol filters, iodine 131 injection and sampling probes are employed. These are stainless steel probes which are left in place on the ventilation duct by means of Pneurop 40 European type connectors (Figures 12, 13 and 14). These connectors are fastened to the duct by means of airtight Pop rivets (Figure 15).

The air discharged by the compressed air ejectors, which can be charged with radioactive gases present in the duct and which have passed through the sampling filter paper, is carried off by means of discharge connectors attached to the duct (Figures 16 and 17). In the event that the downstream iodine 131 sampling probe is polluted by the soda-fluorescein aerosol during a previous test which revealed significant leaks in the filtration installation, it is possible to introduce a clean sampling tube into the probe (Figure 18).

As the generator is equipped with a two-stage pressure regulator, its operation is especially stable.

The effects of interruptions and variations in compressed air pressure on the operation of the air ejectors are eliminated since the sampling are performed with measurement of the sampled air volume. Hence this equipment requires minimum supervision during its operation, so that a single person is technically capable of performing the tests. In practice, at least two persons are present on the site, so that assistance is available in case of accident, and so that coordination with the operator applying the test procedure is ensured.

Experience has shown that a two-man team can measure daily the efficiency of two medium size circuits, at the rate of two tests per circuit with oral transmission of the results. It should be noted that the time required to perform a test depends essentially on local conditions such as conformity adjustment of the circuit, compressed air supply, passages in a restricted zone, health physics inspection, etc. .

## 6 - LOCATION OF DEFECTS IN FILTER ELEMENTS

The method used to locate defects in filter elements depends on the design of the filtration installation and the possibility of access to the filter elements. The soda-fluorescein method as described above generally lends itself poorly to this type of work. The technique of delayed measurement on a representative sample is therefore replaced by another technique.

We shall discuss the following two examples : 'cages' with 80 dihedron type elements with a total flow rate of  $8\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$  fitted to a large number of CEA installations ; and the filtration walls which will account for almost all filtration installation in PWR nuclear power plants in France.

### 6.1 - 80-dihedron cages

In this system one exploits the principle that, in order to replace the dihedra filters, the cages are withdrawn from the concrete cavities. The output manifold of the cage is connected to a blower providing a tenth of the nominal flow rate, and a check is made to confirm that the concentration downstream of the cage does not exceed a given level.

This is the case of checking the absence of defects before mounting the cages in the concrete cavities, and the delayed measurement method can be applied.

## 6.2 - Filter walls

These filter walls possess the following features :

- they consist of a varying number of cells. For example, each filter wall of the nuclear auxiliaries building exhaust circuit of a PWR plant includes 20 filter cells,
- these walls are housed in concrete bunkers closed by field doors. Hence access is possible to the upstream and downstream sides of these filter walls.

The following method is employed to locate defects :

- a reduced air flow is passed through the filter wall by adjusting the shutoff dampers of the bunker. This is necessary for the worker facing the downstream side of the filters, with the bunker doors closed. This is also an advantage because the penetration to leaks is increased,
- the concentrations downstream of the filter cells are measured by using an instant reading detector. For these special conditions, these types of detector are sufficiently sensitive to measure the concentrations of the soda-fluorescein aerosol.

This can be done with a portable flame photometer such as that developed at the Chemical Defence Establishment at Porton Down in England for in situ inspection of sodium chloride aerosol filters (3). The method exploits the fact that the soda-fluorescein molecule  $C_{20}H_{10}O_5Na_2$  contains two sodium atoms. Measurement by flame photometry of the weight of sodium contained in each spherical particle of the aerosol provides a determination of the weight of this particle, after previous calibration. The minimum concentration detectable by this instrument is  $10^{-6} \text{ g.m}^{-3}$  for soda-fluorescein aerosol. As an example, consider a filter wall crossed by one tenth of the nominal flow rate, or  $300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  per filter cell. An attempt is made to check that at any point downstream of the filter cells, the cleaning factor is better than 3 000 (corresponding to a

cleaning factor of 10,000 at the nominal flow rate) with the photometer featuring a sampling rate of  $1.8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  and a practical detectable limit of  $10^{-5} \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . The upstream concentration must be equal to  $1.8 \cdot 10^{-4} \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ . This is obtained by injecting the 'coarse' aerosol emitted by the generator described above without separator stages, in a flow rate of  $2 \text{ 200 m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

It is thus possible to test a filter wall comprising seven international type filter cells.

## 7 - MEASUREMENT OF BLOWER FLOW RATE

The measurement principle employed uses soda-fluorescein aerosol as a tracer. Once the mass flow rate emitted by the generator is known, it is sufficient to measure the concentration upstream of the filter to calculate the blower flow rate. As discussed above, the mass flow rate is generally known to better than  $\pm 10 \%$ .

The concentration upstream of the filtration installation is determined during the efficiency measurement, which must be taken at the operating flow rate recommended in the test procedure. It is important to know the flow rate at which the efficiency measurement is taken, since at filtration velocities in the neighborhood of  $1 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , an increase in the filtration velocity by a factor of 2 causes a proportional reduction in efficiency.

## 8 - RESULTS

The method may be qualified as operational. The amount generated and the particle size distribution are reproducible. The equipment is manufactured in France. The generator and fluorimeter are supplied with a calibration certificate. Conformity of the particle size distribution of each generator is checked experimentally by using an SM 16716 flame spectrophotometer manufactured by the German Company SARTORIUS (3).



This method was employed successfully for in situ inspection of a number of filtration installations such as the Phénix fast neutron reactor at Marcoule, the Franco-German high flux reactor at Grenoble, the EL.4 reactor at Bennialis, the Tihange nuclear power plant in Belgium and, very recently, the Fessenheim PWR nuclear power station which includes a circuit with a flow rate of  $190,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ .

## 9 - OBSERVATIONS

The different tests performed revealed the following :

- seal defects in assemblies, in the architecture of the filter walls, and especially in the by-pass valves. It may even be stated that practically all the by-pass valves inspected proved to be defective ;
- ventilation flow rates sometimes lower than the estimated flow rates ;
- gap or errors in installation design with respect to the possibility of subsequent efficiency verification. One may mention the case of installations in which the combination of air intake ducts occurs at the filters themselves. This makes it very difficult to obtain a uniform aerosol concentration through each filter surface element during the tests.

In view of the experience gained, the CEA department responsible for safety investigations in the area of the inspection of gaseous waste purification installations also performs an advisory role in the design of these installations.

## REFERENCES

- 1 - Norme française homologuées NFX 44.011 (May 1972).  
Méthode de mesure de l'efficacité des filtres au moyen d'un  
aérosol d'uranine (fluorescéine).
- 2 - PRADEL, J. and BRION J.  
Méthode d'essais des filtres à haute efficacité par aérosol d'uranine,  
thermique et aéraulique, July-September, pp. 51 to 64 (1970).
- 3 - DORMAN, R.G., DYMENT, J.  
Tests for clean room air filters.  
Proc. International Symposium on Contamination Control,  
London (1974).
- 4 - DUPOUX, J. and BRIAND, A.  
Air filter efficiency as a function of particle size and velocity.  
Water, Air and Soil Pollution, 3, 537-549 (1974).

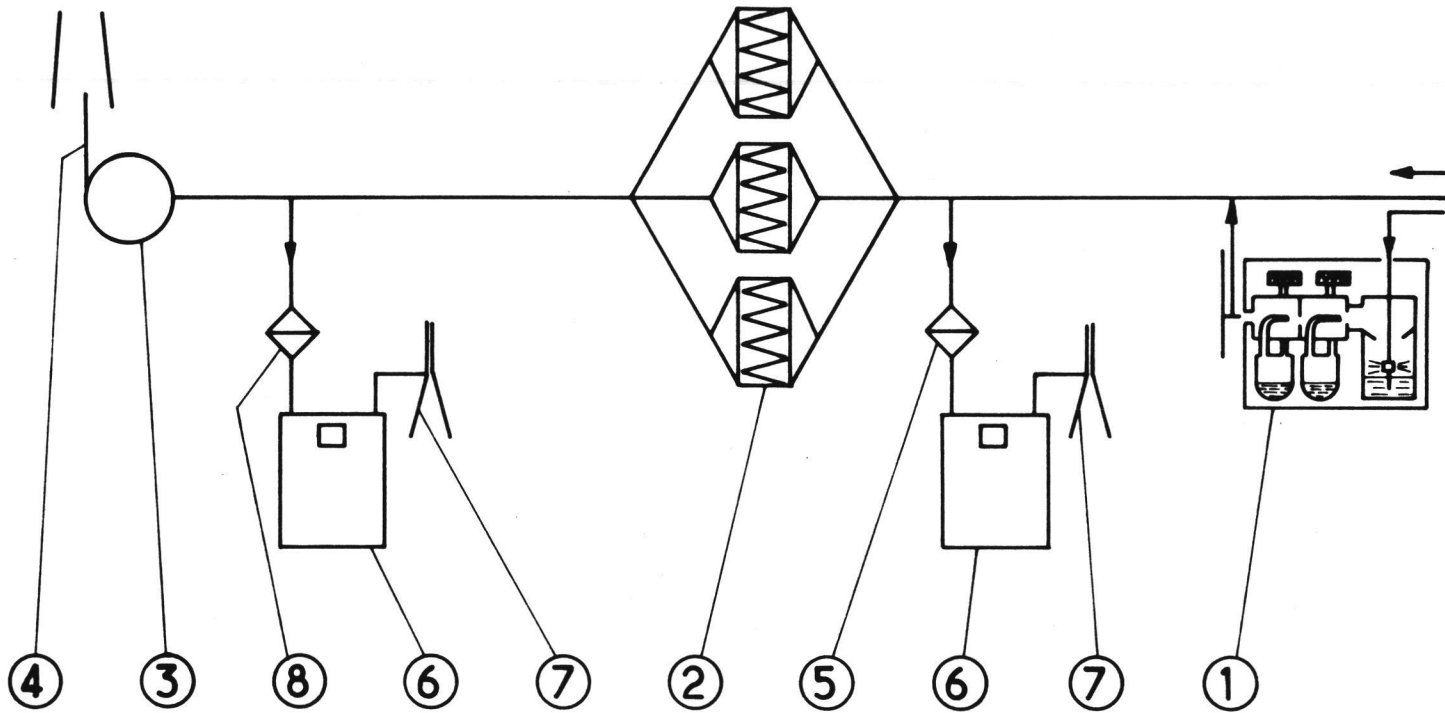


Figure 1 Schematic diagram showing efficiency measurement of a filtration installation

- |    |                         |    |                            |
|----|-------------------------|----|----------------------------|
| 1. | generator               | 5. | upstream sampling filter   |
| 2. | filtration installation | 6. | volume meter               |
| 3. | blower                  | 7. | air nozzle                 |
| 4. | discharge               | 8. | downstream sampling filter |

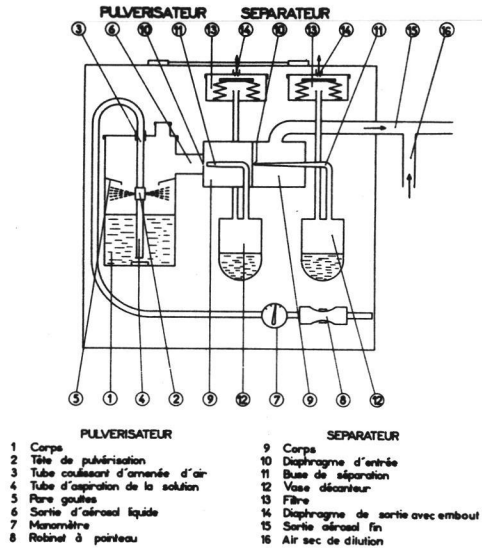
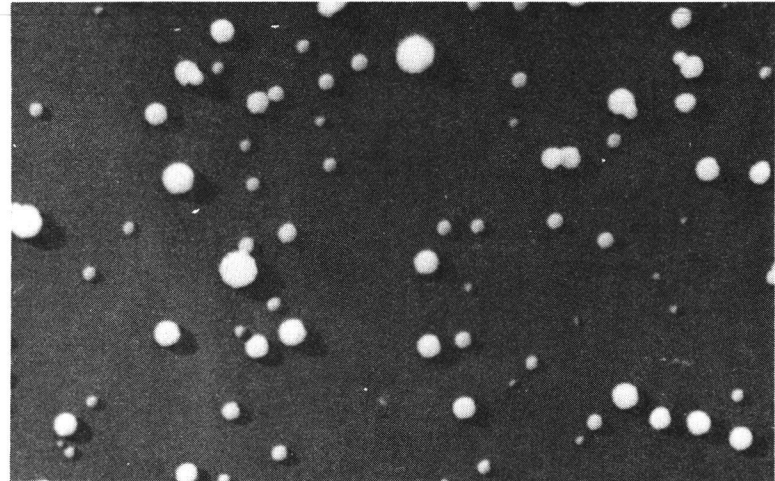


Figure 2 Diagram of soda-fluorescein (uranin) aerosol generator



1 μm

Figure 3 Soda-fluorescein particles

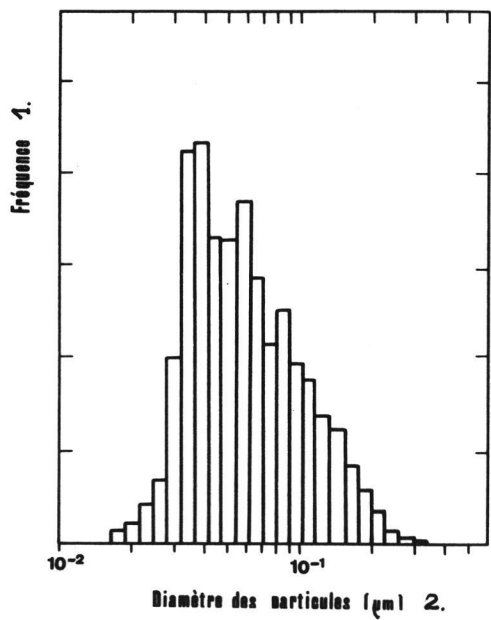
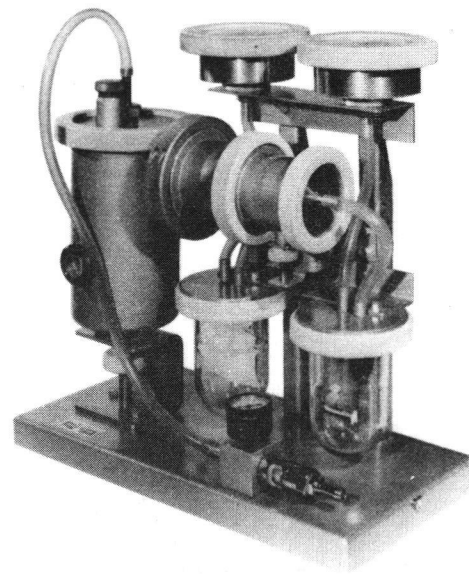


Figure 4 Particle size distribution of soda-fluorescein aerosol

- 1. frequency
- 2. particle diameter (µm)

Figure 5 Soda-fluorescein aerosol generator



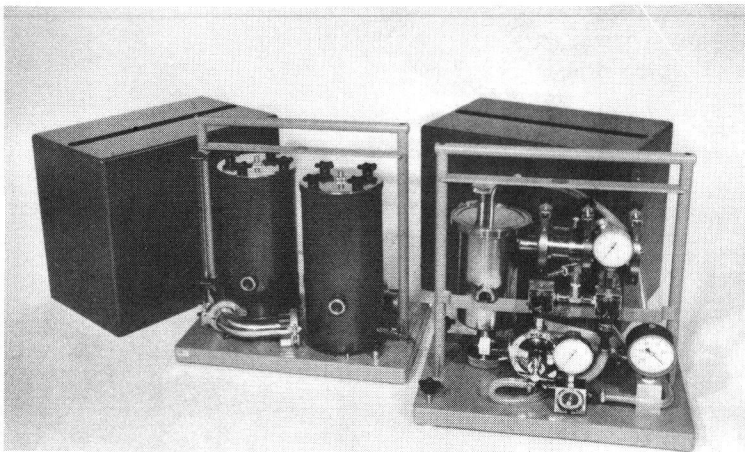


Figure 6

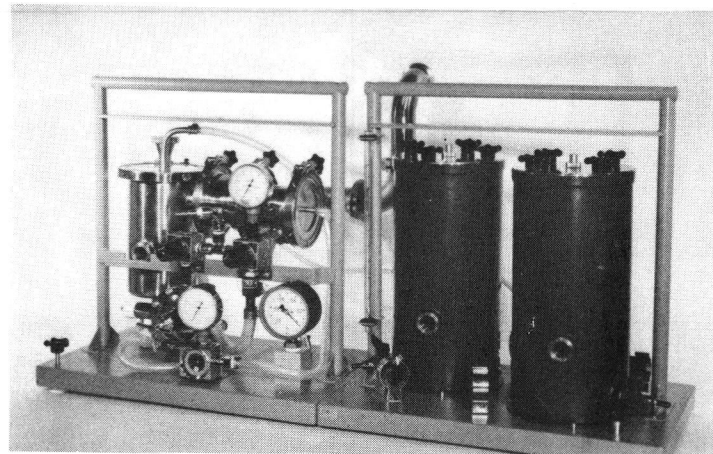


Figure 7

New model of soda-fluorescein aerosol generator

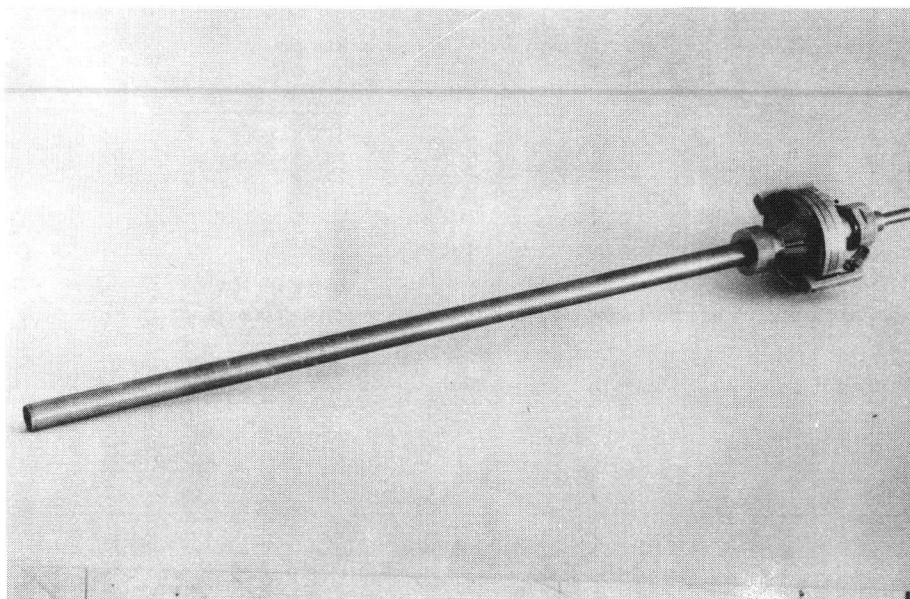


Figure 8      Sampling probe with filter-holder



Figure 9  
Gas meter and compressed air nozzle (flow rate  
up to  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )

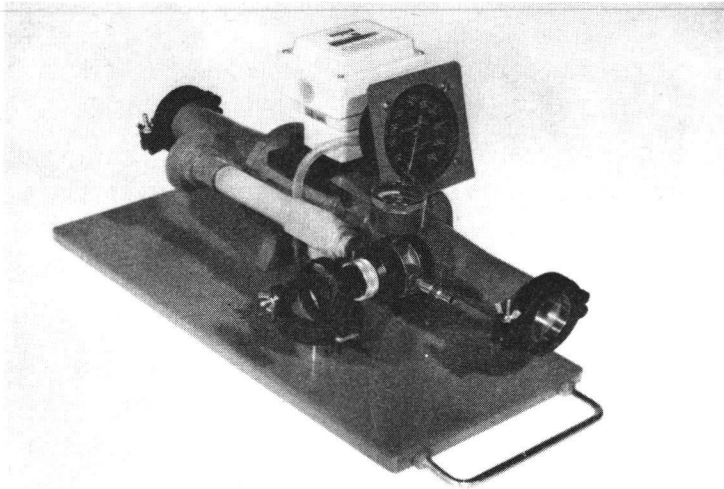


Figure 10 Gas meter and compressed air nozzle (flow rate up to  $12 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )

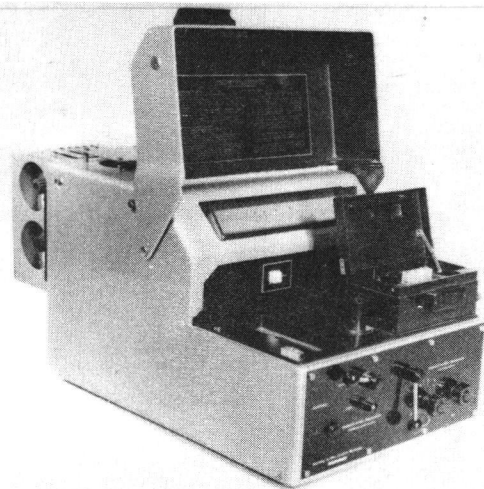


Figure 11 Fluorimeter



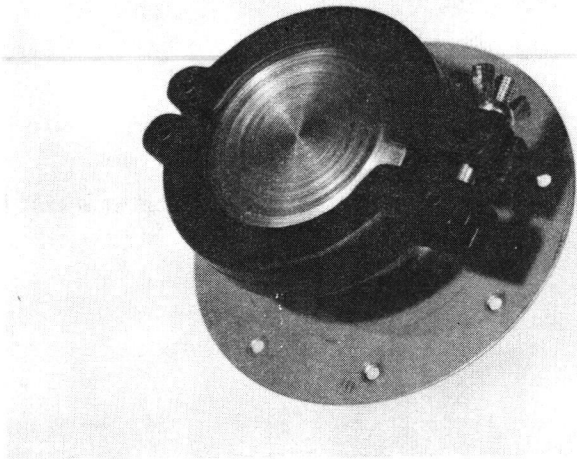


Figure 12  
Pneuop 40 connector

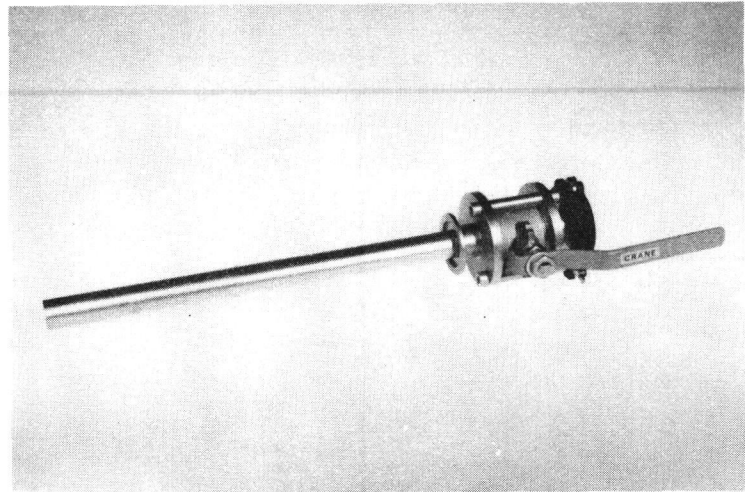
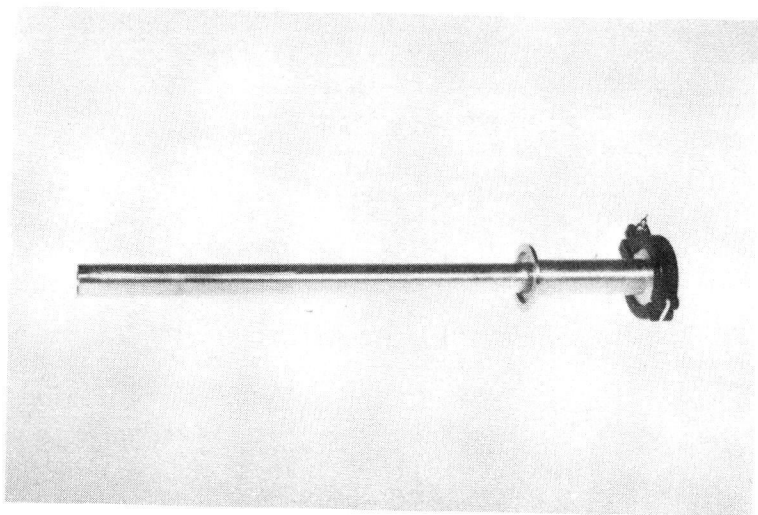
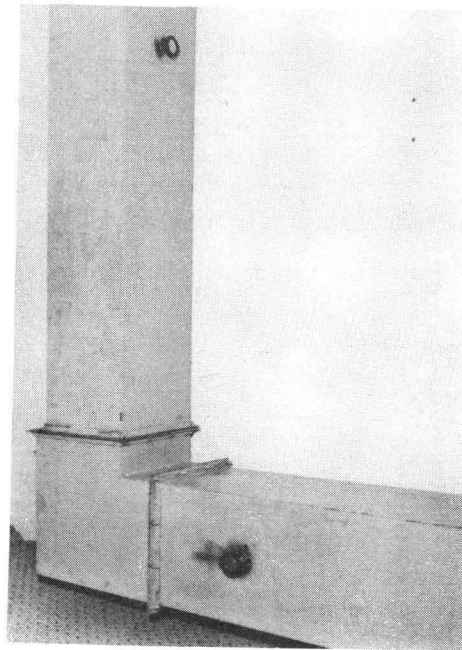


Figure 13  
Iodine 131 sampling probe with direct flow valve



**Figure 14** Iodine 131 sampling probe without valve



**Figure 15**

Pneurop 40 sampling and discharge connectors attached to a ventilation duct

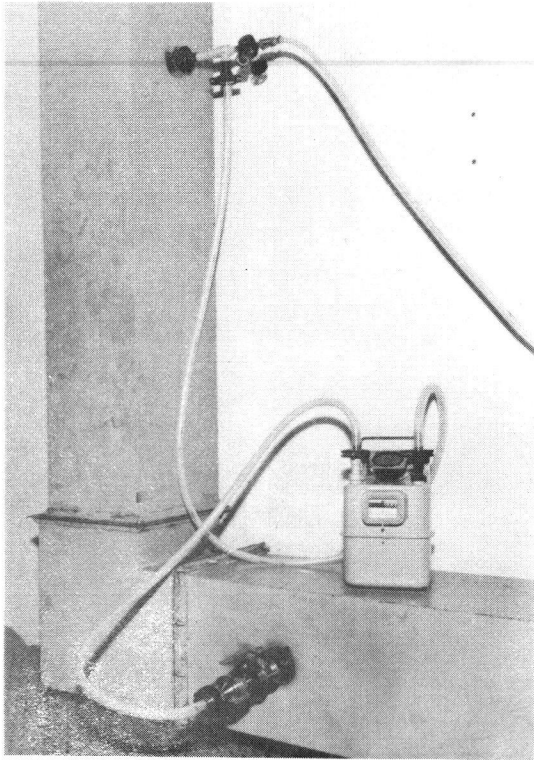


Figure 16

Upstream sampling of aerosol with air discharge through the air nozzle

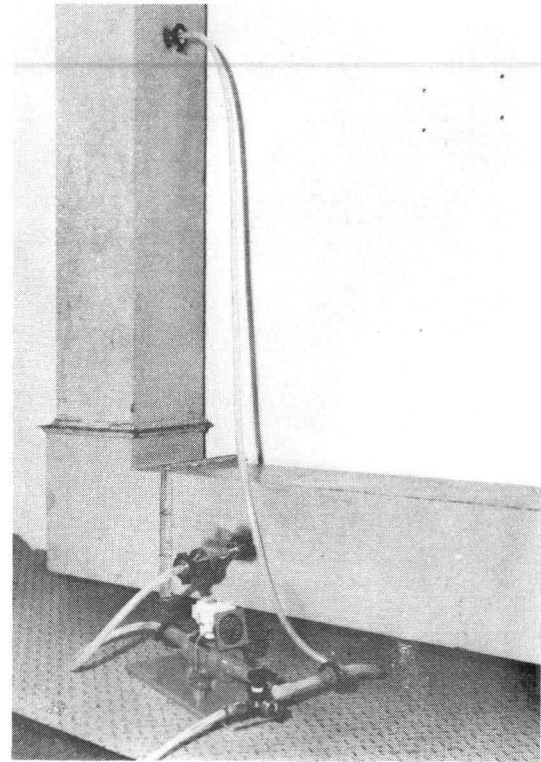


Figure 17

Downstream sampling of aerosol with air discharge through the air nozzle

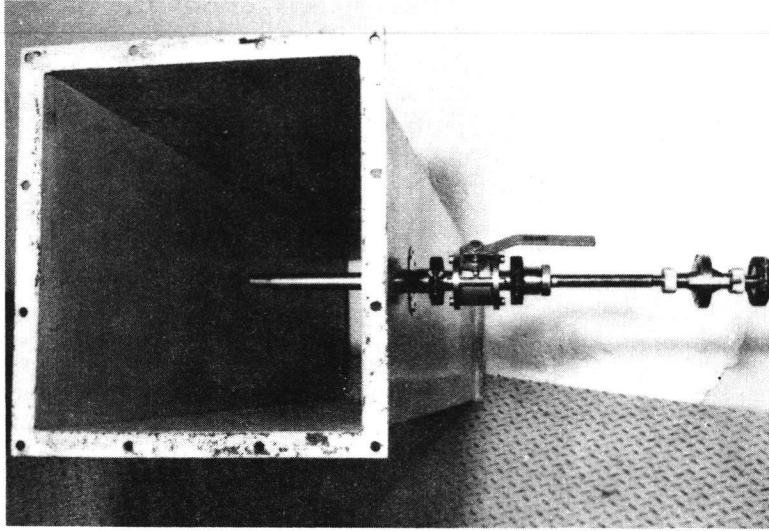


Figure 18      Sampling tube introduced into a downstream sampling probe with direct flow valve

## THE IN-SITU TESTING OF HIGH EFFICIENCY PARTICULATE FILTERS IN THE CEGB SOUTH EASTERN REGION NUCLEAR POWER STATIONS

A. W. Powell and B. A. Wilkinson

C. E. G. B. (\*)

Dartford, Kent - UNITED KINGDOM

**SUMMARY.** High efficiency air filters are installed in the CEGB's Nuclear Power Stations to prevent discharge of radioactive material to the environment should the ventilation air become contaminated. The Board has determined that these filter units should be tested in-situ to ensure that the stringent design specifications are met. This paper describes the rig work comparing the British Standard method using sodium chloride aerosol with other test methods, such as Dioctyl Phthalate, naturally occurring dust aerosols and artificially produced condensation nuclei. This work led to the development of an in-situ test method using condensation nuclei and a Pollak-Nolan nucleus counter. The advantages and disadvantages of this method over other methods for in-situ testing is discussed.

The test method has been used in the South Eastern Region for several years and considerable experience has been gained in its use on a wide variety of filter systems. The method adopted for each system is detailed including the injection, sampling and interpretation of the results obtained. Numerous faults and difficulties have been highlighted from the design, installation and filter changing aspects.

**KURZFASSUNG.** IN-SITU-PRUEFUNG VON AEROSOLFILTERN HOHER ABSCHIEDELEISTUNG IN KERNKRAFTWERKEN DES CEGB (SOUTH EASTERN REGION). Luftfilter hoher Abscheideleistung sind in den Kernkraftwerken des CEGB eingebaut, um zu verhindern, dass bei Kontamination der Abluft radioaktive Stoffe in die Umwelt ausströmen. Das CEGB hat beschlossen, diese Filtereinheiten in-situ prüfen zu lassen, um zu gewährleisten, dass die strengen Konstruktionsvorschriften tatsächlich eingehalten werden.

Das Referat beschreibt die Laboranlage und vergleicht die Anwendung des Natriumchlorid-Aerosolverfahrens (British Standard) mit anderen Prüf-aerosolen wie Dioktyl-Phthalat, natürlich vorkommende Stäube und Aerosole auf Basis erzwungener Kernkondensation. Diese Arbeit führte zur Entwicklung eines In-situ-Prüfverfahrens unter Verwendung der Kernkondensation und eines Pollak-Nolan-Kernzählers. Die Vor- und Nachteile dieses Verfahrens gegenüber anderen In-situ-Prüfverfahren werden dargelegt.

Da das Prüfverfahren in der South Eastern Region schon seit mehreren Jahren benutzt wird, konnten beträchtliche Erfahrungen bei seiner Anwendung auf zahlreiche Filtersysteme gesammelt werden. Das für jedes einzelne System gewählte Verfahren wird ausführlich beschrieben (Injektion, Probenahme und Diskussion der Ergebnisse). Zahlreiche Mängel und Schwierigkeiten, die bei der Konstruktion, dem Einbau und dem Filterwechsel auftraten, werden hervorgehoben.

**RESUME.** ESSAI IN-SITU DE FILTRES A PARTICULES DE HAUTE EFFICACITE DANS LES CENTRALES NUCLEAIRES DU CEGB (REGION SUD-EST). Les centrales nucléaires du CEGB sont pourvues de filtres à air à haute efficacité pour prévenir le relâchement de matières radioactives dans l'environnement en cas de contamination de l'air de ventilation. Le CEGB a décidé que ces filtres devraient être essayés in-situ pour s'assurer du respect des spécifications strictes de conception. Le présent rapport décrit le fonctionnement de l'appareillage en comparant la méthode de la norme britannique (BS) aux aérosols de chlorure de sodium, à d'autres méthodes d'essais, telles que celles au dioctyle phtalate

aux aérosols de poussière se dégageant naturellement et aux noyaux de condensation produits artificiellement. On a aussi abouti à la mise au point d'une méthode d'essai in-situ faisant appel à des noyaux de condensation avec un compteur de particules Pollak-Nollan. On fait le bilan des avantages et des inconvénients de cette méthode par rapport aux autres, pour les essais in-situ.

La méthode d'essai est utilisée depuis plusieurs années dans la région du Sud-Est et une considérable expérience de son emploi avec une grande variété de filtres a ainsi été acquise. La méthode ainsi adoptée pour chaque système est décrite en détail, notamment en ce qui concerne les phases d'injection, d'échantillonnage ainsi que l'interprétation des résultats obtenus. De nombreux défauts et difficultés ont été mis en lumière en ce qui concerne la conception, l'installation et le remplacement des filtres.

---

(\*) Central Electricity Generating Board

### INTRODUCTION

The high efficiency particulate filters installed in the ventilation systems of nuclear power stations require regular testing to confirm that they are functioning properly.

The CEEGB has adopted the 'Condensation Nuclei' method (1) for in-situ testing and the present paper describes the reasons for this choice and the experience gained in its application.

### IN-SITU TESTING

Although each filter element is tested and guaranteed by the manufacturer in accordance with BS 3928 - 'Sodium Flame Test' (2), they are fitted ultimately, in various configurations, into ventilation systems and it is necessary to check the adequacy of the total installation in-situ. The sodium flame test cannot, itself, be readily adopted for the large scale testing of systems and various alternative methods were surveyed (3, 4, 5 and 6). All of these methods are based on the presentation of air borne particles, i.e. an aerosol, to the filter and evaluation of the extent of penetration by sampling down-stream of the filter.

In assessing the suitability of the various methods which could be developed for in-situ testing, account was taken of the following criteria:-

- (i) the method should be reliable and simple and the associated equipment robust.
- (ii) the distribution of the aerosol presented to the system should be uniform (difficulties may arise if the length of ducting between the point of injection and the filter elements is inadequate for good mixing to be achieved).
- (iii) a relatively high concentration of the aerosol particles must be attainable up-stream of the filter if a measurable quantity is to be attained down-stream because the filters, inherently, have a high efficiency.
- (iv) the aerosol should be chemically stable, safe to handle, and easily detectable.
- (v) the aerosol should be prepared easily and reproducibly in respect of the size spectrum of the particles.

(vi) although the apparent absolute efficiency of a filter will depend upon the size of the particles presented to it this is not a critical factor if the method is to be used primarily to detect leaks rather than to measure the absolute performance of the filter elements.

As a result of the preliminary appraisal of the various methods the 'Condensation Nuclei' and 'Dioctyl Phthalate (DOP)' methods were considered to offer the best prospects for development.

COMPARATIVE RIG TESTS

To enable a correlation between the manufacturer's claimed efficiency values based on the Sodium Flame method and the condensation nuclei and DOP methods, a test rig was constructed as specified in BS 3928 (2). Preliminary work included tests using four filters of varying nominal 'penetration' values using the three procedures. In each case the tests were carried out at three different rates of air flow: 850, 1275 and  $1700\text{m}^3\text{h}^{-1}$ . Filters of 5% nominal penetration quality were included because they increased the experimental spectrum although they would not be used in nuclear installations.

Table I Comparison of Methods at Varying flow rates

Filter Unit			Measured Penetration - %								
Filter No.	Manufr.	Nominal Penetration (Less than) %	Sodium Flame			Condensation Nuclei			D.O.P.		
			$1700\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$1275\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$850\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$1700\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$1275\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$850\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$1700\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$1275\text{m}^3\text{hr}^{-1}$	$850\text{m}^3\text{hr}^{-1}$
1	A	0.05	0.028	0.033	0.044	0.020	0.023	0.026	*	*	*
2	A	0.01	0.13	0.13	0.18	0.15	0.18	0.19	0.030 <sup>+</sup>	0.025 <sup>+</sup>	0.025 <sup>+</sup>
3	A	5.0	2.00	1.5	1.4	0.11	0.11	0.11	1.9	1.7	1.5
4	B	5.0	1.4	0.90	0.90	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-
5	B	5.0	0.75	0.50	0.33	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	-

\* Below sensitivity of instrument i.e. read zero.

+ Although reading obtained significance doubtful at this end of range of sensitivity.



The results of these tests were:-

- (i) The 0.05% penetration filter (Filter 1A) gave measured values by both the sodium flame and condensation nuclei methods better than the specified value. The measured penetration in both instances decreased with increase in air flow.
- (ii) The results obtained with all three methods on the 0.01% penetration filter (Filter 2A) showed a penetration significantly exceeding the specified values. Post test examination revealed that the filter had been holed.
- (iii) The tests on the 5% filters (3A, 4B and 5B) showed that the condensation nuclei method gave very much lower measured penetration values than the sodium flame or DOP methods. The sodium flame and DOP results were consistent with the claimed quality of the filters. It was concluded that the condensation nuclei method was, therefore, unsuitable for the determination of the penetration efficiency of the filter element. The test on the 3A Filter by the condensation nuclei method gave penetration values significantly greater than those for the 4B and 5B filters and the possible reasons for this were explored further.

#### FURTHER TESTS ON 5% FILTERS USING CONDENSATION NUCLEI METHOD

The same 3A and 4B Filters used in the previous tests were employed for further trials of the condensation nuclei method.

Filter 4B was supplied with insulating gaskets on both faces and it was considered that this might, by some electrostatic effect, have led to its apparently superior performances. Repeat testing, after fitting earthing straps, failed to show any change in apparent penetration. However, removal of the down-stream gasket caused the measured penetration to increase from 0.01% to 0.025% which suggested that leakage, due to relatively loose fitting, was responsible for the difference.

This finding suggested that the condensation nuclei method might provide an effective means of detecting leakage. Various conditions were simulated, as detailed in Table 2, to investigate this aspect. Filter 1A was included for comparative purposes.

TABLE II - Condensation Nuclei Tests with Simulated Defects

Filter Designation	Condition of Filter	Measured Penetration by Condensation Nuclei Method
4B (5%) (Gasket on both faces)	As supplied	<0.010
	Foreign body inserted between gasket and sealing face.	0.013
	Loose sealing clamp	6.1
	Loose sealing clamp	5.3
3A (5%) (Gasket on only one face)	As supplied	0.11
	4mm thick wood (i.e. insulating) packing inserted between clamp and filter unit to improve tightness	<0.010
	4mm thick aluminium (i.e. conducting) packing	<0.010
	Packing removed leaving gasket with 'permanent' set and hence effectively loose	0.25
	4mm thick aluminium packing but perforated filter with holes of 1mm diameter	
	(i) 1 hole (ii) 2 holes (iii) 3 holes (iv) 4 holes	0.042 0.085 0.13 0.20
1A (0.05%)	As supplied	0.020
	2mm thick aluminium packing strip between clamp and filter unit	0.015

These results confirmed that the condensation nuclei method is capable of detecting leaks although it does not give a measure of the penetration of the filter comparable to that offered by the sodium flame method.

The failure of the condensation nuclei method to give a measure of penetration was unexpected because the size spectrum of the aerosol used (propane burnt after passage through ammonium sulphide solution) produces condensation nuclei of 0.001 - 0.100  $\mu$ m diameter, which is smaller than

that provided by the sodium flame method 0.03 - 1.5 $\mu$ m diameter. Possibly the higher diffusivity of the smaller nuclei increases the collection efficiency in this size range, where capture is controlled by diffusion rather than inertial impaction mechanisms. The size spectrum of the sodium flame aerosol embraces the range where capture by the combination of both mechanisms is least efficient (7). An important implication of the efficient capture of condensation nuclei by these filters is that any measured penetration (i.e. in excess of 0.01%) must be attributable to leakage rather than to deficiencies in the inherent efficiency of the filter element.

The high diffusivity of the condensation nuclei also aids mixing and promotes a uniform presentation of the aerosol to the filter system under test conditions.

#### THE POLLAK CONDENSATION NUCLEI COUNTER

The Pollak counter provides a convenient means of measuring the concentration of condensation nuclei.

The counter was constructed using the same basic design as that described by Metneiks and Pollak 1959 (8).

The counter consists of a 600mm long tube lined with a wet porous ceramic and sealed at each end with an electrically heated glass. The light source is so arranged so that a parallel beam of light, of diameter smaller than that of the tube, passes through the tube and falls on a selenium photocell. The photocell is connected to a 1000 ohms resistor, the voltage drop produced by the photocell current is measured by a digital voltmeter after suitable amplification i.e. 100 millivolts for zero nuclei. It was found that providing the series resistance was not greater than 1500 ohms, a linear response is obtained. Pedder 1969 (9) established that providing Pollak counters are constructed and operated closely to the original specification recalibration of individual counters is unnecessary for most applications; and Pollak's 1957 model calibration can be used.

Providing no throttling of the sample flow occurs before the outlet of the fog chamber on the counter, the loss of nuclei in the sampling lines is minimal.

The absolute value of the concentration of nuclei is not important and the output of the instrument can be adjusted to give the following response:

(a) clean air, i.e. zero nuclei - 100 mV

(NB When using with clean air the meter reading will rise above 100 on expansion of the sample and then return rapidly to 100)

(b) minimum test concentration, i.e.  $250 \times 10^3$  nuclei  $\text{cm}^{-3}$  - 6mV

In this scale a reading of less than 99.3mV indicates a level of leakage which requires attention.

#### GENERATION OF CONDENSATION NUCLEI

Consideration was given to using naturally occurring nuclei but the concentration was found to be insufficient and too variable.

Davies (5) used a coal gas flame as a source of nuclei but this is no longer readily available. Fraser (10) burned a solution of ammonium sulphide in methylated spirits to provide nuclei but there are problems in handling the mixture in sufficient quantity for large scale tests. It was found that combustion of propane which had been bubbled through a solution of ammonium sulphide in water provided a satisfactory source of nuclei in a concentration sufficient (i.e.  $250,000$  nuclei  $\text{cm}^{-3}$ ) to saturate the up-stream side of filters with throughputs exceeding  $100,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ .

The use of propane to which hydrogen sulphide gas is added before combustion, also offers a convenient means of generating the required aerosol but this method has not yet been fully evaluated.

#### PRACTICAL EXPERIENCE OF SITE TESTING

The Condensation Nuclei Method using a Pollak counter was first employed in the South Eastern Region in 1971 as a method for in-situ filter testing and since then considerable experience has been gained on a wide variety of filter systems.

The system is initially surveyed for suitable injection and sampling points. Injection of nuclei is normally carried out in one of the rooms or inlet grill to the area being ventilated by the system under test. The sampling points used are normally the installed positions down-stream of the extraction fan, although these vary from system to system.

The test procedures adopted for the various types of installation are as follows:-

(i) Canister System 'A'

In this system the filter units are mounted in individual canisters forming a parallel array between ductwork headers, each unit having its own isolating damper system. The test procedure is outlined in Diagram 1(a).

(ii) Canister System 'B'

The filter units are mounted in individual canisters forming a parallel array between ductwork headers, but no individual isolation of the units is possible. The test procedure used is as shown in Diagram 1(b).

(iii) Ladder Frame (Honeycomb) System

The individual filter units are installed side by side in an open framework array to form part of a filter plant room wall or a duct of large cross section. This is the most difficult system to test satisfactorily, unless the array is situated with a reasonable length of ducting on the discharge side to allow good mixing and detection of leakage. If they are sited at the termination of the ducting, then some form of temporary extension ducting must be provided.

Systems constructed within the ducting can be tested using the procedure outlined above for Canister system 'B' but the location of individual leaks is not possible in most cases except by visual inspection.

SITE TESTS USING A 5% PENETRATION FILTER

A series of tests was carried out to verify the rig findings with respect to the retention of condensation nuclei by 5% filter units which were known to give a high penetration value in the sodium flame test. A filter unit with a sodium flame aerosol penetration of 2.3%, (as measured on the rig), was installed in place of a unit of 0.01% penetration and the system tested using the condensation nuclei method with the following results. (The readings quoted are average of ten tests).

(a) No nuclei injected

with 6 x 0.01% penetration elements - 94.4 millivolts  
with 5 x 0.01% + 1 x 2.3% penetration elements - 94.3 millivolts

- (b) Nuclei injected to give 6.0 mV up-stream of units.
- |   |                   |
|---|-------------------|
| with 6 x 0.01% penetration elements       | - 94.3 millivolts |
| 5 x 0.01% + 1 x 2.3% penetration elements | - 94.4 millivolts |

These results confirmed that the rig findings are correct in that the condensation nuclei method is not suitable for the measurement of filter penetration.

#### POSSIBLE FAULTS WITH FILTER SYSTEMS

Experience has shown that there are a number of possible faults which can easily be avoided provided care and attention is exercised.

(1) Filter element reversed

Ambiguous instructions may be given on replaceable filter elements with the result that they may be fitted with the gasket on the wrong side and the filter medium subjected to reverse air flow. For example, the word 'TOP' printed on one edge of the element as a transport packing instruction has been interpreted as an assembly instruction resulting in incorrect fitting.

(2) Gasket leaks

This type of fault occurs mainly with high temperature elements when the glass fibre gasket is broken away from the element case during installation or pieces of the gasket from the element being changed are left on the sealing surface of the canister. If the elements are changed using the prescribed method (e.g. polythene bag method) it is difficult to clean the gasket surfaces in the canister and to replace the new element without damaging the fragile gaskets.

(3) Filter element damage

Leaks can be caused by mishandling of elements either in the stores or in transit from stores to plant. The damage takes the form of broken cases or damaged filter media. The wooden framed type are most susceptible to this type of fault. Holes in the filter media can be caused by careless handling during fitting.

(4) Elements overloaded with dust

This occurs mainly where the differential pressure gauges are in error or out of service (in some cases they are not fitted) and the maximum allowable differential is not indicated.

- (5) Filter element sagging  
If the filter element is placed in a vertical plane, as in the 'ladder frame' assembly it should be positioned with the folds vertical, otherwise sagging can occur.
- (6) Filter media/case sealing  
If the unit is fitted with the airflow direction reversed, the filter media may become detached from the casing. This condition is most likely to arise as the dust burden and hence pressure differential increases.
- (7) Framework distortion  
Distortion of the base frame assembly and pre-filter housing frame can cause leaks in a 'Ladder Frame' array.
- (8) Incorrect type of filter element fitted  
An incorrect filter element e.g. low temperature and medium humidity rated element fitted instead of a high temperature and high humidity element, may not perform properly or it may suffer premature failure.
- (9) Ducting leaks  
Leaks may occur through missing nuts and bolts in the ducting or badly fitting flange gaskets. These faults are important where the filter unit array has been installed in the room or area being ventilated since the whole filter system can then be by-passed and this design practice should be avoided if possible.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is published by kind permission of the Director-General, South Eastern Region, Central Electricity Generating Board.

REFERENCES:

- (1) Powell A W and Wilkinson B A, CEGB Research Report No 10/72.
- (2) BS 3928, 1969 'Method for Sodium Flame Test for Air Filters'.
- (3) Pradel J, et al, 'Methode Sensible de Mesure de l'efficacite des Filtres de haute efficacite au mayen d'un Aerosol d'Uranine'. Treatment of Airborne Radioactive Wastes (Proc. Symp. New York 1968) IAEA, Vienna (1968) 279.
- (4) Brealin, A J, 'A Method for Performing in-place Filter Tests using Atmospheric Radioactivity'. USAEC Health and Safety Information No. 210 (1965).
- (5) Davis R E and Clifton J J, 'A New Method for In-situ Testing High Efficiency Air Filter using Condensation Nuclei as the Test Aerosol'. Filtration and Separation Nov/Dec. 1966, p473.
- (6) Parrish E G, and Schneider R W, 'Di-octyl Phthalate Method for Insitu tests on filter installations' O.R.N.L. 3442 (1963).
- (7) Stenhouse J I T, Mechanisms of gas filtration. Process Engineering Technique Evaluation - Filtration, p.70 - 76. 1969.
- (8) Metnieks A L and Pollak L W 'Instructions for use of Photo-Electric Condensation Nucleus Counters'. Geophysical Bulletin No 16, School of Cosmic Physics. Dublin 1959.
- (9) Pedder M A, 'A Condensation Nucleus Counter with Digital Recording' Journal of Scientific Instruments (Journal of Physics E) 1969 Volume 2 Series 2.
- (10) Fraser D C, 'Testing of Filters' British Patent Specification 1387408 March 1975.



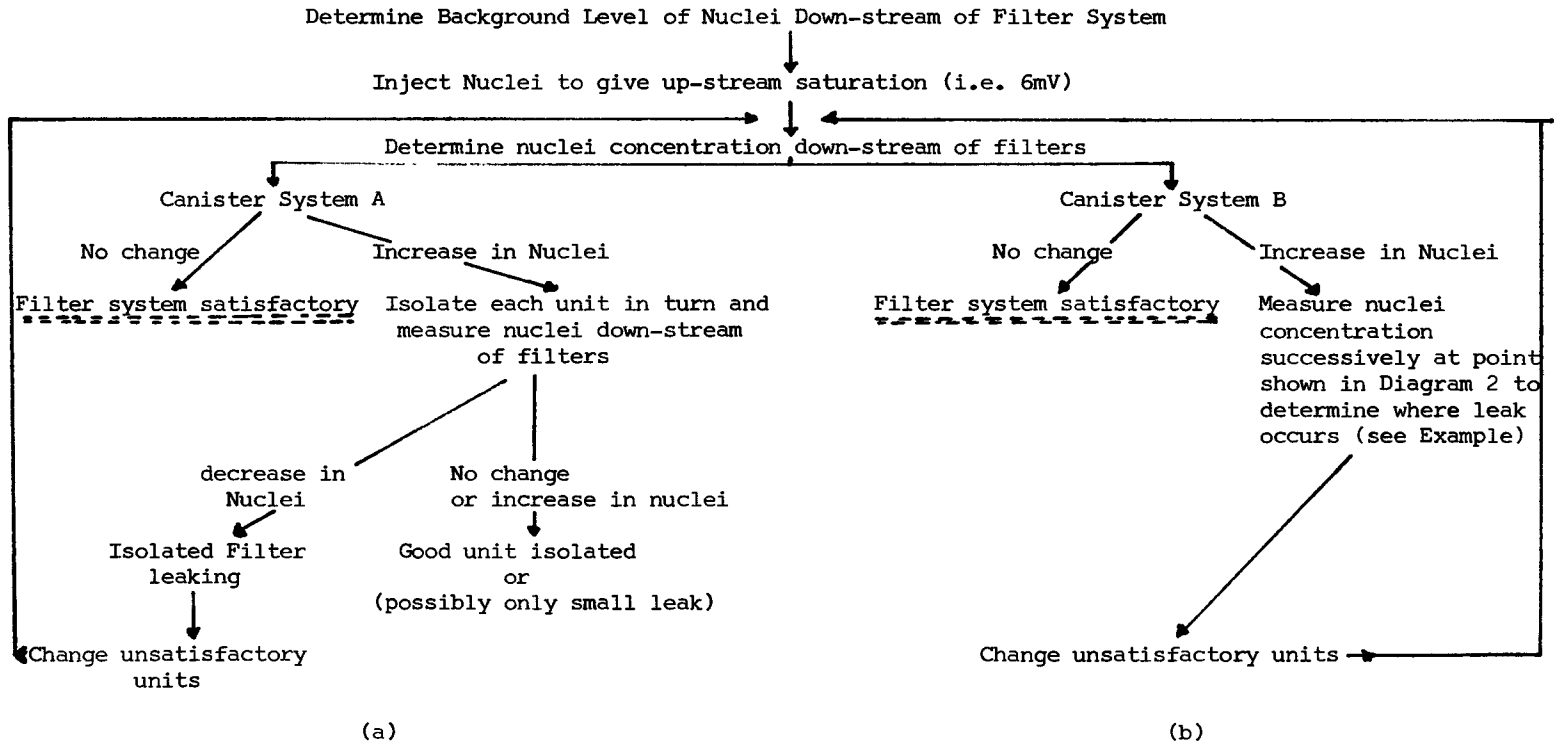
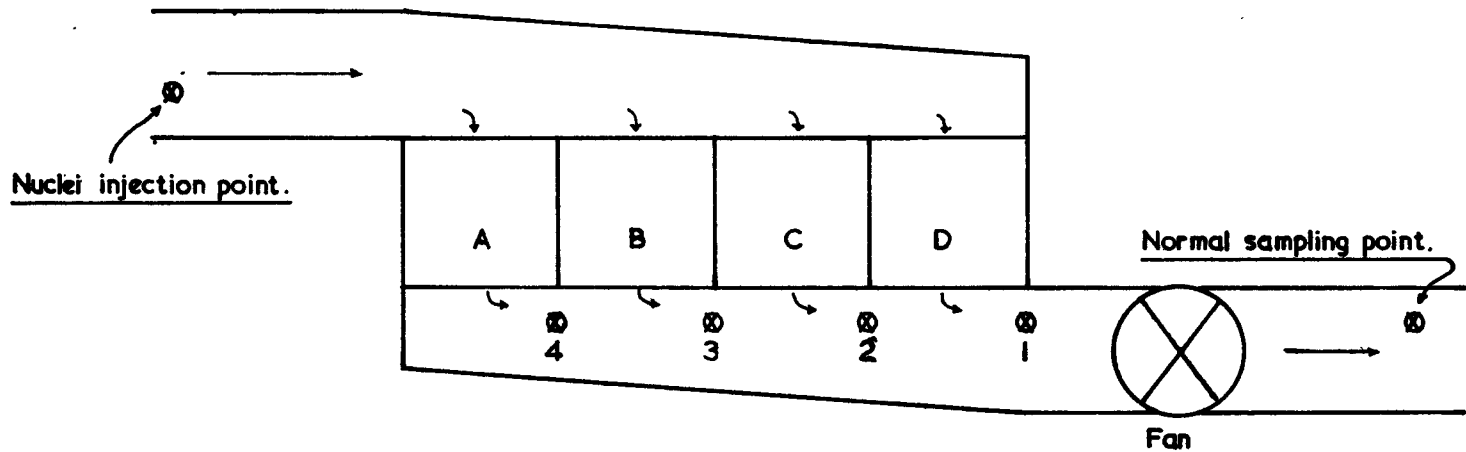


Diagram 1 - Test Procedure



**EXAMPLE:**

Decrease in nuclei to background level will indicate a sound system up-stream of sampling point.

Background	97.9	mV
After nuclei injection	83.7	"
Position 1	82.4	"
- 2	79.4	"
- 3	68.8	"
- 4	97.7	"

Indicates a leak on Filter 'B'.

**Diagram 2. Canister System 'B' Sampling Method.**

IN-SITU HIGH EFFICIENCY FILTER TESTING AT AEE WINFRITH

D. C. Fraser

U. K. A. E. A. (\*)

Winfrith - UNITED KINGDOM

**SUMMARY.** This paper discusses experience in the testing of high efficiency filters in a variety of reactor and plant installations at AEE Winfrith. There is rarely any concern about the effectiveness of the filter as supplied by any reputable manufacturer. Experience has shown there is a need to check for defects in the installation of filters which could lead to by-passing of aerosols and it is desirable to perform periodical re-tests to ensure that no subsequent deterioration occurs.

It is important to use simple, portable apparatus for such tests; methods based on the use of sodium chloride aerosols, although suitable for the testing of filters prior to installation, involve apparatus which is too bulky for in-situ testing. At Winfrith a double automatic Pollak counter has been developed and used routinely since 1970. The aerosol involved has a particle size far smaller than the size most likely to penetrate intact filters, but this is irrelevant when one is primarily interested in particles which by-pass the filter.

Comparisons with other methods of testing filters will be described. There is remarkably good agreement between the efficiency of the filter installation as measured by a Pollak counter compared with techniques involving aerosols of sodium chloride and Dioctyl Phthalate (DOP), presumably because the leakage around the filter is independent of particle size.

**KURZFASSUNG.** IN-SITU-PRUEFUNGEN VON FILTERN HOHER ABSCHIEDELEISTUNG IM AEE WINFRITH. Im Referat werden Erfahrungen behandelt, die bei Prüfungen von Filtern hoher Abscheideleistung in verschiedenen Reaktor- und sonstigen Anlagen im AEE Winfrith gewonnen wurden. Die von allgemein anerkannten Herstellern angebotenen Filter geben selten Anlass zu Beanstandungen im Hinblick auf ihre Abscheideleistung. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass eine Prüfung nötig ist hinsichtlich möglicher Schäden beim Einbau der Filter, die eine By-pass-Strömung von Aerosolteilchen bewirken könnten. Daher sollten regelmässige Nachprüfungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass es zu keinen weiteren Schäden kommt.

Wichtig ist, dass für solche Prüfungen einfache tragbare Geräte verwendet werden. Verfahren auf der Grundlage von Natriumchlorid-Aerosolen, die zwar für die Prüfung von Filtern vor ihrem Einbau geeignet sind, erfordern jedoch Apparaturen, die für In-situ-Prüfungen zu unhandlich sind. In Winfrith wurde ein doppelter automatischer Pollak-Counter entwickelt und seit 1970 regelmässig benutzt. Die Teilchengrösse des betreffenden Aerosols liegt wesentlich unter jener Partikelgrösse, die einwandfreie Filter leicht durchdringen kann. Dies ist jedoch hier unerheblich, weil in erster Linie den Filter im Nebenstrom passierende Teilchen interessieren. Ferner werden Vergleiche zu anderen Filterprüfverfahren gezogen. Bemerkenswert gut ist die Übereinstimmung der mit Pollak-Countern gemessenen Filterabscheideleistungen mit den anhand von Natriumchlorid-Aerosolen und Dioktyl-Phthalat (DOP) erzielten Werten. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die Leckagen rund um das Filter von der Teilchengrösse unabhängig sind.

**RESUME.** CONTROLE IN-SITU DE FILTRES A HAUTE EFFICACITE A AEE WINFRITH. Le présent exposé traite de l'expérience acquise en matière de contrôle des filtres à haute efficacité dans divers réacteurs et installations d'AEE Winfrith. Il est rare que l'efficacité des filtres tels qu'ils sont livrés par les fabricants sérieux pose des problèmes. L'expérience a montré la nécessité de vérifier que les filtres soient montés sans

défaut qui permette aux aérosols de les contourner et qu'il était souhaitable de s'assurer par des essais périodiques que les filtres n'ont subi aucune détérioration ultérieure.

Pour ces contrôles, il est important de se servir d'appareils portatifs simples. Bien qu'elles conviennent pour l'essai des filtres avant leur mise en place, les méthodes basées sur l'utilisation d'aérosols de chlorure de sodium nécessitent des appareils trop volumineux pour les contrôles in-situ. On a mis au point, à Winfrith, un compteur Pollak automatique double qui est régulièrement utilisé depuis 1970. La granulométrie de l'aérosol en question est bien plus fine que celle qui pourrait pénétrer dans des filtres intacts, mais cela n'importe guère lorsqu'on s'intéresse principalement aux particules qui contournent le filtre.

On compare cette méthode de contrôle à d'autres. Il existe une concordance remarquable entre l'efficacité de l'installation de filtrage telle qu'elle est mesurée par un compteur Pollak et l'efficacité déterminée par les techniques utilisant les aérosols de chlorure de sodium et le dioctyle phtalate (DOP), probablement parce que les fuites autour du filtre sont indépendantes de la dimension des particules.

---

(\*) United Kingdom Atomic Energy Authority

## 1 INTRODUCTION

The nuclear installations at AEE Winfrith include a prototype power reactor, post-irradiation examination caves, an experimental plutonium fuelled fast-breeder reactor, a plutonium fuel element fabrication laboratory and various ancillary laboratories and plants. Filters are installed in the ventilation extract systems of these buildings in order to limit the amount of airborne particulate radioactive material released to the atmosphere either in normal operations or in an accident. Filters in a particular building may be installed singly or grouped in banks and the individual filter units, or the banks, may be in series to provide better protection. The filter units employed are usually of the "absolute" type, constructed of pleated glass fibre paper and having a manufacturer's stated efficiency around 99.95%. They are usually protected on the upstream side by spark arrestors and often by additional coarse prefilters for taking out any gross dust. The filter units are changed whenever measurements indicate this is necessary, eg in-situ filter tests, or abnormal ventilation flow, or differential pressure measurements across the filter bank. In addition filters are changed when trapped radioactivity causes high radiation levels, or particulate monitors in the discharge stack show abnormal levels.

For many years replacement filters were tested before installation using a sprayed sodium chloride aerosol and sodium flame detectors in a full scale rig. This practice was finally discontinued in 1969 after nine years experience of finding very few filters outside the manufacturer's specifications, and such failures were obvious by visual inspection. Instead it was decided that all filters (except a few of little importance) should be tested in-situ on first commissioning and then at least annually. The more important installations should be tested each time a filter unit was changed. This decision was taken because early experience had been obtained using the salt-spray apparatus to test some filter installations in-situ<sup>(1)</sup>. These tests had shown that the design specification was often not achieved in practice usually due to badly installed units. However, the salt spray apparatus then employed, although conforming to the British Standard BS 3928, was much too cumbersome and inflexible for practical use. All the other methods available at that time had a number of serious disadvantages; eg the cold-sprayed di-octyl-phthalate test required large amounts of compressed air to generate an aerosol of liquid droplets and it was also feared the droplets might adversely affect filter performance or even building processes. To overcome these difficulties a method which

employed a relatively portable apparatus, the Pollak counter (Metnieks and Pollak<sup>(2)</sup>), to measure a naturally occurring aerosol of condensation nuclei, was investigated and developed at Winfrith between 1964 and 1966 by Davis and Clifton<sup>(3)</sup>. Subsequently a double automatic counter was built and this has been in routine use since 1969.

## 2 THE POLLAK COUNTER

The Pollak counter was originally developed to measure the concentration of Aitken or condensation nuclei. These nuclei come from various natural or artificial sources and are in the size range  $10^{-1}$  to  $10^{-3}$   $\mu\text{m}$ . They form the core on which condensing vapour can deposit to form clouds or fogs. By using them to form fog in a defined volume of air their presence can be more readily detected. Fog is formed in the Pollak counter by saturating a sample of air with water vapour, increasing the pressure using clean air and releasing it suddenly to cause supersaturation. The density of the fog formed is measured by the extinction of a beam of light falling on a photo-cell. Using a digital voltmeter the percentage of residual light can be measured directly. For a specified design of fog tube and expansion ratio Metnieks and Pollak have computed a set of calibration tables which relate nucleus concentration to percentage of residual light over the range 0 to about 260,000 nuclei per cc.

Davis and Clifton showed that the Pollak counter could be used to measure the penetration of condensation nuclei through installed high efficiency filters. The method has also been used by other workers, eg Silverman and McGreevy<sup>(4)</sup>, and Cagnetti and Rossi<sup>(5)</sup>. In order to achieve results over the wide range of filter penetration values down to about 0.01% it is often necessary to augment the ambient concentration of condensation nuclei. Many sources can be employed ranging from electrically heated wires to burning a variety of gases. The author developed a very simple method using a spirit lamp to burn industrial methyl alcohol to which has been added a few percent (typically 3%) by volume of ammonium sulphide solution. The composition of the aerosol produced has not been determined but photo micrographs of the particles show that they are within the size range of Aitken nuclei with an upper limit of about 0.1  $\mu\text{m}$ ; Stevens<sup>(6)</sup>.

During the development of the Pollak counter method comparisons were made with the salt-spray apparatus using a full scale test rig. At first the Pollak counter appeared to give filter "penetration" results, over a range of penetrations up to 0.2%, which were too high by a factor of about 1.6. After further tests however, Davis and Clifton concluded that the

calibration of the Pollak counter which appeared in the tables of Metnieks and Pollak was in error for residual light values between 80% and 100%; this error reached a maximum factor of 2 at 90% residual light. Taking this calibration error into account agreement with the salt spray method was almost perfect, (Davis and Clifton<sup>3</sup>).

This is a surprising result, since one technique (the Pollak counter method) employs aerosol particles which are orders of magnitude smaller than those used in the sodium flame method and one would not expect the two aerosols to penetrate filters to the same extent. The most likely explanation is that the aerosol particles are not "penetrating" the filters in the manner discussed in textbooks on filter penetration, but are either passing through relatively large defects in the filter itself or, more probably, by-passing the filter altogether because of inadequate sealing techniques in the installation. This explanation for the physical nature of aerosol penetration through filters was advanced by R. J. Davis et al<sup>(7)</sup> and the more recent work of H. J. Ettinger et al<sup>(8)</sup> has tended to confirm it.

Subsequent experience has strongly reinforced the conclusion that the primary purpose of filter testing is to check that the filter has been installed properly and is not being by-passed, rather than to assess whether the filter itself is as effective as the manufacturer originally claimed, (see below).

Following comparative in-situ tests with the Pollak counter and the salt spray apparatus on a number of installed filters (see Section 3), it was decided to construct an automatic Pollak counter for routine use. This consists of two standard Pollak tubes mounted vertically on a trolley (Fig 1), which also carries the voltage stabilising unit for the light sources. The air pump for sampling and pressurising the tubes and filters to give clean air for overpressure are also mounted on the trolley. The light source controls consist of two precision rheostats on the trolley top together with a digital voltmeter for measuring photo-cell output. Cyclic control of the valve sequences is accomplished by a timer driving cams which operate solenoid valves. The air sampling flow rate and overpressure are also monitored and can be adjusted as necessary. A sample of air from upstream of the filter under test is taken to one Pollak tube and the downstream sample is taken to the other. A measurement of the concentration of condensation nuclei is obtained at 60 second intervals on alternate samples. Both tubes give the same result when sampling a test aerosol. This can be checked quite easily either by sampling the

ambient level of condensation nuclei or by sampling air which has been passed through the filters on the trolley.

### 3 COMPARATIVE TESTS

If the explanation for the mechanism of filter penetration advanced in Section 2 is correct then the use of any of the various National Standard test aerosols should give essentially the same penetration result. There might be some minor variations depending on whether the testing method measures number of particles or is a function of area or mass of the penetrating particles. In practice no filter testing method is expected to be perfect and a compromise must be sought. It is important however that the nature of the test should be understood and that is to check that the filters have been installed properly and to demonstrate compliance with a filter installation standard (which may vary from one plant to another). It is essential that this test is quickly and easily performed in sometimes difficult circumstances, therefore the apparatus must be simple and portable. The Pollak counter is a step in this direction. But at the same time it is desirable to know how the chosen method compares with other standard methods.

Comparisons have been made between the Pollak counter and two other standard methods using installed filtration systems at Winfrith. In one series of measurements on different types of installed filters the salt-spray/sodium flame test apparatus was used. The results, which were reported by Davis and Clifton in 1966, are given in Table I. It will be seen that the largest discrepancy occurred when very small penetrations were being measured, ie less than 0.01%. On average the Pollak counter gave filter penetration values about 40% higher than the salt-spray method. The di-octyl-phthalate (DOP) in-situ test equipment was used in a second series of tests in collaboration with D. C. Stevens of AERE Harwell. This apparatus consists of a TDA - 4A nebuliser which uses compressed air to generate an aerosol of about 1  $\mu$ m MMAD and a TDA - 2C scattered light detector, both manufactured by Air Techniques Inc., USA. An extract ventilation plant was employed incorporating a single filter having a nominal efficiency of 99.99% at a flow of about 500 cubic feet per minute (14,000 l/min). Tests were performed both with and without simulated leaks on three different occasions by pumping a known volume of the ventilation air to by-pass the filter. Although the flow through the filter was known and therefore also the absolute value of the leak, no absolute agreement with the in-situ test results was expected since an unknown fraction of each test aerosol was lost in the pump and flowmeter



used in the by-pass. However the value indicated by the DOP and the Pollak tests was proportional to the amount of by-passed air in each test and the ratio of the Pollak and DOP results remained relatively constant (Table II) with the Pollak counter on average giving a penetration 90% higher than the DOP test. The largest differences again occurred with very small measured penetrations.

In general therefore the Pollak counter agreed remarkably well with the salt-spray test and with the DOP test, especially if the probable error in the original calibration is taken into account. This of course is what could be expected if leakage is independent of particle size.

Much work remains to be done in this field, for example in development of truly portable test equipment and in comparative tests on filters with different types of damage or faults and especially in the confirmation of leaks in multiple series filters or in systems containing prefilters.

In these cases however a much more sensitive test than is possible with the Pollak counter is required since it may be necessary to demonstrate penetration well below 0.01%, which is the practical limit with this method. Nevertheless, for most in-situ testing work this limit is perfectly adequate.

#### 4 EXPERIENCE OF ROUTINE TESTING

Using the double automatic counter described, routine in-situ tests of all the important filter systems at AEE Winfrith have been performed at least annually since 1969 (ie between 70 and 100 tests each year). Much practical experience has been accumulated in this time on various aspects of filter testing. Most of this is in situations where no design provision had been made for such tests, consequently suitable test and aerosol injection points had to be made to suit each individual case. Sometimes it may be almost impossible to devise a reasonably effective test without rebuilding the plant. Dymont and Edwards<sup>(9)</sup> have described some of these difficulties, there are many others. In one building for instance copper tubing had been cast into the concrete duct walls for air sampling purposes. Although reasonable results were obtained using these sampling lines the exact sampling positions in the duct were not known and neither were the lengths of the tubes. These latter requirements are important since high deposition can occur in sampling lines especially if narrow bore tubing is used. It is better practice to use identical lengths of sampling line preferably of wide bore, without any restrictions. Some types of tubing, especially rubber tubing, have been found to emit condensation nuclei. In practice 15 metre lengths of 0.7 to 1.0 cm bore

PVC tubing are used, although occasionally lengths up to 30 metres have been used. At a length of 30 metres the original concentration of condensation nuclei is reduced by a factor of about 4. The natural concentration of condensation nuclei occurs with a frequency distribution which is approximately log-normal, Hayes<sup>(10)</sup>, and the concentration does not vary much on a short time scale. But inside laboratories and other buildings there are very large variations which depend on the processes and work in the area, eg use of motor vehicles. Sometimes the test team must wait for steady conditions to occur. When a steady state is reached two or three readings upstream and downstream are quite sufficient to achieve a reasonably accurate result. This may take about 5 or 10 minutes. However, it is often necessary, particularly with less modern installations where large inleakages in the duct work can occur, to repeat the series of readings using a much higher concentration of nuclei on the upstream side of the filter. Until this has been done one cannot be sure that there are no leakages, any result therefore which is based on penetration at only one concentration is at best only an observation of the upper limit of filter penetration (see appendix 1).

The filter installations which are required to be tested annually are listed in an agreed schedule and those which must be tested subsequent to any filter change are identified. The filter testing service is notified whenever one of these filters is changed. Usually a test can be performed within a week or two of notification. Having done a test and obtained a result one must then decide whether the penetration value arrived at is adequate, or if remedial work is necessary.

Each of the filtration systems at Winfrith has been assigned a penetration limit (percentage). These values are arrived at after analysis of the possible emissions of radioactive material in each laboratory or process plant, etc. The permissible release to the environment both during normal operation and in accident or abnormal conditions is then assessed. The accident assessment is based on Emergency Reference Levels (EKLs) for possibly exposed persons (who may be either employees at the plant or members of the general public living beyond the boundaries of the establishment), assuming weather conditions which give the most restrictive result. The value for permissible release divided by the possible emission for each filtration system gives a value for the filter penetration limits (see Fig. 4). By employing this method of calculation it was evident in many cases that the filtration system was capable of giving a much lower penetration than was found necessary.

Difficulties arose where filtration systems were designed with filter banks in series. In some cases where the filter banks are separated by long lengths of duct it has been possible to assign penetration limits to each bank independently and to test each bank separately. In these cases it is usually assumed that the overall penetration limit is the product of the penetration limit in each stage. In a few plants however it must be assumed that the first stage filters may be destroyed. The overall limit is then the same as the second stage limit.

It has not so far been found possible to measure the effectiveness of the filter units which are installed inside or just outside glove boxes and for the purposes of release assessment the effectiveness of these filters are ignored. These primary filters are valuable and should be designed in a way which facilitates installation and testing. In fact, any stage of filtration, ie primary, secondary or subsequent, should be capable of independent assessment and testing.

In our experience it is infrequent to find filter installations which do not satisfy the agreed penetration limits. Out of the 100 or so installations tested each year only two or three are found to be above the limit. In such cases the responsible engineers examine the installation and remedy the situation. It may be found necessary to change the filter units, but often attention to the gasket seal only is required and further tightening of the filter clamps is all that is necessary. A retest is always carried out. The chief reason for high penetrations is leaky gasket seals but in a few cases we have found the filter medium damaged (in two recent cases the glass fibre paper was disintegrated, caused, it is believed, by a large quantity of condensed water vapour).

If the filter installation exhibits a penetration which is above that specified by the manufacturers but is still below our agreed limits no immediate action is taken. The unit is normally retested according to the schedule. We have several examples of filters which leak very slightly and which have been installed for several years. They give the same penetration on each annual retest; again this may suggest a minor installation fault rather than filter deterioration.

Many of the difficulties which have appeared since the commencement of routine testing, in calculating the "penetration" limits to be assigned as well as in the actual measurements, could have been averted had the plant designers been aware of these requirements. It is particularly important that in future the designers of ventilation plant should take account of the necessity for testing and make proper provision for convenient aerosol

injection and sampling points. The limits to be assigned to the various stages of the system can also be decided at this time taking into consideration the view of the radiological protection authorities.

## 5 CONCLUSIONS

- 5.1 Experience has shown that there is no need to check the efficiency of filters supplied by a reputable manufacturer. Visual inspection is adequate.
- 5.2 However, it is very important to carry out in-situ tests of the filter installation, chiefly to check that the filter has been properly fitted and that it is not being by-passed.
- 5.3 It is necessary to retest filter installations whenever filters are changed and to check them at regular intervals to detect deterioration or by-passing.
- 5.4 The frequency of testing should be based on experience of in-service life and may differ from plant to plant.
- 5.5 The test method chosen must be sufficiently sensitive, portable and adaptable. The results must be reproducible and should preferably bear comparison with other generally used test methods. The Pollak counter method employed at AEE Winfrith has proved adequate in all these respects.
- 5.6 Filtration plants now in use present individual problems which must be solved by an experienced test team in order to achieve reliable results. In future the designer of high efficiency filtration plants must take account of the requirements for in-situ testing. In particular the design should:
  - (a) provide aerosol injection points well upstream of the filters to be tested
  - (b) provide representative sampling points
  - (c) provide facilities for picking out leaky filters in parallel systems
  - (d) ensure that filter banks in series are capable of separate assessment.
- 5.7 A penetration limit for each filter system under test must be agreed taking into account:
  - (a) the filter manufacturer's specified performance
  - (b) maximum permissible release from the ventilation plant
  - (c) the nature and quantity of material which may be presented to the filtration system.

6 REFERENCES

- (1) HARPER, P., and WHITE, W.R. Some notes on filter testing undertaken at AEE Winfrith. AEEW - M 519, 1965.
- (2) METNIEKS, A.L., and POLLAK, L.W. Instruction for use of photo-electric condensation nucleus counters. Geophysical Bulletin No 16, Dublin Institute of Advanced Studies, 1959.
- (3) DAVIS, R.E., and CLIFTON, J.J. A new method for in-situ testing high efficiency air filters using condensation nuclei as the test aerosol, Filtration and Separation, Nov/Dec, 1966.
- (4) SILVERMAN, L., and MCGREEVY, G. Application of the Pollak-Nolan nucleus counter to the routine testing of air filters. Atmospheric Environment. Vol 1 pp 1-10, 1967.
- (5) CAGNETTI, P., and ROSSI, M. Sulla realizzazione di un sistema di due contatori di Pollak abbinati ed automatizzati per la misura dell'efficienza di filtri «assoluti» Gion. Fis. San. Radioprot., Vol 16 pp 88-100, 1972.
- (6) STEVENS, D.C. (AERE Harwell). Private communication.
- (7) DAVIS, R.J. et al, Removal of radioactive aerosols on high efficiency fibrous filter media, ORNL - 4524, 1970.
- (8) ETTINGER, H.J., et al. Performance of multiple HEPA filters against plutonium aerosols, Progress Report July 1 through December 31, 1973. LA-5544-PR.
- (9) DYMENT, J., and EDWARDS, J. The on-site testing of air filter installations, Filtration and Separation, July/August, 1976.
- (10) HAYES, E.I. The frequency distribution of atmospheric condensation nucleus concentrations. Proc. R.I.A., Vol 70, Section A, 1970.

Appendix 1

In older filtration systems particularly, it is common to find faults in the duct work which give rise to inleakages. These inleakages could lead to difficulties in the assessment of filter penetration. Two such problems are illustrated in Figs 2 and 3.

In Fig 2 a filter is installed in a duct drawing dirty air from a contained area. There is a small leak L which is letting in clean air (containing condensation nuclei) through, for example, a damper downstream of the filter. The filter has a penetration P. In order to eliminate the effect of the leak L, the penetration test must be run at two different aerosol concentrations in order to obtain two equations, which can then be subtracted to obtain the filter penetration P.

In Fig 3 the filter and duct is installed within a contained area. One test will suffice here, but the test aerosol must be generated so that the damper leak is detected, as well as the penetration of the filter, since both leaks contribute to the true penetration of the installation. If an aerosol is injected into the duct upstream of the filter, any leak downstream of the filter will not be detected. The downstream sampling point must also be carefully positioned in order to detect any leaks in the critical part of the installation which is within the containment.

TABLE I  
(from Davis and Clifton<sup>(3)</sup>)

Comparison of Filter Penetration, Pollak Counter v Salt-Spray

Filter	Pollak Counter % Penetration	Salt-Spray % Penetration	Ratio $\frac{\text{Pollak Counter}}{\text{Salt-Spray}}$
1 x 1000 cfm (a) (b)	.001 .007	.002 .002	0.5 3.5
26 x 1000 cfm	.035	.029	1.2
12 x 1000 cfm	.093	.054	1.7
4 x 1000 cfm (a) at 2000 cfm (b) at 4000 cfm after repair of gasket leak (a) at 2000 cfm (b) at 4000 cfm	.21 .15  .018 .054	.35 .14  .017 .037	0.6 1.1  1.1 1.5

TABLE II

Comparison of Filter Penetration

Pollak Counter v Di-octyl-phthalate

(Filter 1 x 500 cfm. Nominal Penetration 0.01%)

By-Pass % Flow	Pollak Counter % Penetration	DOP % Penetration	Ratio $\frac{\text{Pollak Counter}}{\text{DOP}}$
NIL (nom 0.01)	.01	.005	2.0
0.4	.06	.03	2.0
0.8	.12	.06	2.0
NIL (nom 0.01)	.003	.006	0.5
0.4	.14	.06	2.3
0.8	.27	.17	1.6
NIL (nom 0.01)	.014	.004	3.5
0.37	.15	.075	2.0
0.75	.23	.18	1.3



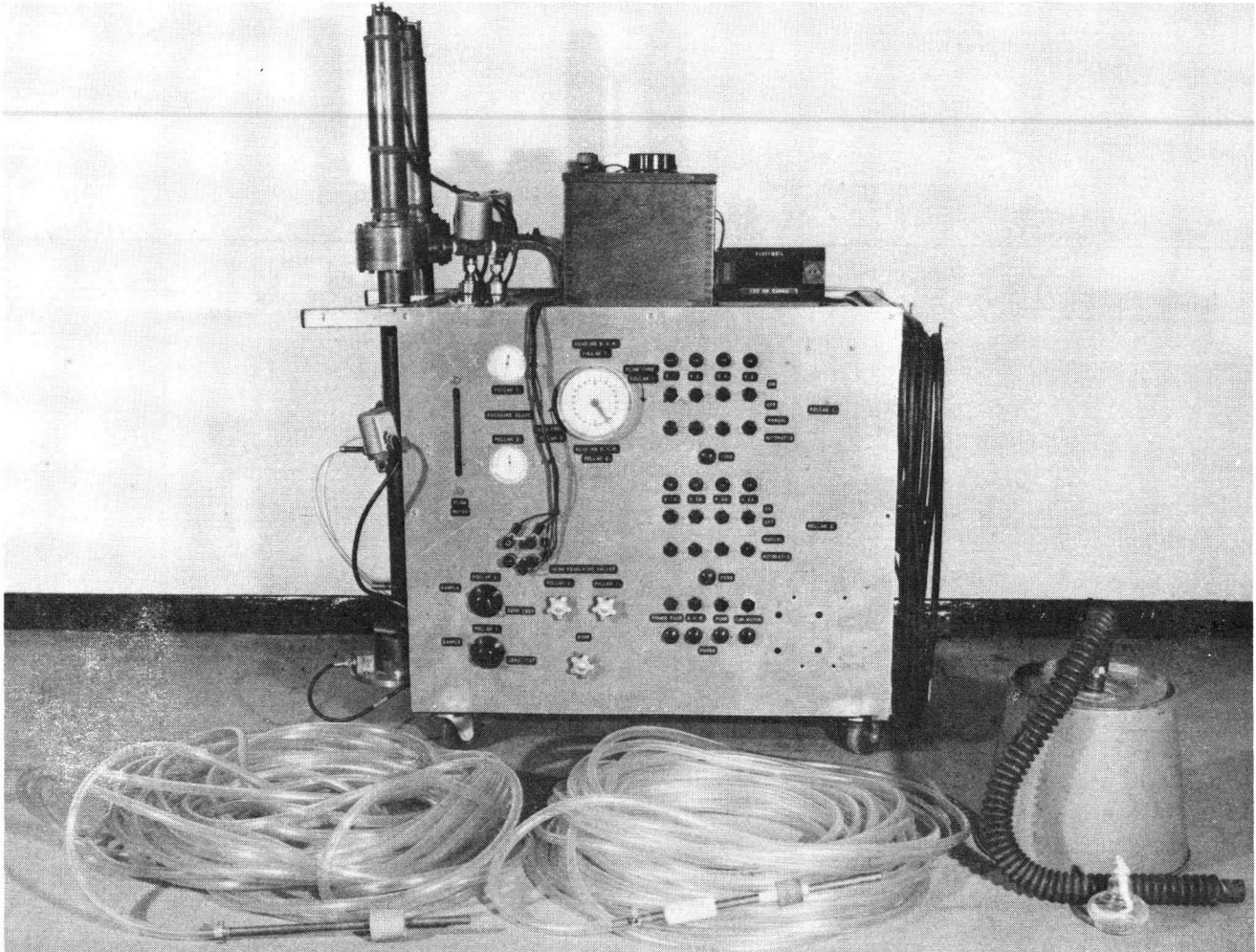


FIG. 1 DOUBLE AUTOMATIC POLLAK COUNTER AND ASSOCIATED EQUIPMENT

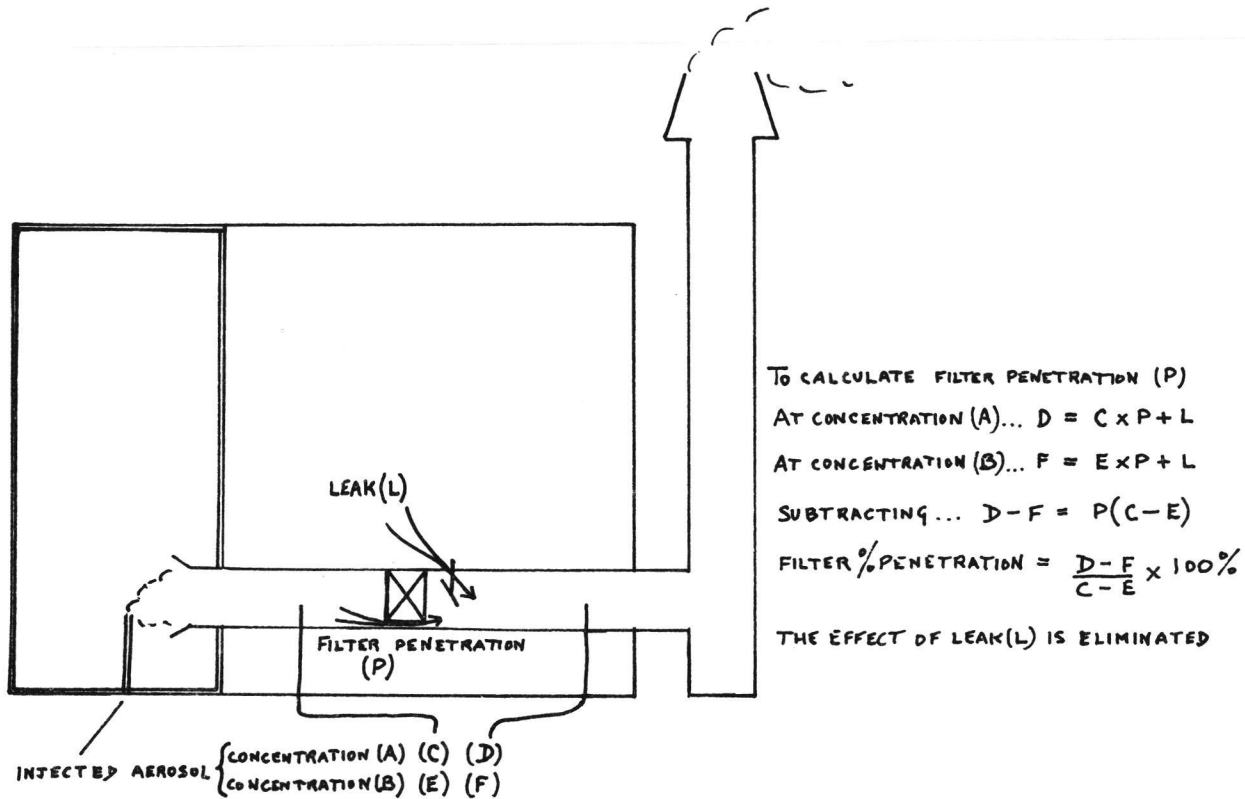


FIG. 2 EFFECT OF LEAK DOWNSTREAM OF FILTER (OUTSIDE CONTAINMENT)

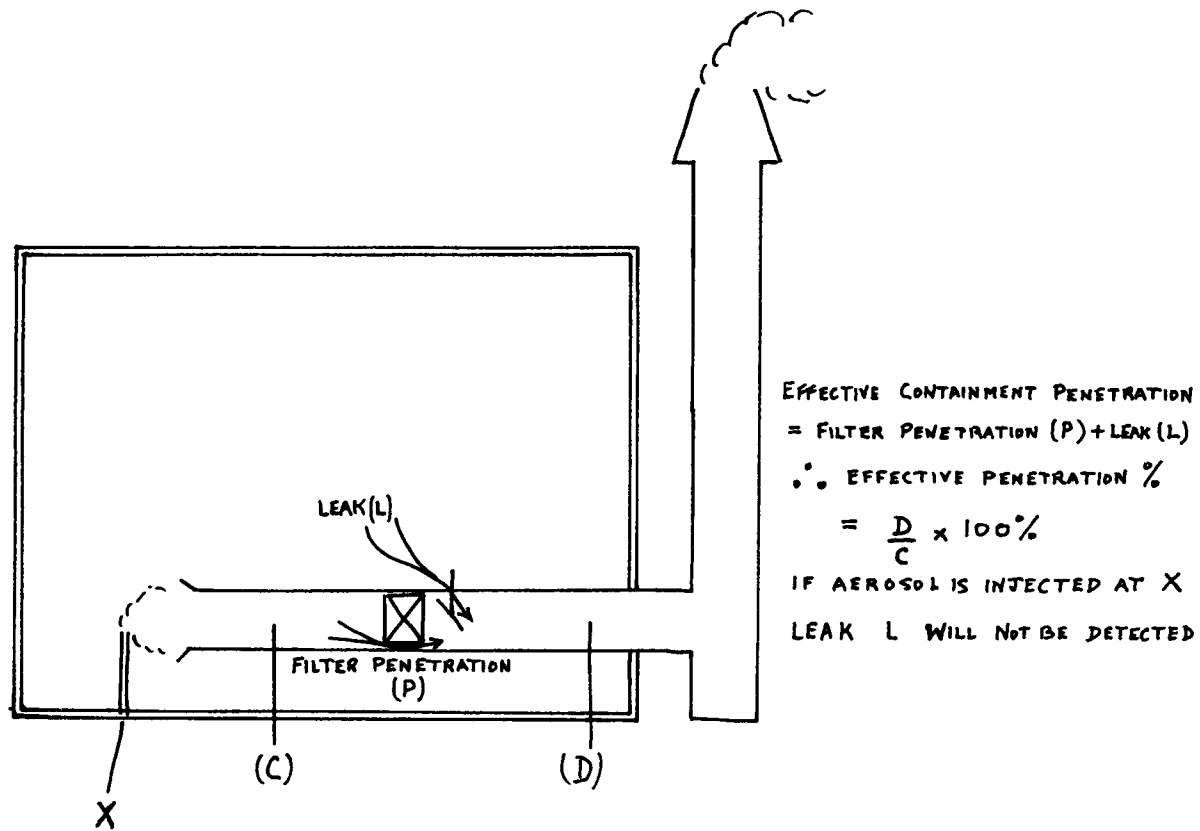
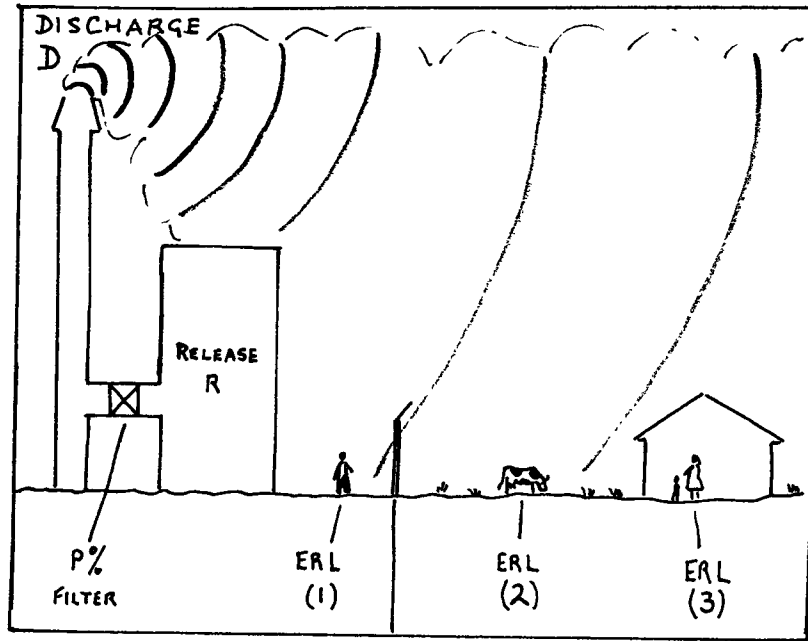


FIG. 3 EFFECT OF LEAK DOWNSTREAM OF FILTER (INSIDE CONTAINMENT)



$$\text{FILTER \% PENETRATION LIMIT } P = \frac{D}{R} \times 100\%$$

DISCHARGE D MUST BE LIMITED  
TO SATISFY THE MINIMUM ERL.

- e.g. (1) OCCUPATIONAL INHALATION ON SITE.  
(2) UPTAKE IN MILK OR VEGETATION ETC.  
(3) CONTINUOUS OCCUPATION BY PUBLIC.

FIG. 4 EFFECT OF EMERGENCY REFERENCE LEVELS ON FILTER% PENETRATION LIMITS

TRAINING AND CERTIFICATION OF PERSONNEL  
WHO PERFORM IN-PLACE FILTER TESTS AT NUCLEAR FACILITIES

M.W. First  
Harvard School of Public Health  
Boston - U. S. A.

SUMMARY. Preoperational testing and periodic retesting of high efficiency filtration systems installed at nuclear facilities are well-accepted safety procedures and are a requirement of regulatory agencies. In-Place Filter Testing Workshops, conducted periodically by the Harvard Air Cleaning Laboratory, provide the only available organized instructional programs for training testing personnel and supervisors. The curriculum, of one week duration, consists of approximately equal parts devoted to classroom theory and to "hands-on" practice in the Laboratory. The current curriculum will be outlined for purposes of discussion. Many testing personnel who have had no formal instruction in this technology are actively engaged in this activity. Therefore, steps are underway to organize a certifying body and to introduce certification as an essential qualifying step for personnel engaged in this activity. Current progress toward certification requirements and examination procedures will be reviewed for purposes of discussion.

KURZFASSUNG. AUSBILDUNG UND QUALIFIKATION VON PERSONAL FUER DIE DURCHFUEHRUNG VON IN-SITU-FILTERPRUEFUNGEN IN KERNTHECHNISCHEN ANLAGEN. Zu den allgemein anerkannten und von den Genehmigungsbehörden auferlegten Sicherheitsforderungen gehören Prüfungen vor Inbetriebnahme und regelmässige Wiederholungsprüfungen von Hochleistungs-Filterssystemen in kerntechnischen Anlagen. Die vom Harvard Air Cleaning Laboratory regelmässig veranstalteten Arbeitseminare für In-situ-Filterprüfungen liefern bisher die einzigen systematischen Ausbildungsprogramme für das Prüf- und Aufsichtspersonal. Der Lehrplan des einwöchigen Seminars sieht theoretischen Unterricht und praktische Laborübungen zu etwa gleichen Teilen vor. Der derzeitige Lehrplan wird zur Diskussion gestellt.

Da mancher des in diesem technologischen Bereich tätigen Prüfpersonals häufig ohne methodische Ausbildung ist, werden nun Massnahmen getroffen, um ein Zulassungsgremium einzurichten und die Zulassung als eine wesentliche Voraussetzung für die Qualifikation des Personals einzuführen. Ein Ueberblick über den derzeitigen Stand der jeweiligen Zulassungsbedingungen und Prüfungsverfahren wird gegeben und zur Diskussion gestellt.

RESUME. FORMATION ET HOMOLOGATION DU PERSONNEL EFFECTUANT SUR PLACE DES ESSAIS SUR FILTRES DANS LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES. Les essais initiaux et les contrôles périodiques des systèmes de filtrage à haut rendement qui équipent les installations nucléaires sont des procédures de sûreté bien acceptées et sont requis par les services compétents. Les séminaires sur l'essai des filtres in situ qu'organise le Harvard Air Cleaning Laboratory constituent la seule filière organisée de formation de personnel effectuant les essais et de superviseurs. Les cours qui durent une semaine sont répartis à parts à peu près égales entre la théorie et la pratique "sur le tas" en laboratoire. Le programme actuel est exposé en vue d'être discuté. Nombreuses sont les personnes qui, quoique n'ayant pas reçu de formation dans ce domaine, participent activement aux séminaires. Aussi s'emploie-t-on actuellement à mettre en place un organe d'habilitation et à faire de l'habilitation une étape essentielle pour la qualification du personnel concerné. On fait le point, afin d'en discuter, des progrès réalisés dans l'élaboration des critères de qualification et des procédures d'examen.

Air and gas cleaning facilities are among the important engineered safeguards that are required by all nuclear reactor installations to prevent release of dangerous quantities of radioactivity to the environment. Although every component of the air cleanup system will have been qualified by test prior to installation, it is well known that damage and deterioration during shipment, storage, and installation, as well as faulty installation, can result in a facility that is not capable of performing at the efficiency level and for the period for which it was designed. Further, air cleanup systems that were satisfactory when installed have been known to deteriorate over time from a variety of causes. Moeller(1) analyzed 43 reported U.S. nuclear air cleaning equipment failures (recorded as "abnormal events") for the period 1966-1974 and found that 65% "were directly attributable to human error or inadequate maintenance" and only 10% "to failure of an equipment component". Moeller also pointed out that, "If design errors are counted as human errors, over three quarters of all the [abnormal] events can be attributed to this cause." Although none of these failures resulted in a significant release of radioactivity, it should be evident that system deterioration occurs from many causes and constant vigilance is essential to maintain these engineered safeguards in a fully functional condition. Therefore, the U.S. Nuclear Regulatory Commission requires (as did its predecessor, the Atomic Energy Commission) that all such systems be tested in place after initial installation and "at least once per operating cycle thereafter for systems maintained in a standby status or after 720 hours of system operation and following painting, fire, or chemical release in any ventilation zone communicating with the system". This schedule is contained in U.S. Nuclear Regulatory Commission Regulatory Guide 1.52(2) and the testing methods to be employed are detailed in ANSI draft standard N509, Nuclear Power Plant Air Cleaning Units and Components(3) and ANSI N510-1975, Testing of Nuclear Air Cleaning Systems(4). Similar procedures that are intended to accomplish the same objectives are dictated and enforced by regulatory agencies in other nations.

Up to the present, there has been a remarkable lack of concern about the competence and reliability of those who per-

form test procedures and prepare certificates of compliance. Initially, most in-place testing was conducted by, or under the direct supervision of, a small group of scientists and engineers who developed the necessary instruments and techniques as they went along and their capabilities were unquestioned, but as the activity expanded, less experienced people were recruited who required systematic instruction and training to prepare them for this work. The need was filled initially by the Health and Safety Laboratory of the Atomic Energy Commission with a series of In-place Filter Testing Workshops for governmental personnel beginning about 1960. Soon, it became obvious that large numbers of non-governmental personnel would also be needed for in-place testing by the civilian nuclear power industry and the Harvard Air Cleaning Laboratory was asked to conduct future workshops for all governmental and non-governmental applicants on a selfsupporting tuition basis. With the very generous help of the Health and Safety Laboratory through the donation of instructors' time and a great deal of equipment, the first HACL In-Place Filter Testing Workshop was given in 1969. One to three workshops have been given annually at HACL since that date depending on the number of applicants. Students from many countries outside the U.S. have attended these workshops and the numbers have been swelled with equipment fabricators and design engineers as well as those who have been interested in applying nuclear in-place filter testing techniques to design and operation of clean rooms and biological safety facilities.

The one week curriculum of the Workshop has changed over the years in response to the changing needs of the industry and the students. In the beginning, the student population was composed largely of high grade technicians who performed the prescribed tests, but in recent years the students have been almost totally graduate engineers who have primary responsibility for supervising and managing these programs. I believe this reflects the extreme seriousness with which regulatory bodies have come to regard the correct performance of this activity at nuclear sites. Instruction is oriented around four major topics: (1) in-place testing of HEPA filters (2) in-place testing of activated carbon adsorbers (3) system design and ventilation requirements and (4) regulation. In-place testing

of HEPA filters occupies 50% of the time of the Workshop and includes instruction in filtration theory, statistical particle size analysis, and instrumentation as well as theory and practice of in-place filter testing. In-place testing of adsorption units occupies 20% of the time of the Workshop and includes instruction in adsorption theory as well as the theory and practice of carbon in-place adsorber testing. Ventilation system design and testing occupies 20% of the Workshop instruction time and the remainder is taken up with regulation and administration of in-place testing programs. Instruction is about equally divided between classroom and laboratory and special emphasis is placed on practical experience in applying the approved testing techniques. To that end all laboratory sessions are conducted in small groups with modern instruments and the instructors have been selected on the basis of their special knowledge of and long experience with in-place filter testing. Table I is an outline of the current curriculum of the In-place Filter Testing Workshops.

The importance of in-place filter testing for maintaining the continuing preparedness of facilities to reduce the impact of a design basis accident to acceptable levels beyond the site boundary is reflected in the current interest in certification of in-place filter testing personnel by a qualification procedure that will be acceptable to regulatory agencies. Therefore a plan has been prepared in draft form and circulated for comment to interested individuals and agencies in the U.S. It has been proposed that the technical and scientific associations and societies that have a special interest in the design and safe operation of nuclear facilities (to be known as the sponsoring organizations) (e.g., American Nuclear Society, American Society of Mechanical Engineers, American Institute of Chemical Engineers, Health Physics Society, American National Standards Institute) each appoint 2 delegates to an ad hoc Committee on Certification for In-Place Filter Testing; this Committee to elect an equal number of members who may represent governmental agencies, academic institutions, and consultant and operating people. Together, they will constitute the nucleus of an independent incorporated board that will perform the following functions:



1. petition for a charter as a non-profit corporation for the purposes outlined below.

2. prepare and adopt articles of incorporation and bylaws for the corporation.

3. establish and publish minimum regulations for certification after carefully reviewing the background of selected individuals believed to be representative of those recognized as competent in the technology of in-place filter testing.

4. establish procedures for accepting and processing applications for certification.

The purposes for which an In-Place Filter Testing Certification Board is to be organized are the following:

1. adopt and publicize regulations for the issuance of certificates.

2. grant and issue to qualified persons, certificates of special training, knowledge, and competence in in-place filter testing technology and revoke for cause certificates so granted and issued.

3. receive and act upon applications for certificates, determining by investigation, examination, or otherwise, the fitness of the applicants for certification.

4. maintain a roster of individuals certified by the Board.

5. furnish to the public and interested organizations a roster of individuals certified as competent in the technology of in-place filter testing.

6. prepare examinations and make arrangements for conducting them at designated locations and times.

7. elevate the standards and advance the technology of in-place filter testing by encouraging its study and improving its practice.

8. encourage and insist on the highest standard of ethics and integrity in the practice of in-place filter testing.

The Certification Board will issue two categories of certificates. One, of Senior Grade, will certify to a degree of education, experience, and ability that is required by a person in responsible charge. This person will have demonstrated competence to plan a testing program, supervise its conduct, and prepare a certified report of findings accompanied by,

where appropriate, recommendations for correcting observed inadequacies. A second, of Junior Grade, will certify to a degree of training, experience, and ability adequate to conduct in-place filter testing under the supervision of an individual holding a Senior Grade Certification. Those holding Junior Grade Certification will be encouraged by the Board to upgrade their knowledge and experience so as to qualify for Senior Grade Certification.

Each applicant for certification must meet certain minimum eligibility requirements and must pass each part of an examination that covers theory and practice. For an initial period of 3-years following incorporation of the Board, applicants demonstrating exceptional competence and long experience may be certified without examination by a 3/4 favorable vote of the Board.

Minimum eligibility requirements for admission to examination will include:

1. Good moral character and high professional or technologist standing.
2. General education acceptable to the Board.
3. Attendance at specialized in-place filter testing schools or courses acceptable to the Board.
4. For eligibility for the Senior Grade Certification examination only, the equivalent of two years of full-time practice of in-place filter testing acceptable to the Board.

It is intended that the certification board become self-supporting by charging examination fees plus an annual fee for listing in the Board's roster of persons certified as competent to perform in-place filter testing.

It is estimated that there are at least a few hundred individuals in the U.S. who would wish to become certified and there may be an equal or greater number outside the U.S. These are modest numbers and although they are likely to increase over a period of years it is not believed that those seeking certification will ever become a large number, even worldwide. Therefore, consideration should be given to establishing an international certification board; either from the beginning or as an evolutionary development from an ongoing national program. Comments and suggestions on the certification proposal

would be welcomed by the author.

References

- (1) Moeller, D. W., Performance of Air Cleaning Systems in Nuclear Facilities, Proceedings of the 13th AEC Air Cleaning Conference, San Francisco, Cal., 12-15 August 1974. CONF-740807, Vol. I, p. 10. Available from NTIS, Springfield, Va.
- (2) USNRC, Regulatory Guide 1.52, Design, Testing, and Maintenance Criteria for Engineered-Safety-Feature Atmosphere Clean-up System Air Filtration and Adsorption Units of Light Water-Cooled Nuclear Power Plants. Revision 1, July 1976, U.S. Nuclear Regulatory Comm., Washington, D.C.
- (3) American National Standards Institute, Draft American National Standard ANSI N509 (Draft 9 - November 1975), Nuclear Power Plant Air Cleaning Units and Components, American National Standards Institute, New York City, 1975.
- (4) American National Standards Institute. American National Standard ANSI N510, Testing of Nuclear Air-Cleaning Systems, American National Standards Institute, New York City, 1975.

Table I. Curriculum of the In-Place Filter Testing Workshops given at the Harvard School of Public Health Boston, Massachusetts

<u>Monday</u>	<u>Wednesday</u>
Welcome and introduction to course	Duct and stack sampling
Properties of aerosols	Particle size measurement with the microscope
High efficiency filters, film	Non-microscopic particle size measurement methods
DOP generators and light scattering photometers	Particle size statistics
Calibration, adjustment, and maintenance of light scattering photometers	Demonstration of Particle Measuring Instruments
Discussion of experiments	Regulatory Requirements for Air Cleaning Systems in Nuclear Facilities
Laboratory: Aerosol generation and photometric measurements. Effect of generator pressure on aerosol characteristics. Linearity of photometer output signal.	Disposal of spent and contaminated air cleaning equipment for nuclear facilities
Demonstrations: Thermal poly-dispersed DOP generator, Caisson filter changing	<u>Thursday</u>
Critique	Gas adsorbers; adsorption of radioiodine
<u>Tuesday</u>	Adsorption of radioactive noble gases
Air filtration theory	In-place testing methods for adsorbers
System design: good practice standards, provisions for in-place testing	Discussion of experiments
In-place filter testing experiences	Laboratory: In-place testing of adsorbers
Discussion of experiments	Field experiences: In-place testing of adsorbers
Laboratory: filter testing	Critique
Demonstrations: Q127 hot DOP generator. High temperature testing with NaCl aerosol	<u>Friday</u>
Critique	Air flow and pressure measurements; air leaks
	Laboratory: airflow and pressure measurements; calibrations
	Critique and general course review

DIE PRUEFUNG VON SCHWEBSTOFFFILTERN  
HOHER ABSCHIEDELEISTUNG NACH DIN 24 184

G. Riediger  
Staubforschungsinstitut  
Bonn - B. R. DEUTSCHLAND

**KURZFASSUNG.** Das Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Bonn, prüft im Rahmen seiner Prüftätigkeit auch Schwebstofffilter und Schwebstofffilterelemente gemäss der Norm DIN 24 184, Ausgabe Oktober 1974.

In dem Beitrag werden die Anforderungen der DIN 24 184 an Schwebstofffilter behandelt und die Erzeugung und die Eigenschaften der verwendeten Prüfaerosole sowie die eingesetzten Prüf- und Messmethoden beschrieben. Hierbei wird insbesondere auf die Problematik eingegangen, die sich beim Prüfen von Schwebstofffiltern hoher Abscheideleistung stellt.

**SUMMARY. THE TESTING OF HIGH EFFICIENCY PARTICULATE AIR FILTERS ACCORDING TO THE GERMAN STANDARD DIN 24 184.**

Particulate air filters are tested to the German Standard DIN 24 184, dated October 1974, in the Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften (Dust Research Institute of the Control Association of Industrial Injuries Insurance Institute), Bonn, within the scope to the institut's functions in the field to testing.

The standards for particulate air filters, as set by DIN 24 184, and the generation and the properties of the test aerosols employed are discussed and the tests and measuring methods used are described, with particular reference to the problems of testing particulate filters having an especially high collection efficiency.

**RESUME. CONTROLE DES FILTRES D'AEROSOLS A HAUT RENDEMENT SELON LA NORME DIN 24 184.** Dans le cadre de son activité de contrôle, l'Institut de recherche sur les poussières de la Fédération des Associations mutuelles professionnelles de Bonn teste, entre autres, des filtres et éléments de filtres d'aérosols, conformément à la norme DIN 24 184, édition octobre 1974.

L'exposé traite des exigences auxquelles les filtres d'aérosols doivent répondre d'après la norme DIN 24 184 et décrit la production et les propriétés des aérosols utilisés pour les essais ainsi que les méthodes de contrôle et de mesure appliquées. L'accent est particulièrement mis sur les problèmes qui se posent lors du contrôle de filtres d'aérosols à haute efficacité.

## Einleitung

Das Staubforschungsinstitut hat eine jahrzehntelange Tradition auf dem Gebiet der Prüfung von Filtern. Es ist vom Bundesministerium für Arbeit benannte Prüfstelle u.a. für filternde Atemschutzgeräte und für Staubfilter, die in der Industrie in Entstaubern, Kehrsaugmaschinen, Staubsaugern und ähnlichen Einrichtungen Verwendung finden, bei denen die Reinluft in die Arbeitsräume rückgeführt wird. Außerdem werden Prüfungen von Schwebstofffiltern nach DIN 24 184 durchgeführt. Die Prüfung nach DIN 24 184 ist Gegenstand dieses Beitrags.

Streng genommen zeigt sich die betriebliche Leistungsfähigkeit eines Filters erst unter den Betriebsbedingungen, unter denen das Filter eingesetzt wird. Wesentlich sind hier die Anströmgeschwindigkeit, die Größenverteilung, Form, Substanz und Konzentration der Teilchen im dem Filter angebotenen Aerosol, der elektrostatische Ladungszustand von Aerosol und Filtermaterial, Temperatur und Feuchte. Es ist praktisch unmöglich all diese Parameter für die unendlich vielen Einsatzmöglichkeiten von Filtern auf einem Filterprüfstand zu simulieren.

Zur Vorauswahl von für den speziellen Anwendungsfall potentiell geeigneten Filtern reichen häufig schon relative technische Leistungsdaten aus. Damit die Vergleichbarkeit solcher Daten gewährleistet ist, müssen sie mit hinreichend guter Reproduzierbarkeit ermittelt werden. Dazu dienen Normen, wie beispielsweise die DIN 24 184.

## Voraussetzungen für die Prüfung

Zur Prüfung werden zwei Filterzellen, die bei Beantragung einer Typenprüfung der laufenden Produktion entnommen sein müssen und nicht verändert worden sein dürfen, zusammen mit planem Filtermaterial aus der Charge des eingebauten Filtermaterials eingereicht. Der zugehörige Prüfauftrag muß die kennzeichnende Beschreibung des Schwebstofffilter-Elements enthalten (Bild 1). Dazu gehören Angaben zur Art, Fläche

und Anordnung des filternden Materials, sein Flächengewicht und seine Schichtdicke und der spezifische Nenn-Volumenstrom mit der Nenn-Druckdifferenz. Für das Schwebstofffilter-Element sind Bezeichnung bzw. Typ und Name und Anschrift des Herstellers sowie der konstruktive Aufbau in Form einer Baumusterbeschreibung anzugeben, außerdem der Nenn-Volumenstrom und die Nenn-Druckdifferenz. Die Prüfung wird bei dem angegebenen Nenn-Volumenstrom durchgeführt. Für Filterzellen, die von den üblichen Querschnittsabmessungen 610 x 610 mm abweichen, müssen vom Antragsteller geeignete Anschlußvorrichtungen gestellt werden, damit die Zelle im Prüfstand eingebaut werden kann.

#### Prüfanlagen und Prüfmittel

Bild 2 zeigt die am Staubforschungsinstitut zur Messung des Durchlaßgrades von Schwebstofffilter-Elementen gegenüber Paraffinölnebel verwendete Prüfanlage: Ein Hochleistungs-Zentrifugal-Ventilator schickt 100 m<sup>3</sup>/h bis maximal etwa 2 200 m<sup>3</sup>/h Luft bei einem Filterzellen-Durchflußwiderstand von maximal 1 200 N/m<sup>2</sup> durch die Anlage. Der geforderte Nenn-Volumenstrom wird mit Hilfe einer Drosselklappe eingestellt und über eine Viertelkreisdüse gemessen. Zwischen der Drosselklappe und dem aus zwei Maschensieben bestehenden Strömungsgleichrichter wird der Prüfölnebel zugemischt. Die zu prüfende Filterzelle wird hinter einem Rohluft-Diffusor in die Anlage dicht eingebaut. Ringmeßleitungen vor und hinter dem Prüfling dienen der Messung der Nenn-Druckdifferenz, Sonden auf der Roh- und der Reinluftseite der Ölnebelkonzentrationsmessung und so der Ermittlung des Durchlaßgrades.

Zur Erzeugung des Ölnebels wird ein Generator der Firma Drägerwerk benutzt (Bild 3), wobei ein definiertes Paraffinöl (technisch rein, harz- und alkalifrei; Dichte 0,853 g/cm<sup>3</sup> bei 20°C, Viskosität bei 20°C 3,0 - 3,8.10<sup>-5</sup> m<sup>2</sup>/s) bei 100 °C mit Hilfe gefilterter und getrockneter Druckluft

durch definierte Düsen vernebelt wird. Dabei entsteht ein Gemisch aus Öltröpfchen und Öldampf in Luft, das in einem Mischgefäß dosiert mit Druckluft von Raumtemperatur verdünnt wird (die groben Tröpfchen werden in einer Rohrschlange abgeschieden). Hierbei kondensiert der Dampf an den Resttröpfchen, wodurch ein Ölnebel-aerosol der gewünschten Tröpfchengrößenverteilung entsteht. Es wird dem Hauptluftstrom in der Anlage dosiert zugemischt, so daß die Rohluftkonzentration am Ort des Prüflings  $10 \text{ mg/m}^3$  beträgt. Die mit dem Andersen-Kaskadenimpaktor am Ort des Prüflings wiederholt gemessene Tröpfchengrößenverteilung zeigt Bild 7, wobei die zunächst gemessene Massenverteilung auf die Teilchenzahlverteilung zurückgerechnet und als Teilchengröße der Stokes-Durchmesser ermittelt wurde. Der Verteilungstyp läßt sich sehr gut durch eine logarithmische Normalverteilung beschreiben - der Korrelationskoeffizient für die Regressionskurve ist  $-0,995$  - mit dem Medianwert  $0,36 \mu\text{m}$  und der logarithmischen Standardabweichung  $0,29$ . Rund  $90 \%$  der Tröpfchen sind kleiner als  $1 \mu\text{m}$ .

Die Bestimmung des Durchlaßgrades von hochwertigen Filtern ist mit herkömmlichen gravimetrischen Verfahren nicht hinreichend genau möglich. Daher wird hier ein streulichtfotometrisches Verfahren angewandt. Bild 4 zeigt das Schema des von uns eingesetzten Sartorius-Aerosolfotometers. Hierbei wird das Aerosol durch eine Meßkammer geleitet und mit einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe beleuchtet. Das dabei entstehende Streulicht wird unter  $45^\circ$  zum Primärstrahl mit Hilfe eines Fotomultipliers mit Meßverstärker gemessen. Um hierbei von Schwankungen der Beleuchtungsintensität oder von elektrischen Werten unbeeinflusst zu sein, wird der Streulichtstrahl 200 mal in der Sekunde mit einem Vergleichsstrahl verglichen, der automatisch mit Hilfe von Graufiltern und eines Graukeils auf die Intensität des Streulichtstrahls geschwächt wird. Die Abgleichstellung wird angezeigt und ist ein Maß für die Aerosolkonzentration. Der Durchlaßgrad ergibt sich zu

$$D = \frac{A_H - A_L}{A_V - A_L} ,$$



wobei  $A_H$  und  $A_V$  die fotometrischen Werte für die Aerosolkonzentration hinter bzw. vor dem Prüfling bedeuten und  $A_L$  der Wert für die reine Trägerluft ist. Mit diesem Verfahren sind Durchlaßgrade bis herab zu etwa 0,002 % meßbar. Die Reproduzierbarkeit der Messungen des Durchlaßgrades ist besser als 10 %. Der mittlere 90 %-Vertrauensbereich für den mittleren Durchlaßgrad bei Prüfung verschiedener Filter desselben Typs liegt bei knapp 20 % - hierin sind die Verfahrensstreuung und die Produktstreuung enthalten.

Hochwertige Schwebstofffilter-Elemente werden zusätzlich einem visuellen Lecktest unterzogen. Das Element wird hierzu auf einem Diffusor abgedichtet und mit Ölnebel der Konzentration von rund  $1 - 2 \text{ g/m}^3$  bei einer Anströmgeschwindigkeit von der Größenordnung  $1 \text{ cm/s}$  beaufschlagt. Die Abströmseite wird mit einem Scheinwerfer senkrecht bestrahlt. Im abgedunkelten Raum darf gegen einen neutralen mattschwarzen Hintergrund kein Ölfaden erkennbar sein. Bei anderen Schwebstofffiltern geht durch das Filtermaterial selbst zu viel Ölnebel hindurch, was die Feststellung und Lokalisierung von Lecks unmöglich macht.

Zur Typprüfung eines Schwebstofffilter-Elementes gehört die Prüfung des planen, ungefalteten filternden Materials auf seinen Durchlaßgrad gegenüber atmosphärischem Aerosol. Die Prüfanlage hierzu zeigt Bild 5: Ein Gebläse saugt entsprechend dem geforderten spezifischen Nenn-Volumenstrom Raumluft an. 150 l/h davon werden 1 m über dem Boden angesaugt und über ein hochemanierendes Präparat - Th 228 - geleitet. Man erhält so ein Gemisch von Schwebstoffteilchen und Thoron in Luft. Dieses Gemisch wird durch zwei Gefäße gesaugt, die so groß sind, daß es darin 20 Minuten lang verweilt. In dieser Zeit ist das Thoron bis auf einen Rest von weniger als  $10^{-6}$  zerfallen, und die Schwebstoffteilchen sind durch Anlagerung der gebildeten Pb 212-Atome radioaktiv markiert. Dieses Aerosol wird dem Hauptluftstrom im Ansaugrohr gleichmäßig beigemischt.

Hinter der Mischstrecke sitzen unmittelbar hintereinander zwei Filterronden von je  $100 \text{ cm}^2$  des zu prüfenden Planmaterials, die mit dem Raumaerosol hinreichend lange - im allgemeinen 10 Minuten lang - beaufschlagt werden. Nach rund sechs Stunden, nach denen sich das radioaktive Gleichgewicht zwischen Pb 212 und seinen Folgeprodukten eingestellt hat, wird die Aktivität der beiden Filterronden mittels einer Ionisationskammer und eines Schwingkondensator-Meßverstärkers nach der Auflademethode gemessen. Der Durchlaßgrad des Filtermaterials ergibt sich dann zu

$$D = \frac{I_H - I_0}{I_V - I_0},$$

wobei  $I_H$  und  $I_V$  die Ionisationsströme für die beiden hintereinandergeschalteten Filter (Nach- und Vorfilter) und  $I_0$  der "Nullwert" sind (Ionisationsstrom ohne Filteraktivität).

Neben dieser "direkten" Methode kann es manchmal nötig sein, die "indirekte" Methode anzuwenden, wobei die Roh- und die Reinluftaktivität mit Hilfe von hochwertigen Meßfiltern bekannten Abscheidegrades festgestellt werden.

Bild 7 mag einen Anhaltspunkt dafür geben, wie die Korngrößenverteilung eines atmosphärischen Aerosols etwa aussieht. Weit über 90 % der Partikeln sind kleiner als  $1 \mu\text{m}$ . Selbstverständlich ist das atmosphärische Aerosol kein Testaerosol im strengen Sinne, da es in Konzentration, Zusammensetzung und Korngrößenverteilung nicht hinreichend reproduzierbar ist. Dieser Umstand wird dem Verfahren auch bisweilen angelastet. Auf der anderen Seite darf man jedoch nicht verkennen, daß man es hier mit einem praktisch vorkommenden Aerosol zu tun hat, für das Schwebstofffilter häufig eingesetzt werden. Schließlich erwartet man von einem guten Schwebstofffilter, daß es für alle Korngrößen eine gute Abscheideleistung aufweist, und das atmosphärische Aerosol besteht zum überwiegenden Teil aus submikronen Partikeln. In einem Raumaerosol findet man kaum Teilchen, die größer als wenige  $\mu\text{m}$  sind.

In diesem Zusammenhang mag die gute Reproduzierbarkeit dieses Verfahrens überraschen, die, auch bei hochwertigen Filtern, besser als etwa 5 % ist. Der mittlere 90 %-Vertrauensbereich für den mittleren Durchlaßgrad bei Prüfung verschiedener Filter desselben Typs liegt bei rund 7 % - hierin sind die Verfahrensstreuung und die Produktstreuung enthalten. Hinzu kommt die hohe Empfindlichkeit des Verfahrens, die für die Durchlaßgrade in der Größenordnung  $10^{-3}$  % liegt.

In speziellen Fällen (z.B. bei Anströmgeschwindigkeiten über 1 m/s, bei Filtermaterialien geringer innerer Stabilität oder bei Meßfiltern) kann es nötig erscheinen die mechanische Widerstandsfähigkeit des Filtermaterials bei Staubeinspeicherung mit Hilfe von feinem Quarzstaub zu testen. Das Schema der Prüfanlage zeigt Bild 5, die Korngrößenverteilung des Prüfstaubs Bild 7. Die Konzentration liegt bei  $215 \pm 30 \text{ mg/m}^3$ .

#### Durchführung der Prüfung und Beurteilung des Schwebstofffilter-Elementes

Das Schwebstofffilter-Element wird gegenüber dem Ölnebel-aerosol zehnmal unmittelbar nacheinander je 2 Minuten lang bei Nenn-Volumenstrom geprüft. Der daraus resultierende mittlere Durchlaßgrad mit seinem Vertrauensbereich für die statistische Sicherheit von 90 % bei beidseitiger Fragestellung wird mit den in der Tabelle (Bild 8) genannten Grenzwerten verglichen. Für die Schwebstofffilterklasse S wird zusätzlich der "maximale" Einzeldurchlaßgrad aus dem Mittelwert und der Stichprobenstandardabweichung bei einseitiger statistischer Sicherheit von 95 % errechnet, für den es ebenfalls einen Grenzwert gibt. Außerdem ist in diesem Fall der Lecktest obligatorisch.

Analog wird bei der Prüfung mit atmosphärischem Aerosol vorgegangen, wobei an 6 Proberunden des planen Filterma-

terials bei spezifischem Nenn-Volumenstrom der Einzeldurchlaßgrad bestimmt wird.

Bei Prüfung mit Quarzstaub werden sechs einstündige Einzelprüfungen an Proberonden durchgeführt, wobei der Durchlaßgrad, die je Flächeneinheit eingespeicherte Staubmasse und die bei Versuchsende erreichte Druckdifferenz gemessen werden.

Das geprüfte Schwebstofffilter-Element erfüllt dann die Anforderungen an eine bestimmte Schwebstofffilterklasse, wenn alle betreffenden Grenzwerte eingehalten sind. Die Einteilung nach Schwebstofffilterklassen gilt nur für komplette Filterelemente. Wurde nur das filternde Material geprüft, so dürfen aus diesem Material hergestellte Filterelemente nicht als typgeprüft nach DIN 24 184 bezeichnet werden.

Über die Prüfung und ihre Ergebnisse (Nenn-Druckdifferenz, Durchlaßgrade und evtl. Einspeicherergebnisse) wird ein Prüfzeugnis ausgestellt, das auch die Beurteilung und Klassifikation enthält.

#### Zusammenfassung

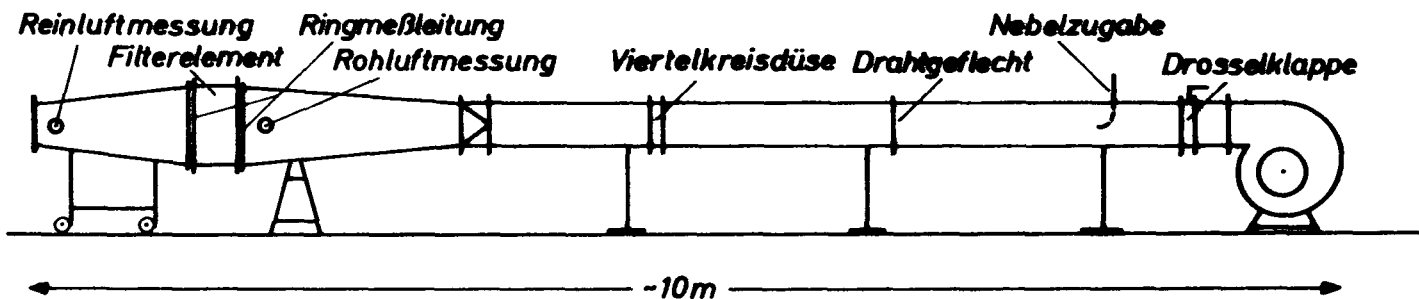
Die beschriebene Typprüfung nach DIN 24 184 ermöglicht mit Hilfe verschiedener Aerosole eines insgesamt breiten Teilchengrößenspektrums eine vergleichende Aussage über die Leistungsfähigkeit von Schwebstofffiltern. Sie muß unterschieden werden von der Produktionskontrolle des Herstellers und von den Betriebsprüfungen der Betreiber.

## Literatur

1. DIN 24 184 "Typprüfung von Schwebstofffiltern",  
Ausgabe Oktober 1974
2. Staubforschungsinstitut Bonn, "Vorläufige Richtlinien zur Prüfung von Filtern zur Abscheidung von Schwebstoffen", Staub-Reinh.d.Luft, 23 (1963),1, S.21/27
3. D. Hasenclever, "Neue theoretische und experimentelle Untersuchungen an Filtermaterialien zur Abscheidung von Schwebstoffen", Staub-Reinh.d.Luft, 26 (1966),7, S.288/298
4. D.Hasenclever, "Welche Ansprüche kann man an hochwertige Filteranlagen stellen?", Staub-Reinh.d.Luft, 26 (1966),10, S.427/431
5. D.Hasenclever, "Filter zur Luft- und Gasreinigung in kerntechnischen Anlagen", Staub-Reinh.d.Luft, 31 (1971),2,S.45/51
6. J. Fahrbach, "Der Einfluß von Lecks auf den Gesamtdurchlaß - Geschwindigkeits- und Konzentrationsmessungen an perforierten Filtern", Staub-Reinh.d. Luft, 30 (1970), 12, S.533/538
7. V. Mohnen, "Untersuchungen über die Anlagerung von neutralen und elektrisch geladenen Emanations-Folgeprodukten an Aerosole - Messung des Aerosolgrößenspektrums und des Anlagerungskoeffizienten neutraler Zerfallsprodukte", Inaug.Dissert. Ludwig-Maximilian-Universität München 1966
8. L.-H. Engels, "Typprüfung von Schwebstofffiltern", Bericht Eurocontamination 1971

<p><i>Art, Fläche und Anordnung des filternden Materials</i></p> <p><i>Flächengewicht in g/m<sup>2</sup></i></p> <p><i>Schichtdicke in mm</i></p> <p><i>Spez. Nennvolumenstrom <math>q_N</math> in m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>h</i></p> <p><i>Druckdifferenz bei <math>q_N</math> in N/m<sup>2</sup></i></p>		
<p><i>Konstruktiver Aufbau des Schwebstofffilter- Elements</i></p> <p><i>Abmessungen</i></p> <p><i>Material des Rahmenwerkes</i></p> <p><i>der Dichtungen</i></p> <p><i>der Abstandshalter</i></p>		
<p><b>1976</b></p>	<p><b>Kenndaten für Schwebstofffilter- Elemente (Baumusterbeschreibung)</b></p>	<p><b>STF Ref. 1.1</b></p>

BILD 1



1976

Anlage zur Prüfung von Schwebstofffilterelementen  
mit Ölnebel

STF  
Ref. 1.1

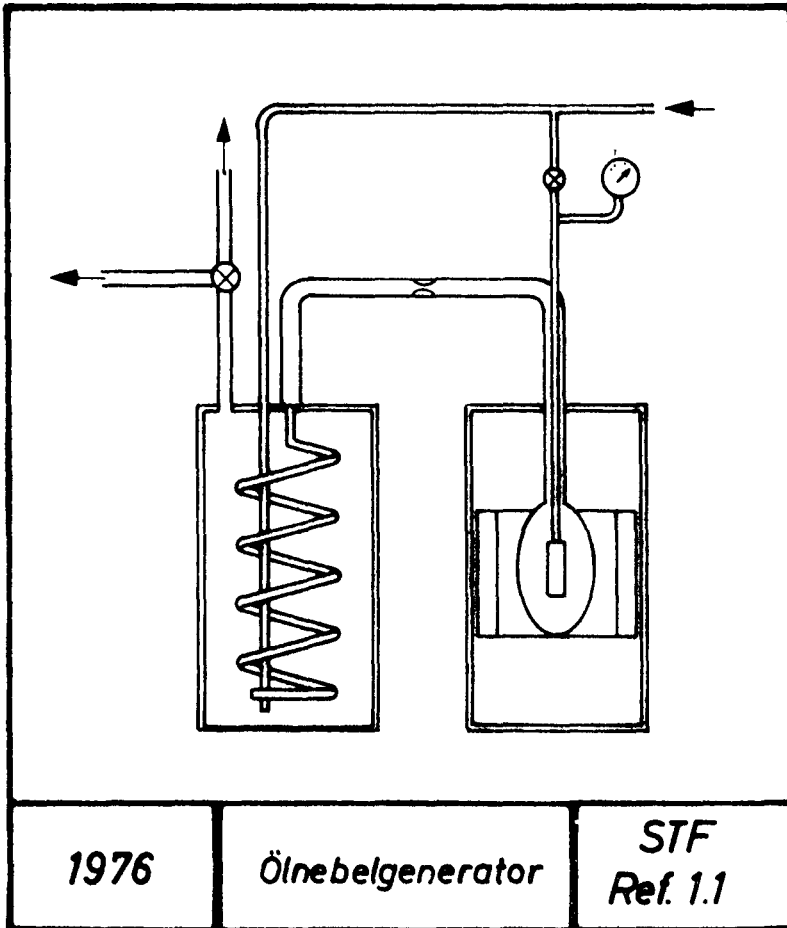


BILD 3



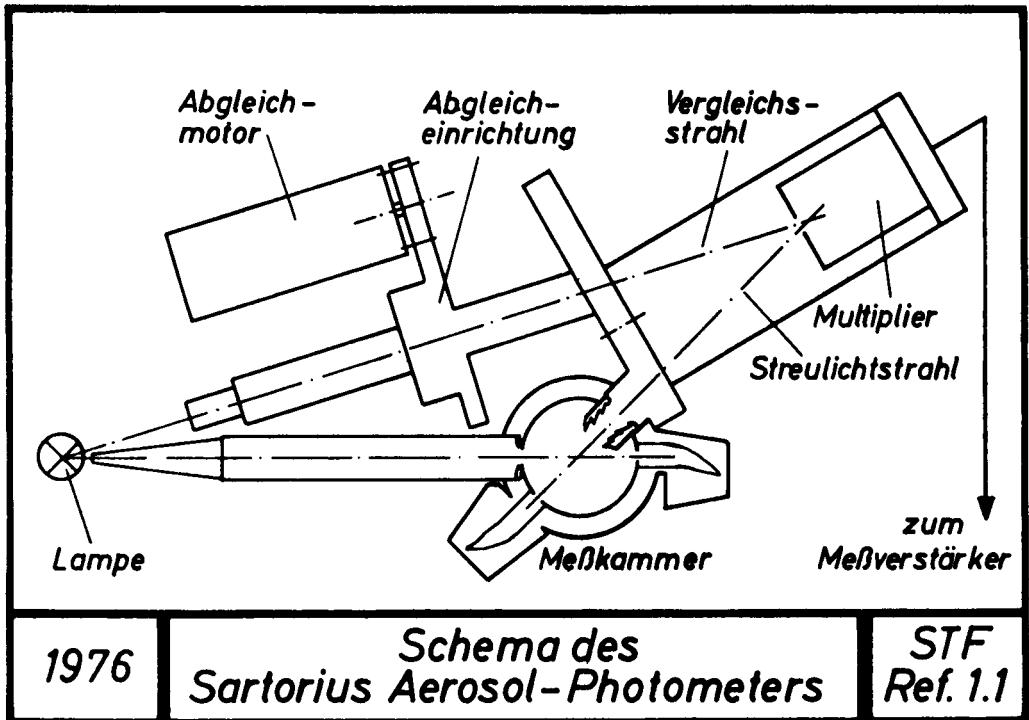
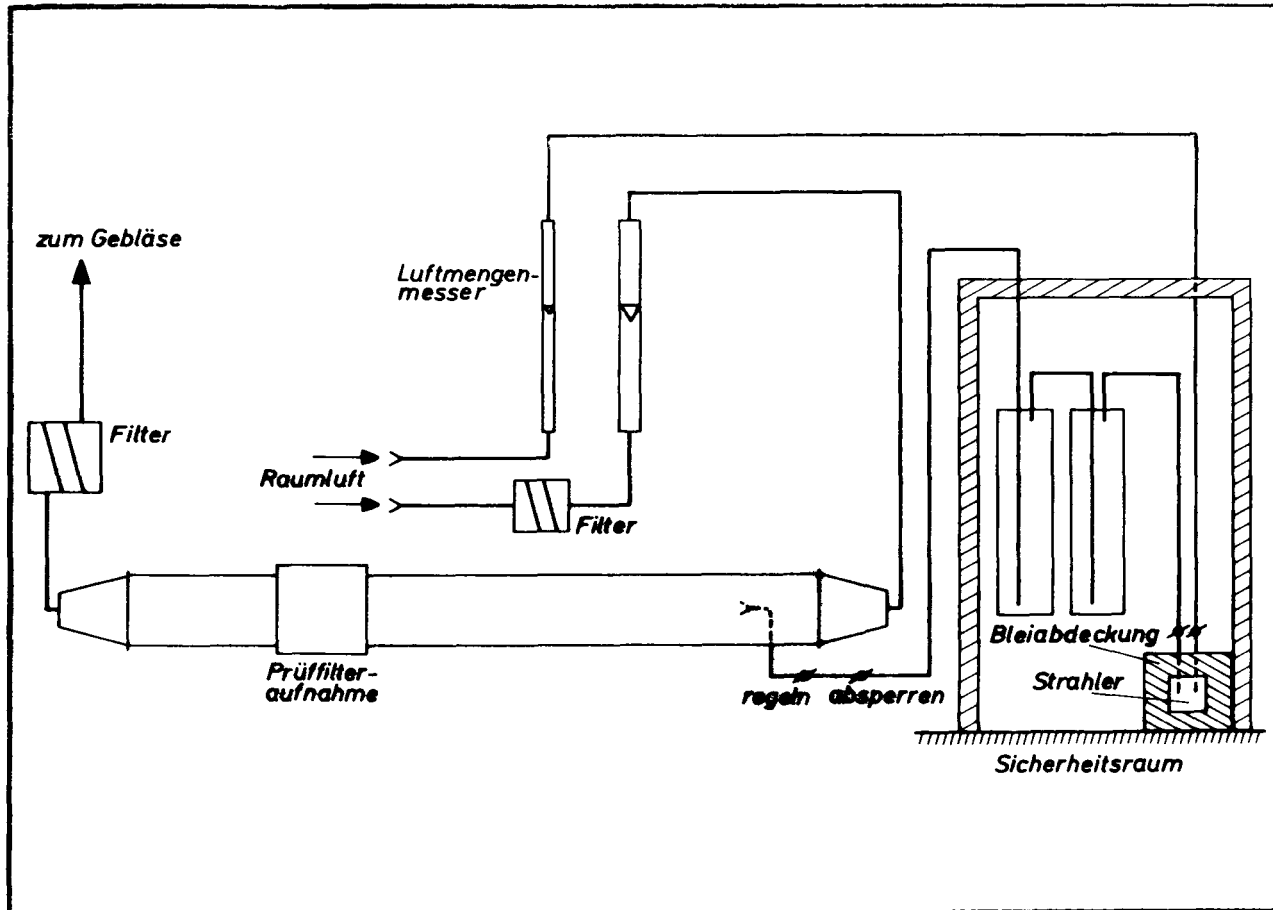


BILD 4

BILD 5



1976

Anlage zur Prüfung von Schwebstofffilterelementen  
mit radioaktiv indiziertem atmosphärischem Aerosol

STF  
Ref. 1.1

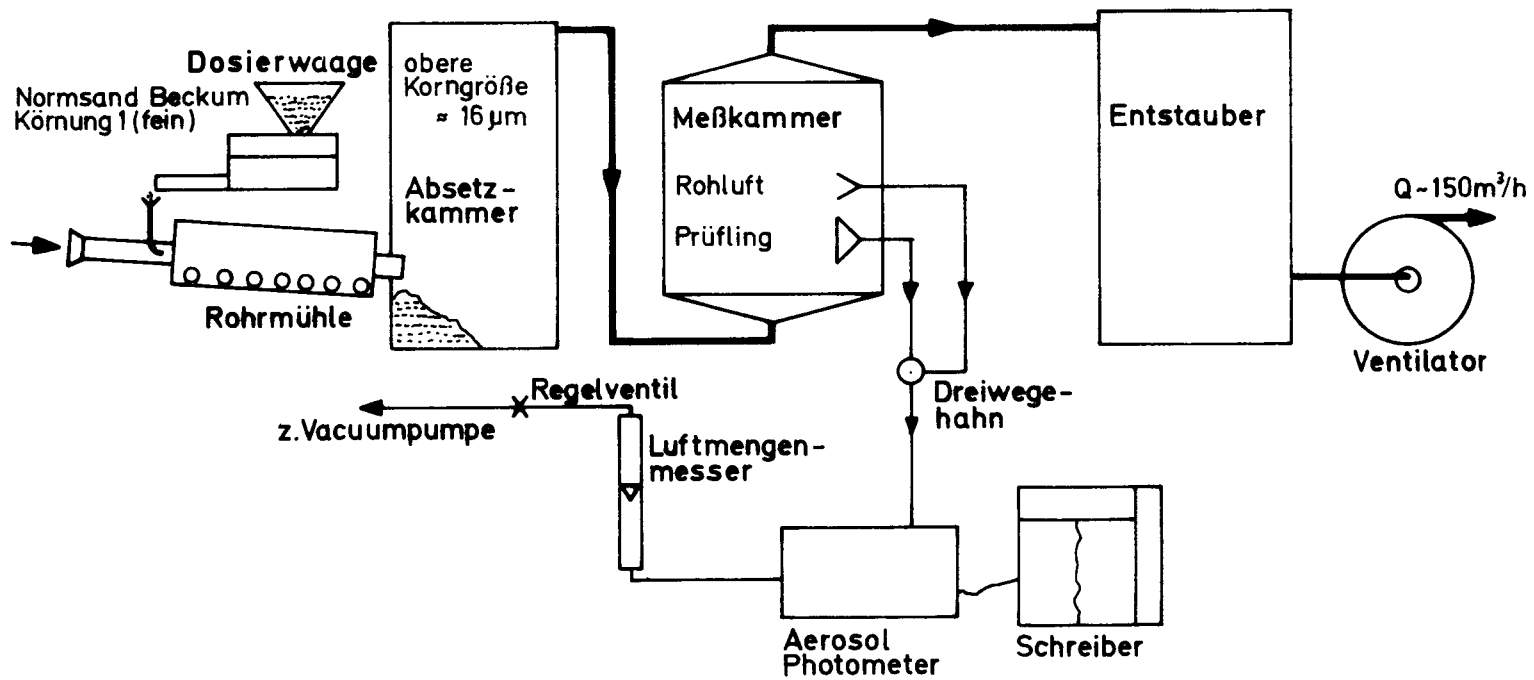
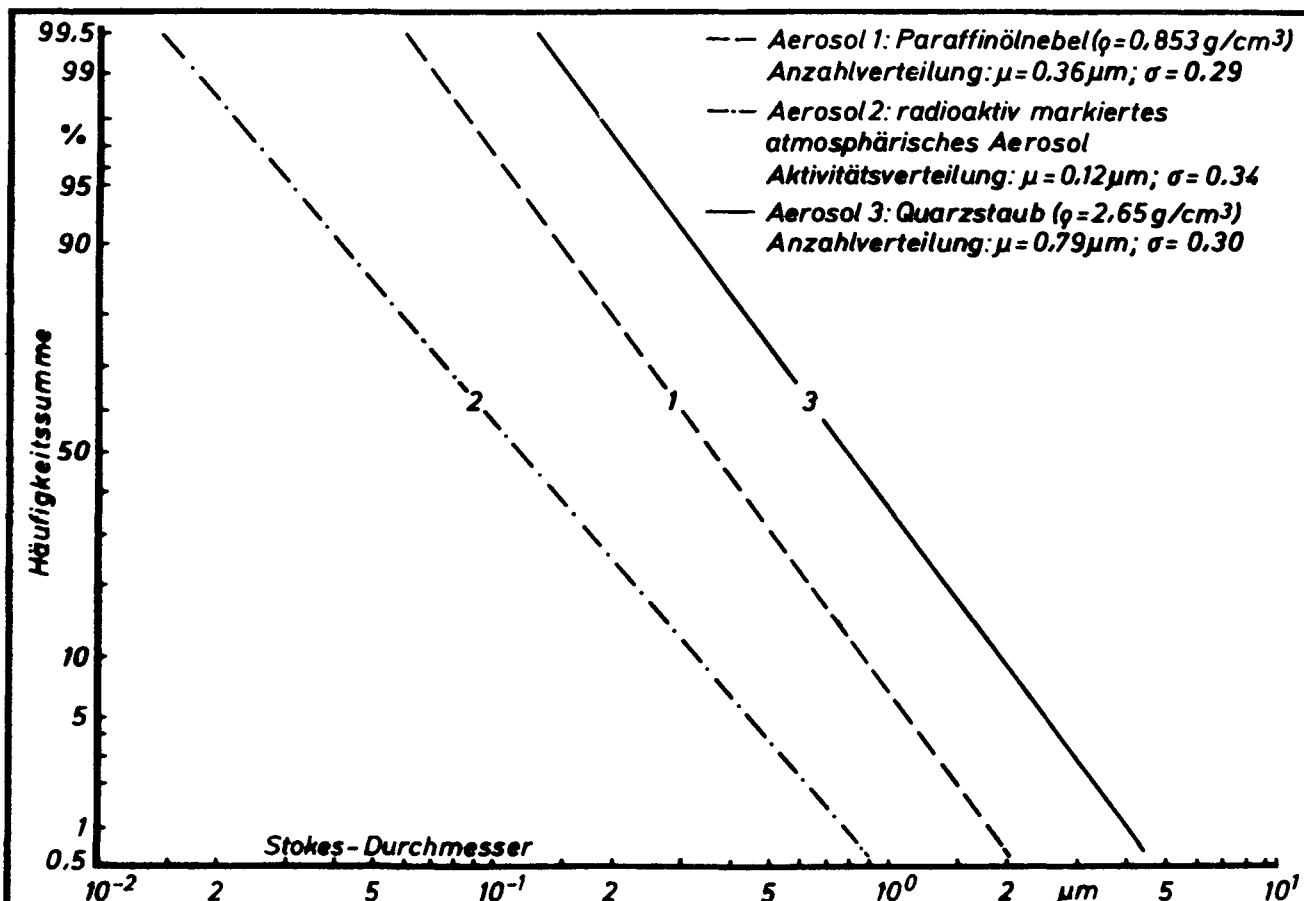


BILD 6 Anlage zur Prüfung von Schwebstofffiltern mit Quarzstaub



1976	Partikelgrößenverteilungen der Prüfaerosole 1, 2, 3	STF Ref. 1.1
------	---	-----------------

BILD 8

Schwebstoff- filterklasse	Maximaler mittlerer Durchlaßgrad $D_g$ und maximaler Einzeldurchlaßgrad $D_{gmax}$ für Prüfaerosol	1	2	3	Visueller Ölfadentest
Q	$D_g$	15	30	5	entfällt
R	$D_g$	2	10	1	entfällt
S	$D_g$	0,03	0,03	1	visuell erkennbare Ölfäden dürfen nicht austreten
	$D_{gmax}$	0,08	0,08	1	
1976	Grenzwerte der Durchlaßgrade zur Klassifikation der Schwebstofffilter-Elemente				STF Ref. 1.1



CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA METHODE D'ESSAIS  
DES FILTRES A AIR AU CHLORURE DE SODIUM

J. Delhaye et J. Michel

CETIAT

Gif-sur-Yvette - FRANCE

**RESUME.** La méthode d'essai développée initialement par la Chemical Defence Establishment Porton Down et modifiée ensuite au Atomic Energy Research Establishment de Harwell a été dans son principe retenue comme méthode d'essai des filtres à haute efficacité par le Comité Européen des Constructeurs de Matériel Aéronautique (EUROVENT).

Cette méthode est aussi étudiée dans le cadre de l'ISO.

Le Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques (CETIAT) qui exploite cette méthode a relevé des imperfections qui affectent la reproductibilité; il propose des modifications qui doivent faire que la méthode soit reproductible non seulement dans un même laboratoire mais aussi d'un laboratoire à l'autre. Ensuite il sera alors possible de mener à bien les études de comparaison avec les méthodes voisines notamment la méthode à la fluorescéine (norme NF X 44 011).

Les travaux du CETIAT ont principalement porté sur :

- la génération de l'aérosol,
- les champs de vitesses des sections de prélèvement
- l'étalonnage du photomètre.

**KURZFASSUNG.** BEITRAG ZUR VERBESSERUNG DER NaCl - PRÜFMETHODE FÜR LUFT-FILTER. Das ursprünglich vom Chemical Defence Establishment Porton Down und später vom Atomic Energy Research Establishment in Harwell abgeänderte Erprobungsverfahren wurde vom Europäischen Komitee Hersteller von lufttechnischen und Trocknungsanlagen (EUROVENT) im Prinzip als Prüfverfahren für Hochleistungsfilter übernommen.

Das Verfahren wurde auch im Rahmen der ISO untersucht.

Das mit diesem Verfahren arbeitende Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques (CETIAT) hat die Reproduzierbarkeit beeinträchtigende Mängel festgestellt und hat deshalb Änderungen vorgeschlagen, die es ermöglichen sollen, dass das Verfahren nicht nur im gleichen Labor sondern auch in verschiedenen Labors reproduzierbar ist. Danach wird es möglich sein, Vergleichsuntersuchungen mit ähnlichen Verfahren, insbesondere mit dem Fluorescein-Verfahren (franz. Norm NF X 44 011), erfolgreich durchzuführen.

Die von CETIAT durchgeführten Arbeiten betrafen vor allem :

- die Erzeugung des Prüfaerosols,
- die Geschwindigkeitsverteilung an den Probenahmestellen,
- die Kalibrierung des Photometers.

**SUMMARY.** A CONTRIBUTION TO THE IMPROVEMENT OF THE SODIUM CHLORIDE AIR FILTER TEST METHOD. The essential feature of the test method initially developed by the Porton Down Chemical Defence Establishment and modified subsequently by the Atomic Energy Research Establishment at Harwell have been adopted for the testing of high efficiency filters by the European Committee of Manufacturers of Equipment for Air Treatment (EUROVENT).

The method has also been studied in the context of the ISO.

The Heating and Ventilation Industries, Technical Centre (CETIAT), which uses this method, has drawn attention to a number of imperfections which affect reproductibility. It proposes changes which should have the effect of making the method reproducible not only in a given laboratory but also from one laboratory to another. It will then be possible to carry out studies

to compare this method with other similar ones, in particular the fluorescin method (Standard NF X 44 011).

The work carried out by CETIAT was concerned mainly with the following :

- aerosol generation,
- the velocity spectra in sampling sections,
- photometer calibration.



Parmi toutes les méthodes proposées à l'étude des travaux d'EUROVENT dans le domaine des filtres à très haute efficacité dits "absolus", la méthode par photométrie de flamme au chlorure de sodium dans sa variante HARWELL a été retenue et adoptée après de nombreux travaux et visites de laboratoires ou d'établissements déjà équipés de différents autres bancs d'essais de filtres à air.

Le CETIAT (Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques) ayant pour mission notamment d'étudier les moyens de garantir la qualité des produits par des essais suivant des méthodes normalisées, a, pour appliquer cette décision, équipé ses laboratoires d'un banc conforme à cette méthode, appuyé dans cette voie par les constructeurs français et européens de filtres à air.

Le CETIAT est en effet le support technique de ces constructeurs notamment dans le cadre d'EUROVENT (Comité Européen des Constructeurs de Matériel Aéronautique), organisme groupant les constructeurs de 12 pays, dont le but essentiel est d'étudier et d'adopter des méthodes d'essais en vue d'établir des bases communes d'évaluation des caractéristiques des produits. Le CETIAT de plus, participe activement aux travaux des réunions internationales de l'ISO où il siège en tant que représentant de la FRANCE.

Dans le domaine de la filtration, le CETIAT a depuis quelque temps, entrepris des travaux de recherche ayant pour but d'étendre les possibilités de la méthode au chlorure de sodium, adoptée à EUROVENT. En effet, la méthode originale telle qu'elle est décrite dans le document 4/4 de cette association, ne s'applique qu'à l'essai d'éléments filtrants, dont le débit unitaire maximal est de 1000 CFM, soit  $1700 \text{ m}^3/\text{h}$ , alors que la plupart des filtres concernés ont à ce jour un débit proche du double.

Pour répondre à ce problème, les principaux travaux entrepris au CETIAT ont donc porté sur les points suivants :

- Amélioration des circuits aéronautiques,
- Amélioration de l'étalonnage du banc d'essai,
- Amélioration du système de génération.

## 1 - AMELIORATION DES CIRCUITS AERAIQUES

Compte tenu de la conception retenue, c'est-à-dire circuit en boucle, les recherches ont porté sur l'amélioration des profils de vitesse au droit des sections de mesure et sur la meilleure implantation possible des systèmes mélangeurs, des dispositifs de prélèvement et des organes de mesure du débit.

Dans ce domaine, nous sommes amenés à proposer les deux modifications suivantes :

- le report du système de mesure de débit après la sonde aval. Ceci permettrait de diminuer la pression totale nécessaire au ventilateur, tout en conservant la pression utile au prélèvement.
- la possibilité d'installer en aval du caisson de mesure un coude et une conduite respectant les principes appliqués en amont, ceci permettant de diminuer notablement l'encombrement du banc.

## 2 - AMELIORATION DE L'ETALONNAGE DU BANC D'ESSAI

Pour que les résultats obtenus sur différents bancs d'essais soient comparables, il est nécessaire, avant toute chose, que la méthode d'étalonnage du photomètre soit parfaitement définie et reproductible.

Ceci n'est pas le cas, et plusieurs auteurs l'ont déjà mentionné, pour la méthode d'étalonnage par dilution de l'aérosol décrite dans la norme. Nous avons proposé une extension de la méthode par dilution de la solution pour l'étalonnage aux faibles perméances. On obtient ainsi des résultats parfaitement reproductibles. Le coût du matériel d'étalonnage est par ailleurs réduit.

### Méthode par dilution de l'air

On constate que la dispersion des résultats obtenus par la méthode de dilution de l'air est telle que la perméance équivalente n'est définie qu'à un facteur 2 près environ. De plus, la courbe fournie avec le banc se trouve en dehors des courbes limites obtenues par la suite.

L'examen du schéma de principe de fonctionnement montre que cette dispersion peut être attribuée aux principales causes suivantes :

- instabilité du générateur,
- instabilité du banc de dilution,
- évolution dans le temps du système de détection causée soit par des modifications des caractéristiques du brûleur, soit par un vieillissement de l'électronique associée.

#### Etalonnage par dilution de la solution

L'importance des fluctuations affectant les 7 rotamètres du banc de dilution de l'aérosol et les risques de contamination de ce banc nous ont conduit à mettre en cause en premier lieu la méthode par dilution de l'aérosol et à expérimenter une méthode d'étalonnage par dilution de la solution.

Les travaux relatifs à cette méthode, entrepris en collaboration avec M. HODGE de l'AERE HARWELL ont donné des résultats plus satisfaisants dans la mesure où on constate une nette diminution de la dispersion, puisque les écarts limites dans la gamme considérée ne sont plus que de l'ordre de 15 %.

#### Méthode utilisée actuellement

Deux causes pouvaient encore expliquer la dispersion des résultats obtenus, d'une part les variations des caractéristiques du brûleur et du système de détection, d'autre part les variations de génération de l'atomiseur.

Etant donné la grande stabilité des mesures effectuées en "flamme propre" nous avons plutôt cherché à mettre en évidence des variations éventuelles dans la génération de l'atomiseur. Pour ce faire, nous avons interposé un filtre plan absolu dans le circuit d'étalonnage.

Nous avons mesuré la quantité de sel recueillie sur le filtre pour une génération de la solution de base, et mesuré le volume d'air correspondant grâce aux indications des rotamètres.

Nous avons constaté que les courbes d'étalonnage en concentrations relatives correspondaient à des concentrations réelles différentes, ceci s'expliquant par des régimes d'émission différents du générateur.

Nous avons alors établi la courbe d'étalonnage en fonction de la concentration réelle émise. On obtient alors une seule courbe reproductible. Cette méthode ne nécessite que l'utilisation d'un filtre à très haute efficacité non hygroscopique, d'une eau déminéralisée de bonne qualité et de récipients de stockage des solutions en quartz ou matière synthétique spéciale.

### 3 - AMELIORATION DU SYSTEME DE GENERATION

Compte tenu de la sensibilité de la méthode par pesée de l'aérosol de base, nous avons pensé que cette même méthode pouvait s'appliquer tout aussi aisément à la mesure de l'aérosol d'essais en amont du filtre, ceci dans le double but d'une part, de pouvoir comparer des grandeurs identiques, en l'occurrence des masses de sel dont le rapport correspond à la perméance du filtre, mais aussi et surtout, de pouvoir s'affranchir de la contamination importante qui résulte de la mesure de l'aérosol amont particulièrement au niveau des vannes et rotamètres. Pour ne pas, en effet, fausser les mesures aval ultérieures, il est indispensable de procéder régulièrement sinon systématiquement à un nettoyage de ces circuits.

Si on désire s'affranchir complètement de cette contrainte, il est nécessaire de séparer complètement les circuits correspondant aux mesures amont et aval du filtre et d'équiper le banc de deux ensembles de détection distincts.

Une solution de moindre coût consiste à faire une mesure pondérale par prélèvement sur filtre au niveau de la sonde de prélèvement amont.

Nous avons effectué de nombreuses mesures de masses émises pour différents débits. Les résultats obtenus qui sont reproductibles pour une solution donnée à des débits constants, nous ont montré par contre que pour différents débits, les masses émises n'étaient pas inversement proportionnelles à ces débits.

Ceci confirme ce que nous supposions, à savoir que l'écoulement d'air autour des générateurs influait sur la génération de l'aérosol, celle-ci augmentant avec le débit du banc. Une autre confirmation a pu être établie à partir des mesures effectuées avec le spectrophotomètre à scintillation de BINEK. On observe en effet que le diamètre moyen de l'aérosol émis varie avec le débit.

Nous procédons actuellement à une expérimentation sur un système de génération placé hors du conduit. Les premiers résultats sont plus qu'encourageants et feront l'objet d'une proposition à EUROVENT et à l'AFNOR, en vue d'appliquer ce système à la norme retenue.



MESURE EN LABORATOIRE ET EN USINE DE L'EFFICACITE DES  
ELEMENTS FILTRANTS ET DU PAPIER FILTRE PAR LA METHODE  
A L'AEROSOL DE FLUORESCEINE SODEE (URANINE)  
NORME AFNOR NFX 44 011

J. Dupoux et A. Briand  
Commissariat à l'Energie Atomique (C. E. A.)  
Gif-sur-Yvette - FRANCE

RESUME. Bien qu'essentiellement destinée à la mesure in situ de l'efficacité des installations d'épuration à grand débit d'air, la méthode à l'aérosol de fluorescéine sodée est également utilisée pour la mesure en laboratoire et en usine de l'efficacité des éléments filtrants et du papier filtre.

On expose les possibilités de cette méthode et du matériel utilisés dans ces conditions.

Une comparaison est faite entre cette méthode et les méthodes concurrentes.

KURZFASSUNG. LABOR- UND HERSTELLERSEITIGE MESSUNGEN DER ABSCHIEDELEISTUNG VON FILTERELEMENTEN UND FILTERPAPIER MIT HILFE DES NATRIUMFLUORESCEINAT-(URANIN)-AEROSOLVERFAHRENS. NORM AFNOR NFX 44 011. Obwohl das Natriumfluoresceinat-Aerosolverfahren hauptsächlich für In-situ-Messungen der Abscheideleistung von Luftreinhalteanlagen mit grossem Durchsatz dient, wird es auch zu Labor- und Betriebsmessungen der Abscheideleistung von Filterelementen und Filterpapier herangezogen.

Ueber die Möglichkeiten dieses Verfahrens und das dabei benutzte Material wird berichtet.

Ferner wird das Verfahren mit anderen angewandten Verfahren verglichen.

SUMMARY. MEASUREMENT IN THE LABORATORY AND IN THE FACTORY OF THE EFFICIENCY OF THE FILTER ELEMENTS AND FILTER PAPER BY THE SODIUM FLUORESCEINATE URANINE METHOD. AFNOR NFX 44 011 STANDARD. Although basically designed for in-situ efficiency measurement of high throughput air decontamination equipment, the fluoresceinate sodium method is also used to measure the efficiency of filter paper either in the laboratory or at the manufacturer's. A description is given of the potential scope of this method and of the equipment used in the latter case.

A comparison is made between this and alternative methods.

## 1 - INTRODUCTION

The safety of nuclear installations in relation to the environment is based substantially on the efficiency of filtration installations. It so happens that the efficiency of these installations may be reduced, sometimes significantly, by several causes : defective filter elements, incorrect assembly, operational damage.

While it is necessary to perform in situ inspection of the quality of filter elements and of their assembly (1), it is just as important to eliminate defective filter elements before they are mounted in the installation. As a rule, this elimination is carried out by the filter element manufacturer.

The services of a specialized laboratory may also be employed in the form of a conformity check of these elements. This inspection involves the verification of a number of characteristics (2). Measurement of the efficiency of the filter elements, before and after they are subjected to a number of tests, constitutes the basis of this inspection.

This discussion deals with the soda-fluorescein aerosol method (Afnor Standard NFX 44.011) used for the measurements in the specialized laboratory of the Section Technique d'Etudes de la Pollution dans l'Atmosphère et dans les Mines of the CEA.

## 2 - PREREQUISITE CONDITIONS

The following features are mandatory for a method used to measure the effectiveness of very high-efficiency filters in the laboratory :

- reproducibility ; this implies especially that the aerosol is reproducible ;
- no changes in the filter during the test, particularly by clogging ;
- selectivity ;
- sensitivity ;
- use in certain humidity and temperature conditions.



For plant inspection, the following features must be added :

- ease of use ,
- speed in obtaining results,
- minimum cost.

### 3 - THE SODA-FLUORESCIN AEROSOL METHOD

#### 3.1 - Characteristics of the method

This is the same method as that used for in situ inspections of filtration installations. The reader is hence referred to Paper 14 to be read at this Seminar.

#### 3.2 - Features of the method

##### 3.2.1 - Reproducibility

Using a test bench with the same generator, laboratory measurement of the efficiency of very high-efficiency filter cells are taken to better than  $\pm 5$  %.

This is the mean efficiency deviation provided by two successive tests on a number of filter cells.

It is understood that :

- the nominal air flow rate through the cell is constant,
- the enrichment of the solution concentration remains lower than 10 % for the duration of the two tests, or a maximum of 5 hours,
- the generator supply pressure is regulated by means of a two-stage pressure regulator.

This good reproducibility is mainly derived by a rigorously constant particle size distribution of the aerosol upstream of the test cell.

This constancy is due to the following reasons :

- the generation principle of the aerosol is very simple. In principle, there is no risk of drift because of the absence of any moving parts or any electronic or electromechanical system ;

- as the generator is located outside the test circuit, its operation does not depend on the characteristics of the air stream ;
- the aerosol concentration is low,  $8.10^{-6} \text{ g.m}^{-3}$ , for a flow rate of  $3\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , and the aerosol is fine, thus minimizing errors due to anisokinetic sampling.

The rigorous constancy of the particle size distribution emitted by the same generator was confirmed at various intervals by using an SM 16 716 flame spectrophotometer produced by the Company SARTORIUS (figure 1). This instrument is used for calibrating generators of French manufacture.

### 3.2.2 - Absence of filter clogging during the test

For a test lasting ten minutes, the weight of aerosol retained by a filter cell is equal to 12.5 mg or  $3.10^{-2} \mu\text{g}$  per  $\text{cm}^2$  of filtration area, which is very reliable.

### 3.2.3 - Selectivity

Selectivity depends heavily on the particle size distribution of the aerosol. The soda-fluorescein aerosol method, in which the particle size distribution includes a high proportion of small particles, leading to a mass median diameter of  $0.15 \mu\text{m}$ , for which the filter efficiency is a minimum, has every chance of being selective (3).

The tables in Figures 2 and 3 show the efficiency results involving miscellaneous filter papers at  $5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , using this method as well as those employing the  $0.3 \mu\text{m}$  DOP aerosol and sodium chloride aerosol. The sodium chloride aerosol tests (Standard BSI 3928) were performed in the CETIAT Laboratory in France. The DOP aerosol tests were performed in the United States by the filter paper manufacturer.

The soda-fluorescein aerosol method appears to be highly selective and also very rigorous, since the cleaning factors obtained are more reliable than with the other two methods.

### 3.2.4 - Sensitivity

The method is highly sensitive for the following reasons :

- measurement of samplings by fluorescence,
- highly penetrating aerosol,
- delayed measurement of samplings.

By increasing the sample volume downstream through an extension of the test period, it is possible to measure the efficiency of very high-efficiency filter cells placed in series, which is a very promising application for the future.

### 3.2.5 - Limitation of conditions of use

The relative humidity must remain below 80 % throughout the test circuit. The soda-fluorescein fluorescence characteristics are maintained up to 120°C.

## 3.3 - Use of the method in a filter element manufacturing plant

### 3.3.1 - Drawbacks

Certain drawbacks of the method, namely, the washing of sampling filters in a constant volume of ammonia-water, the cleaning of washing vessels and analysis cells, the duration of the analysis and the sampling, appear to hinder the use of the method in a filter element manufacturing plant. The method must also be performed by personnel who have achieved a degree of specialization, and requires a minimum of cleanliness.

It seems that the use of automation techniques can successfully eliminate these drawbacks.

The following example is interesting for comparative purposes. During the last in situ inspections at the Fessenheim nuclear power station, a single person

in a laboratory truck processed 28 sampling filters in four hours, corresponding to two special circuits at two tests per circuit. This involved identification of the filter-holders, filling the bottles, washing the filters, analyzing the solutions, and writing down the results and calculations of the aerosol concentrations.

As for the inspection tank for the cell at the rate of  $3\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , this requires a sampling of six minutes with the use of a gas meter with a nominal rate of  $12\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ , in order to measure a cleaning factor of 10,000 (penetration 0.01 %).

### 3.3.2 - Advantages

On the other hand, the method offers the advantage that the generation and sampling equipment is rugged and features great operating flexibility. Without any additional investment, it makes it possible to locate manufacturing defects in the production of filter elements, and to perform a rapid check of filter paper production at the paper mill.

#### 3.3.2.1 - Location of manufacturing defects in a filter element

The test principle is as follows (Figure 4).

At the exit of the filter element (1) which conveys air at a low flow rate (1/10 of the nominal flow rate) in order to produce laminar flow conditions, a strip of white alfalfa paper (2) is placed. The aerosol emitted by the spray nozzle of the generator is injected upstream of the test filter, without separator stages. If a hole (3) exists in the filter paper of the filter element, the aerosol-charged air streams penetrating this hole deposit a colored stain (4) on the paper strip. After sampling, the paper strip is observed with the naked eye, illuminated by a mercury vapor lamp (5) equipped with an optical safety filter (6). The location of the defects in the filter element are determined from the positions of the colored stains.

This operation is of great interest for the improvement of filter manufacturer.

### 3.3.2.2 - Rapid check of filter paper quality

This subjective test is based on the fact that the eye can observe a deposit exceeding  $2 \cdot 10^{-8}$  g deposited on  $10 \text{ cm}^2$  of filter paper and illuminated by a mercury vapor lamp.

To perform this test, the aerosol is generated upstream of a disc of filter paper with an area of  $100 \text{ cm}^2$  cut out of the reel just produced. All the aerosol passing through the disc is sampled on a sampling filter 47 mm in diameter.

The coloration of this sampling filter, illuminated by a mercury vapor lamp, is compared by the naked eye to the coloration of fluorescent standards (Figure 5). Verification that the filter paper cleaning factor is better than 10,000 (penetration 0.01 %) at the filtration velocity of  $5 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ , can be performed in two minutes.

Owing to the many uses of this method, a new, better performing generator has been developed (Figure 6). This makes it easier to generate coarse, medium or fine aerosols, as desired. Washing of the spray nozzle and separators is minimized and easier to perform.

The duration of self-contained operation of the new filter cartridges amounts to several hundred hours. Regulation and monitoring systems are built into the instrument.

## REFERENCES

- 1 - DUPOUX, J. and BRIAND, A.  
Mesure in situ de l'efficacité des installations filtrantes dans l'industrie nucléaire par la méthode à l'aérosol de fluorescéine sodée (uranine). Norme AFNOR NFX 44.011.  
Seminar on absolute filtration of aerosols in the nuclear industry, Aix-en-Provence, 22 to 25 November 1976.
  
- 2 - PRADEL, J., DUPOUX, J. and CHAPUIS, A.M.  
Choix et recette des systèmes d'épuration de l'air dans les installations nucléaires.  
Seminar on absolute filtration of aerosols in the nuclear industry, Aix-en-Provence, 22 to 25 November 1976.
  
- 3 - DUPOUX, J. and BRIAND, A.  
Air filter efficiency as a function of particle size and velocity.  
Water, Air and Soil Pollution, 3, 537-549 (1974).

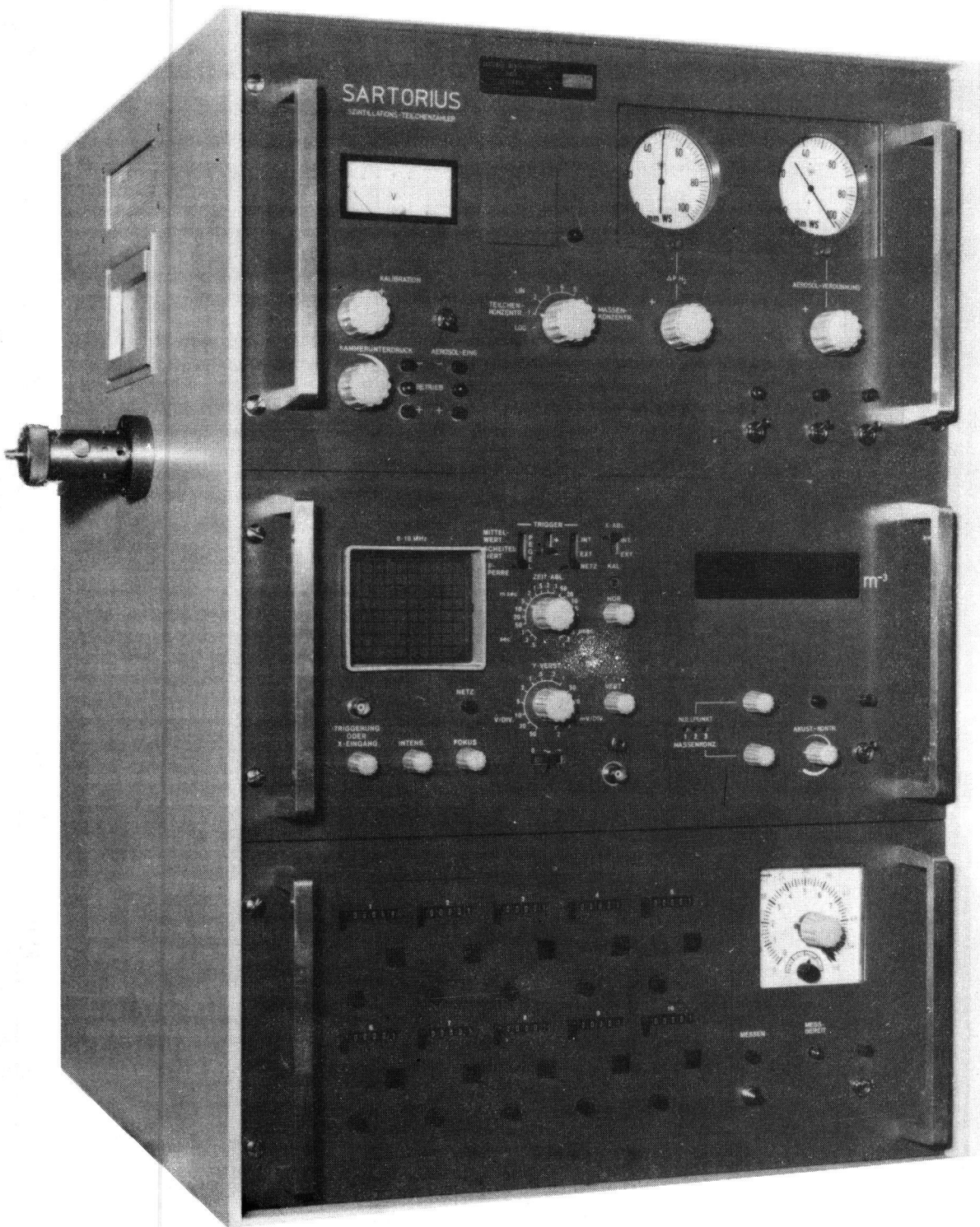


Figure 1

Instrument for measuring the particle size distribution of soda-fluorescein aerosol

Figure 2

Comparison of efficiencies at  $5 \text{ cm.s}^{-1}$  of filter paper to soda-fluorescein aerosol (Standard NFX 44.011)  
and to sodium chloride aerosol (Standard BSI 3 928)

Filter paper		Sample number	Sodium chloride		Soda-fluorescein	
Type	DOP efficiency of paper type in %		Cleaning factor	Efficiency %	Cleaning factor	Efficiency %
1	99,995	1	18 000	99,994	6 700	99,985
		2	17 500	99,994	7 300	99,986
2	99,8 à 99,97	1	17 100	99,994	6 700	99,985
		2	12 000	99,992	5 050	99,980
3	99,999	1	11 500	99,991	5 350	99,981
		2	11 300	99,991	5 350	99,981
4	99,9	1	645	99,845	158	99,367
		2	625	99,840	148	99,324



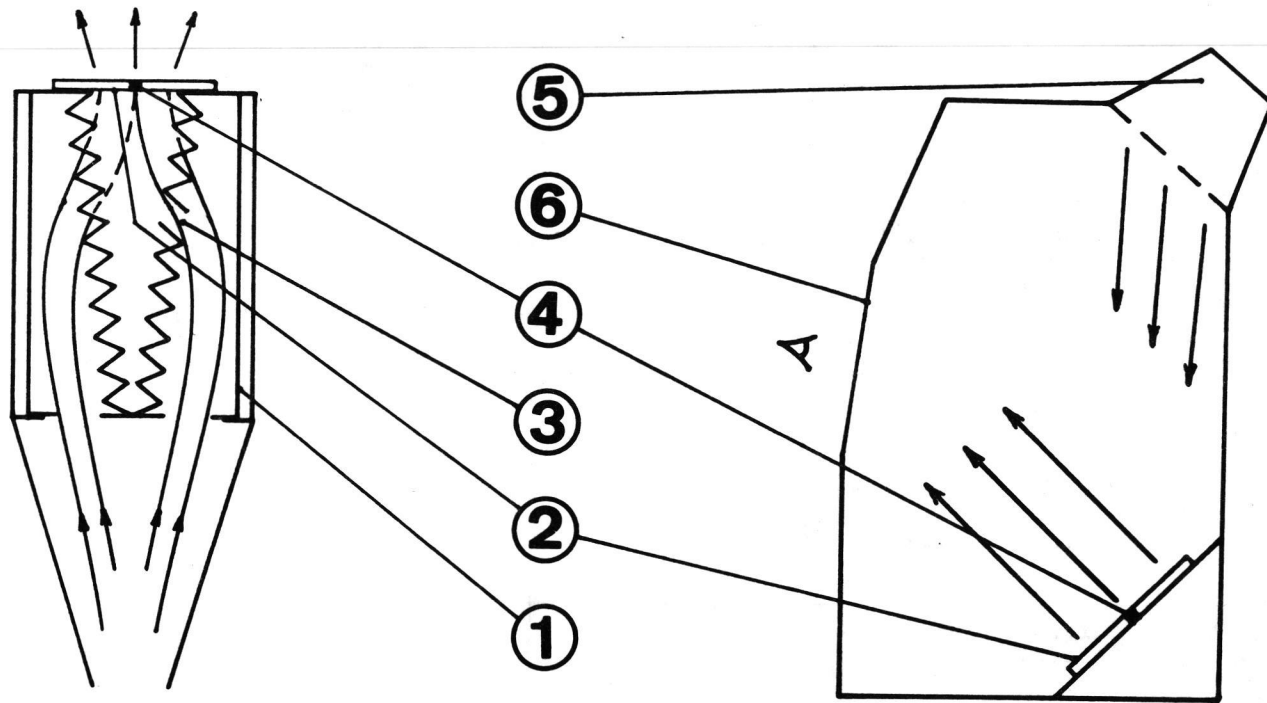
Figure 3

Comparison of efficiencies at  $5.3 \text{ cm.s}^{-1}$  of Dexter filter papers to soda-fluorescein aerosol (Standard NFX 44.011)  
and to DOP aerosol (Standard MIL-STD 282)

Filter paper		Sample number	D O P <sup>+</sup>		Soda-fluorescein <sup>++</sup>	
Type	DOP efficiency of paper type in %		Efficiency %	Cleaning factor	Efficiency %	Cleaning factor
1	99,99	5	99,995	$2 \cdot 10^4$	99,985	$6,95 \cdot 10^3$
		7	99,994	$1,66 \cdot 10^4$	99,982	$5,65 \cdot 10^3$
2	99,99	2	99,992	$1,25 \cdot 10^4$	99,967	$3,06 \cdot 10^3$
		3	99,996	$2,5 \cdot 10^4$	99,981	$5,35 \cdot 10^3$
3	99,99	9	99,998	$5 \cdot 10^4$	99,991	$1,15 \cdot 10^4$
		10	99,996	$2,5 \cdot 10^4$	99,986	$7,65 \cdot 10^3$
4	99,985	14	99,988	$8,3 \cdot 10^3$	99,959	$2,45 \cdot 10^3$
		16	99,996	$2,5 \cdot 10^4$	99,985	$6,9 \cdot 10^3$
5	99,995	18	99,998	$5 \cdot 10^4$	99,989	$9,45 \cdot 10^3$
		19	99,992	$1,25 \cdot 10^4$	99,983	$6 \cdot 10^3$

+ Mean count diameter  $0,30 \mu\text{m}$

++ Mass median diameter  $0,15 \mu\text{m}$



sampling

- 1. filter element
- 2. filter paper
- 3. hole

observation

- 4. soda-fluorescein deposit
- 5. mercury vapor lamp
- 6. optical filter

Figure 4

Location of manufacturing defects in filter elements

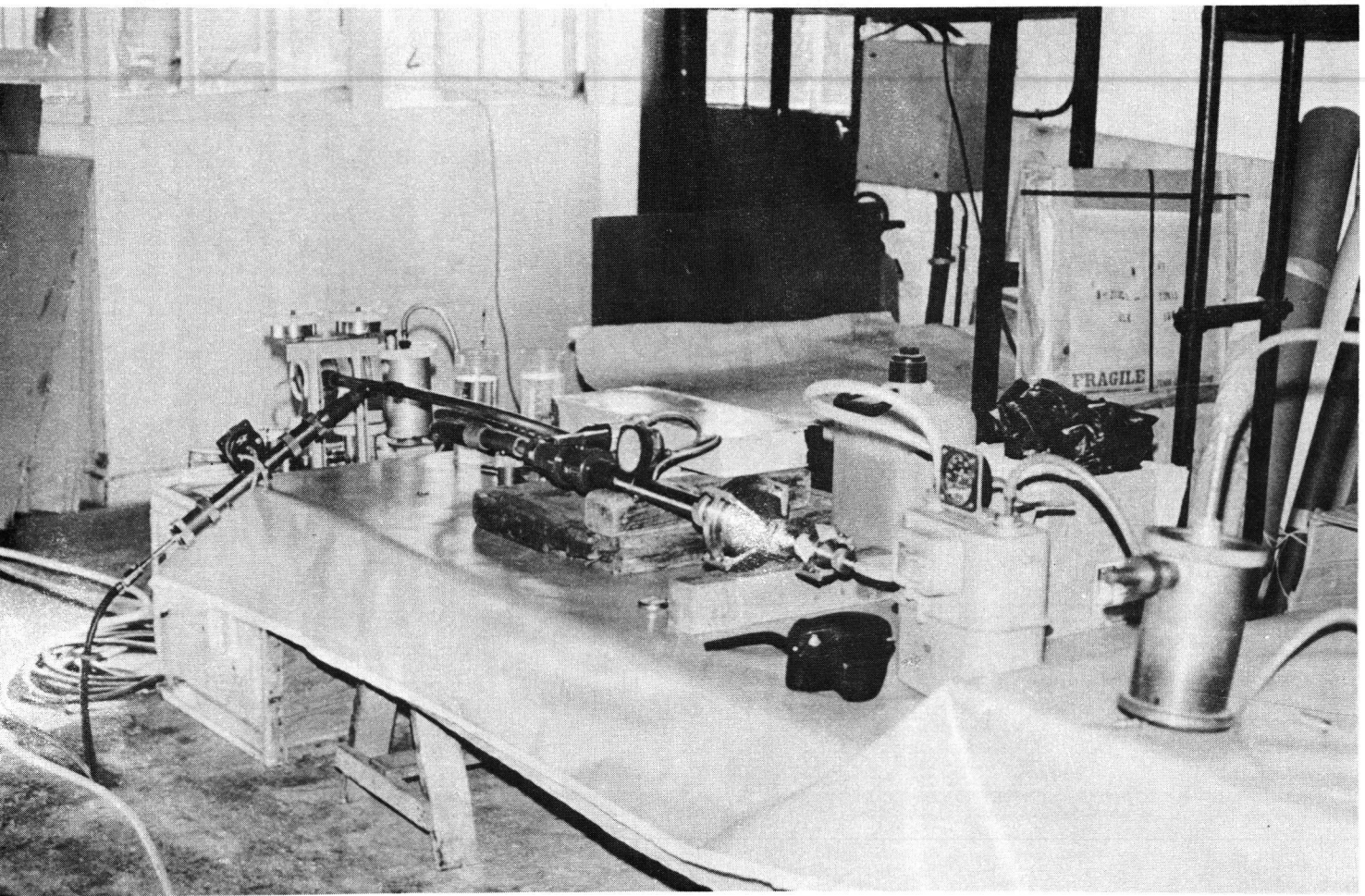


Figure 5 Test circuit for rapid testing of filter paper quality in a paper mill

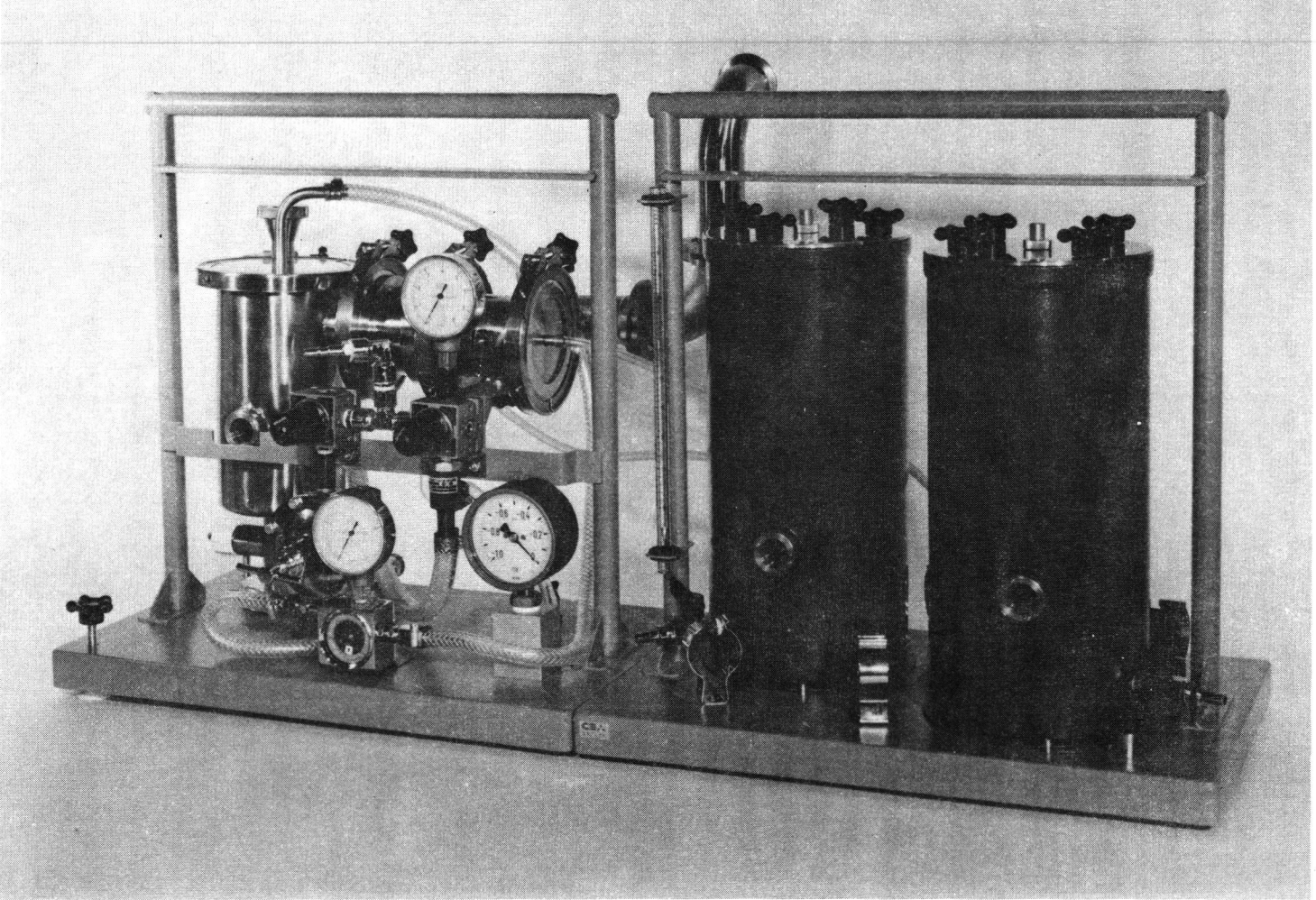


Figure 6  
New model of soda-fluorescein aerosol generator

IN-SITU AND LABORATORY TESTING OF HEPA FILTERS IN ITALY \*

M. Mazzini  
University of Pisa  
Pisa - ITALY

SUMMARY. This paper deals with the Italian standards for HEPA filter classification (with reference to DOP, uranine or condensation nuclei test methods) and for in-situ test procedures (using the DOP or the uranine method).

The results are given also for tests both in the laboratory and in-situ of HEPA filters for the EUREX, ITREC and ESSOR nuclear plants; from these results some useful observations can be made on the comparability of different methods and sampling arrangements.

KURZFASSUNG. BETRIEBS- UND LABORERPROBUNG VON HEPA-FILTERN IN ITALIEN. Der Bericht betrifft die italienischen Normen für die Klassifizierung von HEPA-Filtern (unter Verwendung der DOP-, Uranin- oder Kernkondensationsverfahren) und für entsprechende Betriebserprobungen (mittels DOP- oder Uranin-Verfahren). Ausserdem wird über die Ergebnisse von Labor- und Betriebserprobungen der HEPA-Filter für die kerntechnischen Anlagen EUREX, ITREC und ESSOR berichtet. Hiermit lässt sich ein aufschlussreicher Vergleich der verschiedenen Verfahren und Probenahmesysteme anstellen.

RESUME. ESSAIS IN SITU ET EN LABORATOIRE DES FILTRES ABSOLUS EN ITALIE. Ce rapport traite des normes italiennes de classification des filtres absolus (HEPA) (en utilisant les méthodes au DOP, à l'uranine ou celle des noyaux de condensation) ainsi que des essais in situ (au DOP ou à l'uranine).

Il reproduit en outre les résultats des essais de filtres HEPA en laboratoire et in situ d'installations nucléaires : EUREX, ITREC, ESSOR. Ces expériences permettent quelques observations utiles sur la comparabilité des différentes méthodes et procédés de collecte.

\* Work sponsored by CNEN, by CNR and by CCE (CCR Euratom, Ispra)

## 1. GENERAL

During the past 10 years in Italy there has been a large diffusion of nuclear plants (plants for fuel manufacture and re-process, hot laboratories, power or research reactors) whose safety depends on the correct working of the air filtration systems.

HEPA filters of satisfying characteristics for the various uses of filtration systems are available on the market. Nevertheless it is necessary to verify that:

- a) the filters are correctly constructed and correspond to the requirements in the actual conditions of use;
- b) the filters are correctly installed;
- c) the filtering installation maintains required efficiency characteristics for the life-time of the filtration system.

For fulfilment of the requirements mentioned above under point a) it is sufficient to carry out tests in laboratory on each filter, while for requirements b) and c) it is necessary to test the filtering installation "in situ", at suitable intervals of time.

To make the execution of such tests possible, without assistance of foreign technicians, in 1967 the then called Safety and Control Division<sup>(°)</sup> of CNEN and the Nuclear Engineering Institute of the University of Pisa believed it necessary to develop a proper program of study and research. The program's main purpose was to set up methods allowing practical and credible testing of filter efficiency.

The development of this research program has allowed the standardization in Italy of efficiency tests on HEPA filters.

Regarding the "in situ" efficiency tests the Standard UNI 7496 (1) foresees the possibility of using the DOP method (ac-

---

(°) Today Central Direction for Nuclear Safety and Health Protection (DISP)

ording to Standard N-101.1.1972) (2) or the uranine method (according to Standard NFX 44-011) (3).

For filter classification in laboratory, the regulation project of the Italian Thermotechnic Committee (CTI)(4), actually in course of approval by the UNI, foresees the possibility of using, besides the two mentioned ones, the method of condensation nuclei,formerly proposed by Davies and Clifton (5).From the above mentioned consideration,it is clear that in Italy the greatest freedom of choice has been left among the various testing methods. The exception of the NaCl method is a provisional one, as the Commission of CTI took into account that the corresponding British Standard (6) was to be revised.

The decision to not standardize the use of the condensation nuclei method for "in situ" tests derives from the demonstration that sometimes results obtained with such a method are too conservative as regards other standard methods (see following paragraphs 3 and 4). In addition it is necessary also to remark that the ducts downstream the filtration systems usually are in depression: a loss from the atmosphere to the duct would be "seen" by the Pollak counter as aerosol passing through the filtration system.

## 2. TEST CIRCUITS AVAILABLE FOR HEPA FILTER CLASSIFICATION

The Nuclear Engineering Institute of the University of Pisa has two circuits for testing HEPA commercial filters.

The first, bought from Vokes Ltd was designed according to the British Standard 3928 (6) and equiped for the sodium chloride method; successively it was adapted for carrying out tests with the DOP, uranine and condensation nuclei methods. Fig. 1 shows a photograph of the circuit. With such a circuit it's possible to test commercial filters of three different dimensions (38 x 38 x 23 cm, 60 x 60 x 18 cm and 60 x 60 x 30 cm), in the following conditions (7) (8):

- flow-rate up to 2500 m<sup>3</sup>/h;
- temperature from ambient up to 60° C;
- relative humidity variable (by regulating the temperature) from ambient to some %.

This circuit is actually the only one in Italy on which classification tests of HEPA filters can be performed.

A second test circuit was obtained with an appropriate design of the recycle circuit of the PSICO 10 facility(9)(10). In Fig. 2 the flow-sheet of the circuit is shown; in the actual arrangement and eventually using also the PSICO 10 container, this circuit permits the execution of tests with flow-rate up to 1000 m<sup>3</sup>/h, at temperatures between atmospheric and 100 °C, in depression (up to -0.1 ate) and at relatively elevated pressure (up to 1 ate), using as transport gas, air at different levels of humidity (up to saturation).

In particular, the possibility of operating with the circuit in depression was exploited for carrying out tests with radio-active aerosol (11) and for setting up the methods for the test of the filters used for the retention of iodine(12).

### 3. EXPERIMENTS PERFORMED IN LABORATORY

The first aim of the activity, carried out by the Nuclear Engineering Institute of Pisa University relative to HEPA filters, was to set up methods to perform efficiency tests, either in laboratory or "in situ". The work has involved a series of tests to evaluate the performance and verify the limits of the DOP, sodium chloride, uranine and condensation nuclei methods. An analysis of these tests is reported (8).

A comparison of the various methods was carried out in laboratory on the same filter in the same conditions of flow-rate (1700 m<sup>3</sup>/h), relative humidity (47 %) and temperature (22 °C); the following conclusions were drawn:

- the values of the efficiency obtained with DOP, sodium chlo-



ride and uranine methods are in good agreement (within the experimental error);

- the condensation nuclei method, compared with the sodium chloride one, provides conservative efficiency measurements, particularly at high values of penetration, while for low penetrations the values tend to agree (Fig. 3).

Other results, which confirm the above-mentioned conclusions, have been obtained by carrying out experiments (11) or in classification tests of HEPA filters; in particular the results obtained with the condensation nuclei aerosol are sometimes such as to cause concern (see (11) - Tab. III).

#### 4. TESTS "IN SITU" OF FILTRATION INSTALLATIONS

The number of initial or periodic tests conducted in Italy by various bodies (CNEN, Nuclear Engineering Institute of University of Pisa, etc.) is so large that it is impossible to explain the results here (as they are not all known to the author).

Among those available, the most interesting are the following:

- a) tests carried out in 1969 at EUREX plant (CNEN-Saluggia);
- b) tests carried out on the filters of the ESSOR Plant (EURATOM C.C.R. of Ispra);
- c) tests carried out recently on different nuclear plants.

Other results are reported in (13).

##### a) Tests carried out in 1969 at EUREX plant

It was thought to report this case because it is the only one (known to the author) of the use "in situ" of different methods (DOP, uranine and condensation nuclei). It was carried out in order to have a concrete vision of the possibilities and limits of such methods on a plant whose characteristics (flow-rate about 53.000 m<sup>3</sup>/h) are critical.

The filters of the ventilation line have dimensions 60 X.

x 60 x 30 cm and are assembled in three baskets of nine units each (Fig. 4). The tests were performed on two filter baskets, since at that time the third basket was empty. Table I shows the test results.

The method which proved to be the most practical and which provided a more immediate reading was the DOP one.

Also the condensation nuclei method gave satisfying results and effectively does not feel the difficulty owed to the large flow-rate of air; the measured values of efficiency, however, are lower than those obtained with the DOP method as already found in laboratory experiments. \*

#### b) Tests carried out on the filters of the ESSOR plant

The filters of the ventilation circuit of the ESSOR containment system are assembled (5 by 5) in 10 baskets; 8 baskets work simultaneously in parallel, to treat a total flow-rate of 65.000 m<sup>3</sup>/h.

The particular geometry of the ducts(Fig. 5) suggested preliminary research to choose among various sampling devices (Figs 6, 7), the one apt to assure sufficient precision and reliability in the measurement of aerosol concentration.

The tests were performed with the DOP method, changing in sequence the sampling device; note that the section of the upstream branch is square, and so it is possible to use all the suggested devices (Figs 6, 7); downstream, on the contrary, the section is circular and it is not possible to use the distribution box of Fig. 7

The analysis of the obtained results (Table II) allows to affirm that:

- concerning the downstream sampling, a central probe alone (of type of Fig. 6d) gives a good measurement, substantially equivalent to the one obtained by a set of 3 probes of the same type placed at 120°; in contrast, the type of probe

\* \_\_\_\_\_  
The results of Uranine method are in good agreement with those of DOP method; the measurements need accurate chemical analysis.

of Fig. 6c is unsuitable, presumably for the assymetry of flow in the duct.

- the upstream sampling, carried out by one central probe (type of Fig. 6d), even if the measurement shows a certain instability, allows a good measurement, comparable to the one obtained with the distribution box; the use of a set of two crossed probes does not reduce the instability of the measurements. It is inadvisable to use anisokinetic central sampling (Fig. 6a) due to the inaccuracy and oscillation of the measurements.

c) Tests recently carried out on different nuclear plants

The Inspection Division of the DISP of CNEN has courteously supplied the results of the tests carried out recently on filtration systems installed in nuclear plants of different types (hot laboratories, plants for combustible manufacturing and processing, research and power reactors). In Table III such results are reported, with short and exhaustive notes.

5. CONCLUSION

The research carried out at the Nuclear Engineering Institute of the University of Pisa and the subsequent tests carried out on the plants have shown which should be the characteristics the methods for efficiency determination of filters for nuclear applications.

About "in situ" tests, disregarding the type of plant in which the filtration system is installed, the test method should:

- be practical, i.e. the necessary instruments should be easily transportable and allow the measurements in a reasonably short time;
- be economical, that is, apart from instrumentation cost, the execution of the tests must be easy and require few means and staff;
- permit the accomplishment of the tests in the actual

- working conditions of the filters;
- not cause damage to filters or the damage must at least be of little consequence;
  - give sure and repeatable measurements.

On such a basis the choice for the standardisation of the methods for "in situ" tests was accomplished; it should be noted that the method generally used is the DOP one.

The above-mentioned requirements, with the exception of the transportability, are effective also for the classification tests carried out in laboratory. Since the aerosol granulometry and nature affect the efficiency of the HEPA filters (11), there are doubts about doing such classifications using only one aerosol: it might be opportune to use simultaneously different aerosols as is done in Germany (14).

## REFERENCES

1. - UNICEN  
"Impianti Nucleari. Collaudo di efficienza dei sistemi fil  
tranti per particelle installati nei condotti di ventila  
zione"  
Norma UNI 7496; December 1975.
2. - ANSI  
"Efficiency testing of air cleaning systems containing de  
vices for removal of particles"  
Standard N 101.1.1972.
3. - ANFOR  
"Méthode de mesure de l'efficacité des filtres au moyen  
d'un aérosol d'uranine (fluorescéine)"  
Norme NF X 44-011; May 1972.
4. - COMITATO TERMOTECNICO ITALIANO (CTI)  
"Filtri d'aria per particelle ad alta ed altissima effi  
cienza - Prova in laboratorio e classificazione"  
(Project of standard).  
La Termotecnica, n° 9; September 1974.
5. - DAVIS, R.E., CLIFTON, J.J.  
"A New Method for in Situ Testing High Efficiency Air Fil  
ters Using Condensation Nuclei as the Test Aerosol"  
Filtration and Separation, pages 473-479; November 1966.
6. - BRITISH STANDARD INSTITUTION  
"British Standard Method of Test for Low Penetration Air  
Filters"  
B.S. 3928; London 1965.
7. - MUZZI F. et al.  
"Il controllo dei filtri assoluti installati sugli impian  
ti nucleari"  
Notiziario CNEN, n. 10; October 1969.

8. - ISTITUTO DI IMPIANTI NUCLEARI DELL'UNIVERSITA' DI PISA  
"Ricerca sperimentale sulla messa a punto di un metodo per la determinazione dell'efficienza dei sistemi filtranti installati nei circuiti di ventilazione degli impianti nucleari"  
Tipografia Editrice Pisana; 1968.
9. - ISTITUTO DI IMPIANTI NUCLEARI DELL'UNIVERSITA' DI PISA  
"Ricerche sulla sicurezza degli impianti nucleari"  
Rapporto semestrale 1 gennaio-30 giugno 1969.  
Tipografia Editrice Pisana; december 1969.
10. - GUERRINI B. et al.  
"L'apparecchiatura sperimentale PSICO 10"  
Notiziario CNEN, n. 10; October 1972.
11. - CUCCURU A. et al.  
"Experiments on high efficiency aerosol filtration"  
Paper presented at the 5<sup>th</sup> session of this Seminar.
12. - LANZA S. et al.  
"Testing methods for iodine filters of nuclear plants"  
Proceedings of the Seminar on iodine filter testing.  
Karlsruhe, 1973, 4 + 6 december.
13. - LANZA S. et al.  
"Il controllo dei sistemi filtranti installati negli impianti nucleari"  
Atti del Convegno sulle attività di ricerca nel campo della Sicurezza degli Impianti Nucleari. CNEN, Roma; 1971.
14. - HASENCLEVER D.  
"The Testing of High Efficiency Filters for the Collection of Suspended Particles"  
International Symposium on Fission Product Release and Transport under Accident Conditions. CONF 650407, Oak Ridge; 1965.

Table I - Results of the efficiency tests carried out on the filters of the EUREX Plant off-gas circuit.

METHOD	Basket A			Basket B		
	Flow-rate (m <sup>3</sup> /h)	Prefilter efficiency (%)	Filtration system efficiency (%)	Flow-rate (m <sup>3</sup> /h)	Prefilter efficiency (%)	Filtration system efficiency (%)
DOP	5850	99.75	99.999	5050	99.66	99.998
DOP	13300	99.42	> 99.999	13300	99.25	> 99.999
Condensation nuclei	13300	99.30	99.999	13900	96.4	-
Condensation nuclei	-	-	-	13900	97.0	99.999
URANINE	-	-	-	13900	99.31	99.995

Table II - Results of the tests carried out on ESSOR Plant filters.

Run n°	Upstream sampling device	Upstream Measurement	Downstream sampling device	Downstream Measurement	Penetration (%)
1	Distribution box of Fig. 7 type	50 ± 5	Set of 3 probes of Fig. 6d type, placed at 120°	0.01 ± 0.02	0.02 ± 0.04
2	Distribution box of Fig. 7 type	50 ± 5	1 Probe of Fig. 6d) type - in position A(°) - in position B(°) - in position C(°)	0.015 ± 0.02 0.010 ± 0.015 0.005 ± 0.010	0.03 ± 0.04 0.02 ± 0.03 0.01 ± 0.02
3	Distribution box of Fig. 7 type	50 ± 5	Set of 3 probes of Fig. 6b type, placed at 120°	0.005 ± 0.010	0.01 ± 0.02
4	Set of 2 crossed probes of Fig. 6c type	50 ± 10			
5	Isokinetic probe of Fig. 6a type	30 ± 60			
6	Probe of Fig. 6d type	55 ± 5			

(°) Position A : the probe is located in the symmetry plane of the duct.

Position B : the probe is turned of 120° clockwise with reference to the position A.

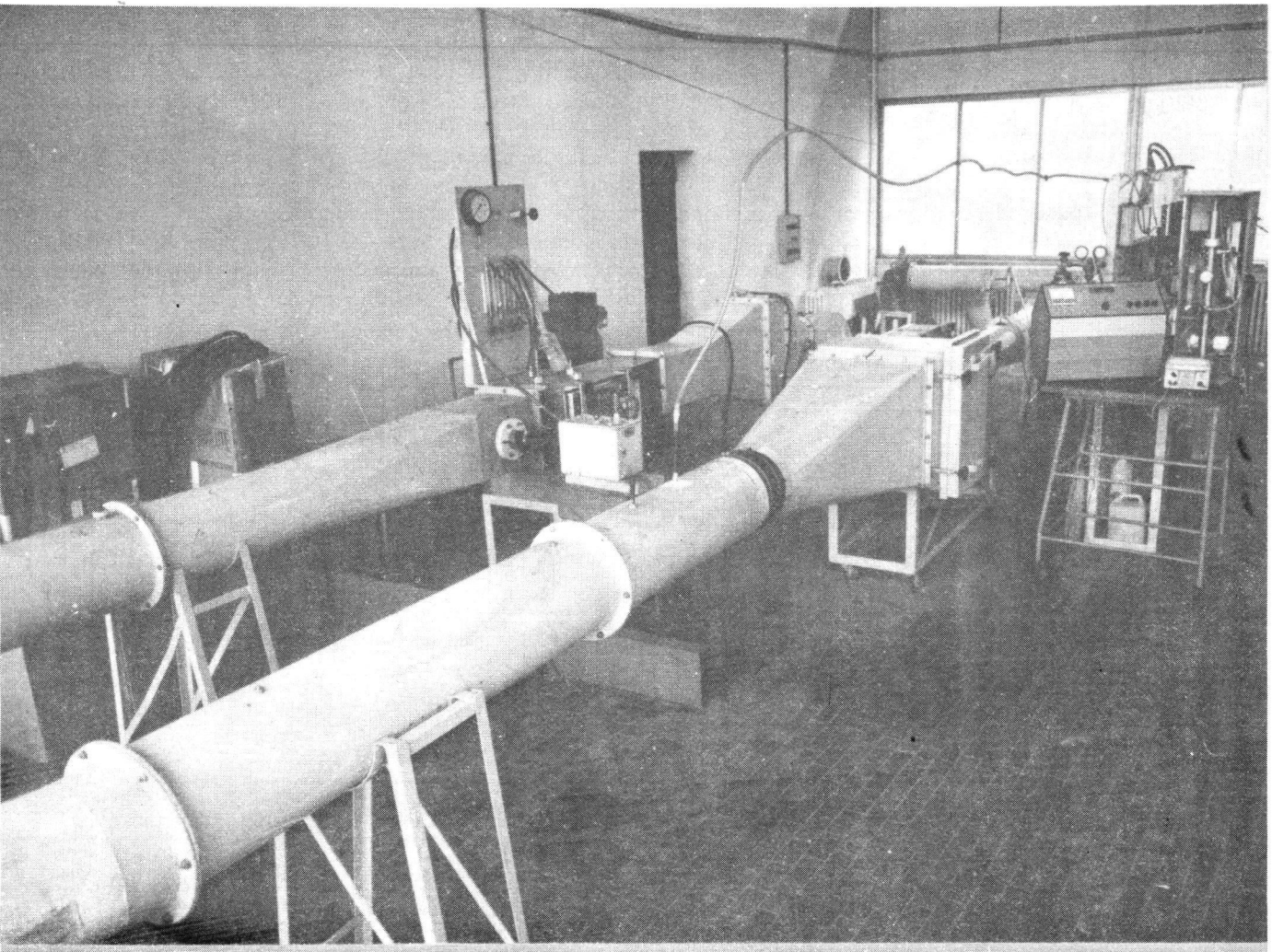
Position C : the probe is further turned of 120° clockwise.



Table III - Features of the filtering systems of some Italian nuclear plants and results of DOP efficiency tests.

NAME	PLANT TYPE	SITE	OWNER	Flow-rate (m <sup>3</sup> /h)	Filter manufacturer	Required efficiency (%)	Measured efficiency (%)	NOTES								
								A	B	C	D	E	F	G	H	
LABORATORIO PLUTONIO	Pu treatment laboratory	Casaccia -Roma-	CNEN	4.000	Vokes	99.9	99.98	x		x						
LABORATORIO OPERAZIONI CALDE	Hot laboratory	Casaccia -Roma-	CNEN	6.000	Vokes	99.9	99.92	x	x						x	
ITREC	Fuel repro cessing plant	Rotondella -Matera-	CNEN	4.700	Vokes	99.9	99.95	x	x							
EUREX	Fuel repro cessing plant	Saluggia -Vercelli-	CNEN	22.000	Cambridge	99.9	96.5 99.96*	x			x	x				
IFEC	Fuel manufac- turing plant	Saluggia -Vercelli-	CNEN	6.000		99.0	99.0	x	x							
COREN	Fuel manufac- turing plant	Saluggia -Vercelli-	FIAT	10.000	Vokes	-	95.8 99.99*		x		x		x		x	
FABBRICAZIONI NUCLEARI	Fuel manufac- turing plant	Bosco Marengo -Alessandria-	IRI	110.000	Schneider Poelman	99.8	99.90		x		x					
TAPIRO	Research Reactor	Casaccia -Roma-	CNEN	6.900	Vokes	-	99.92	x			x					x
CENTRALE ENRICO TERMI	Power Reactor	Trino -Vercelli-	ENEL	2.000	FAAR Company	99.9	99.99		x		x					

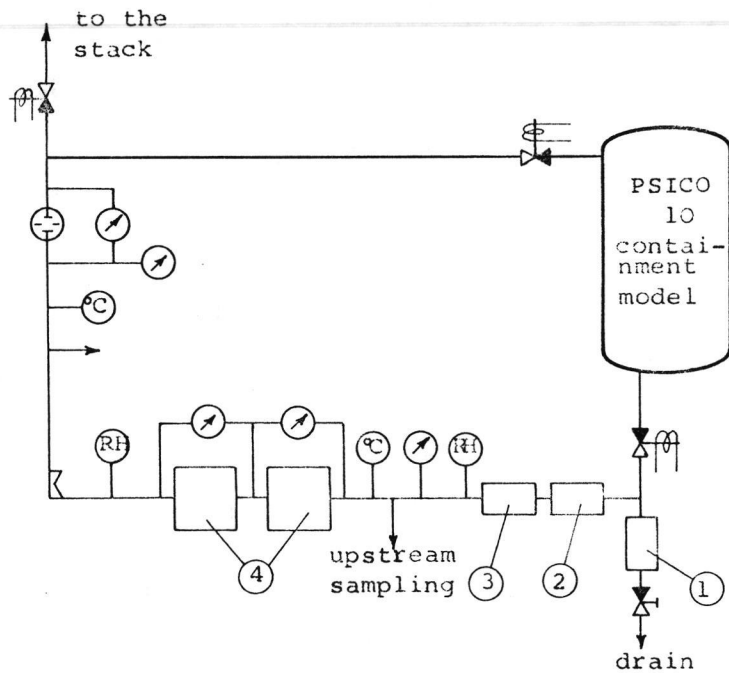
- A) Old installation not designed to allow the efficiency measurements of the filtration system. The probes for aerosol injection and sampling were assembled on the ducts at the time of the first efficiency test.
- B) New plant designed and built to allow efficiency measurements with DOP method.
- C) Unstable measurements for phenomena of turbulent flow which are present near the sampling points.
- D) Measurements perfectly stable and repeatable.
- E) Filter damaged by foreign bodies, with insufficient efficiency, later replaced with clear improvement of the efficiency (value indicated with \*).
- F) Low efficiency due to bad working of the gaskets, which were then restored; the repeated measurement is indicated by \*.
- G) Difficulty of testing due to insufficient availability of compressed air for DOP aerosol production.
- H) Efficiency tests are required, but an efficiency minimum value is not required.



Circuit for HEPA filter classification.

FIG.1

Flow-sheet of recycle circuit of PSICO 10 facility.



LEGENDA








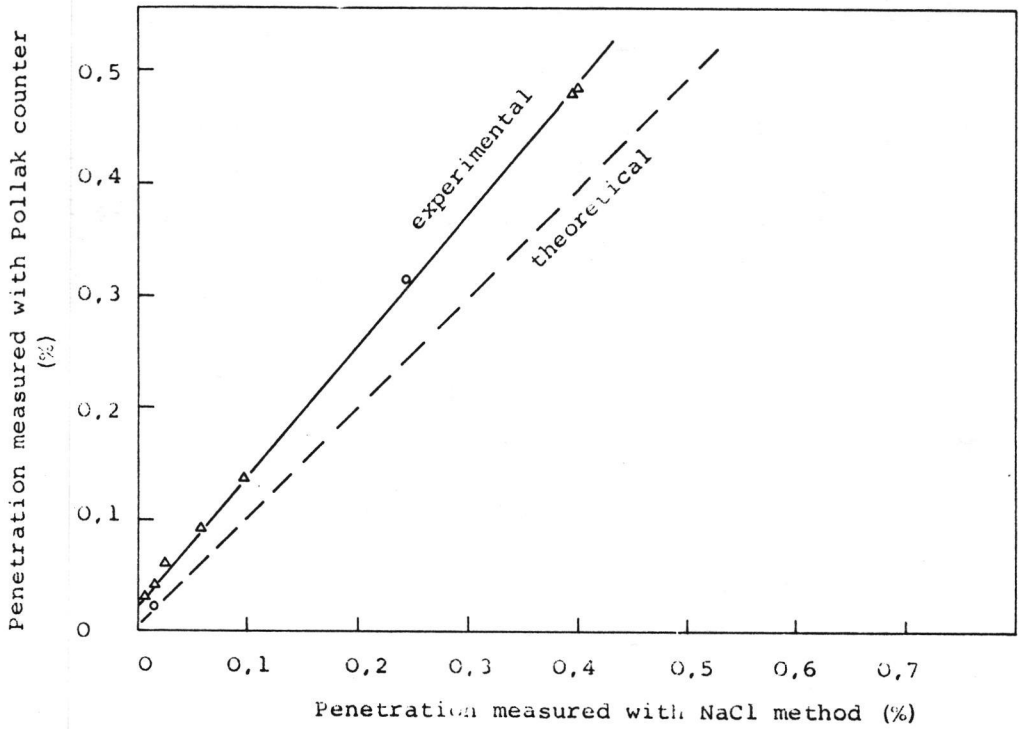
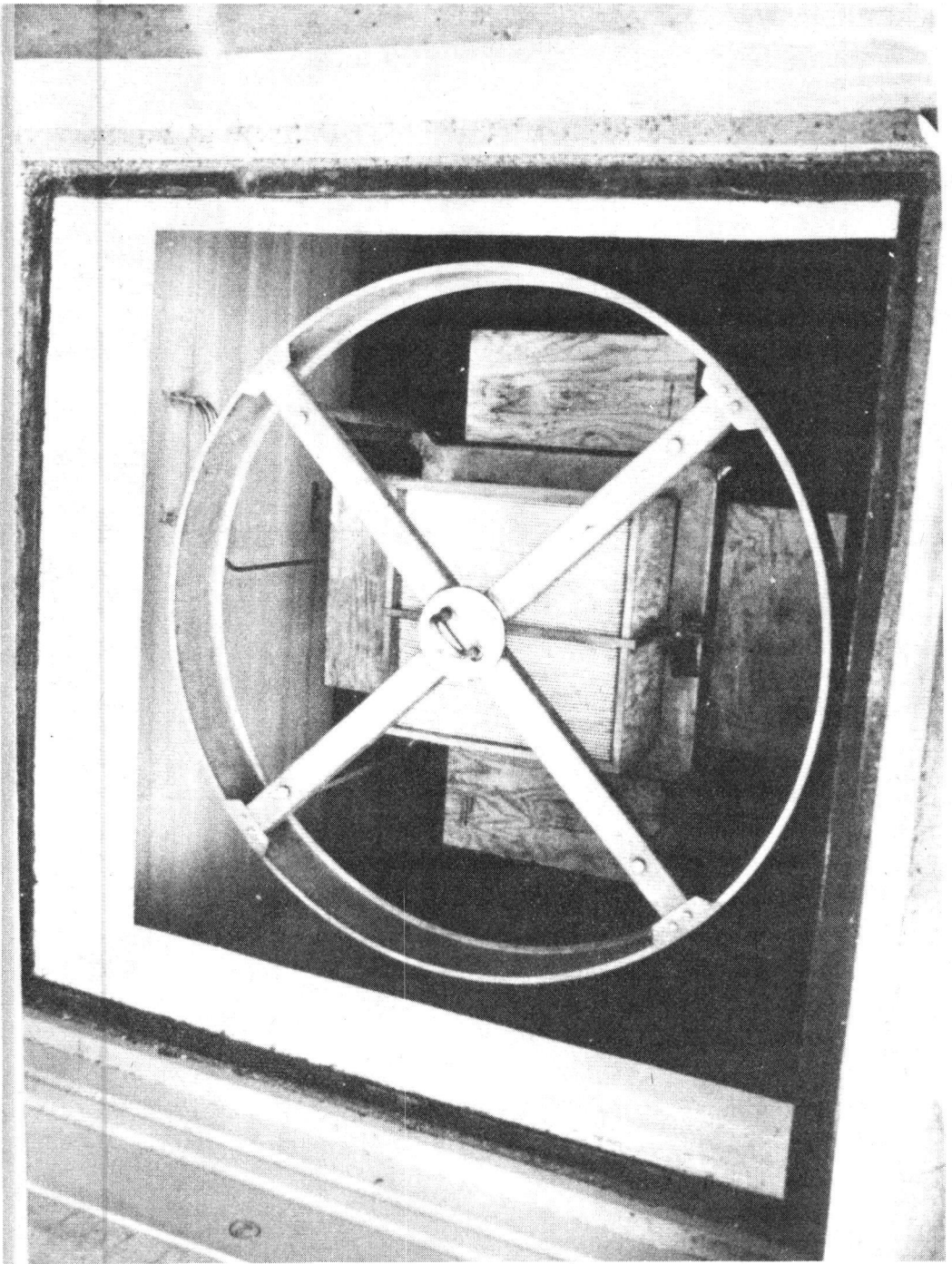
- 1 Condensate tank
- 2 Heating device
- 3 Aerosol supply
- 4 Filter tanks
-  Fan
-  Hygrometer
-  Temperature gauge
-  Manometer
-  Orifice plate
-  Stop valve
-  Remote drive

FIG. 2



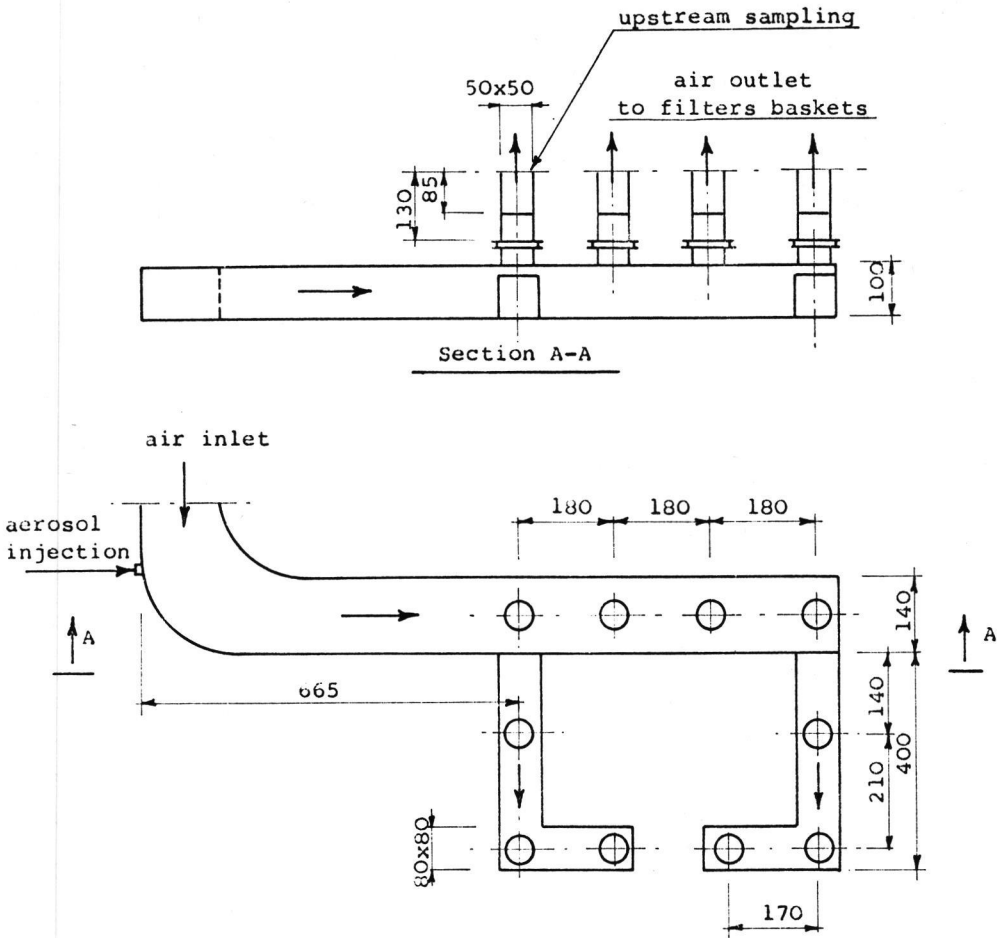
Comparison of penetration measurements with NaCl and Pollak counter methods.

**FIG. 3**



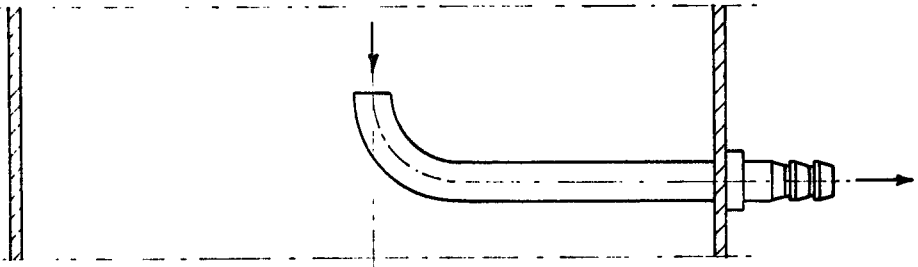
Filter basket of the EUREX plant.

**FIG. 4**

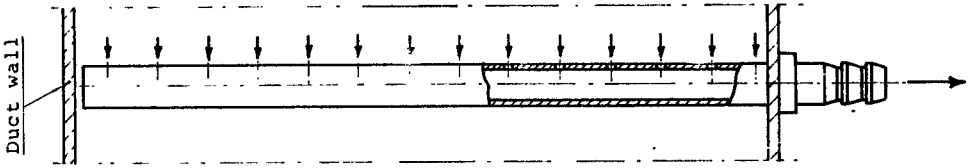


ESSOR containment system - schema of the air inlet duct.  
to the filter baskets.

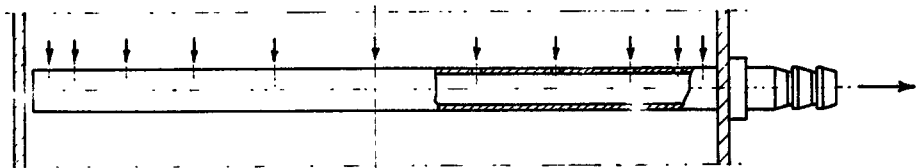
**FIG. 5**



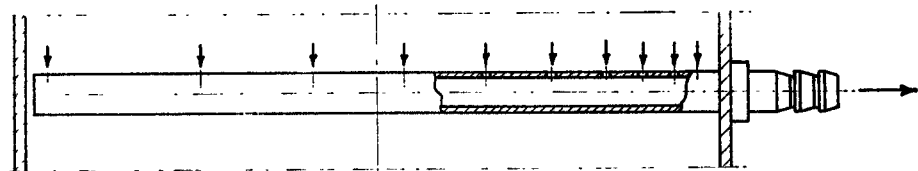
a) Isokinetic sampling probe



b) Probe with equidistant holes



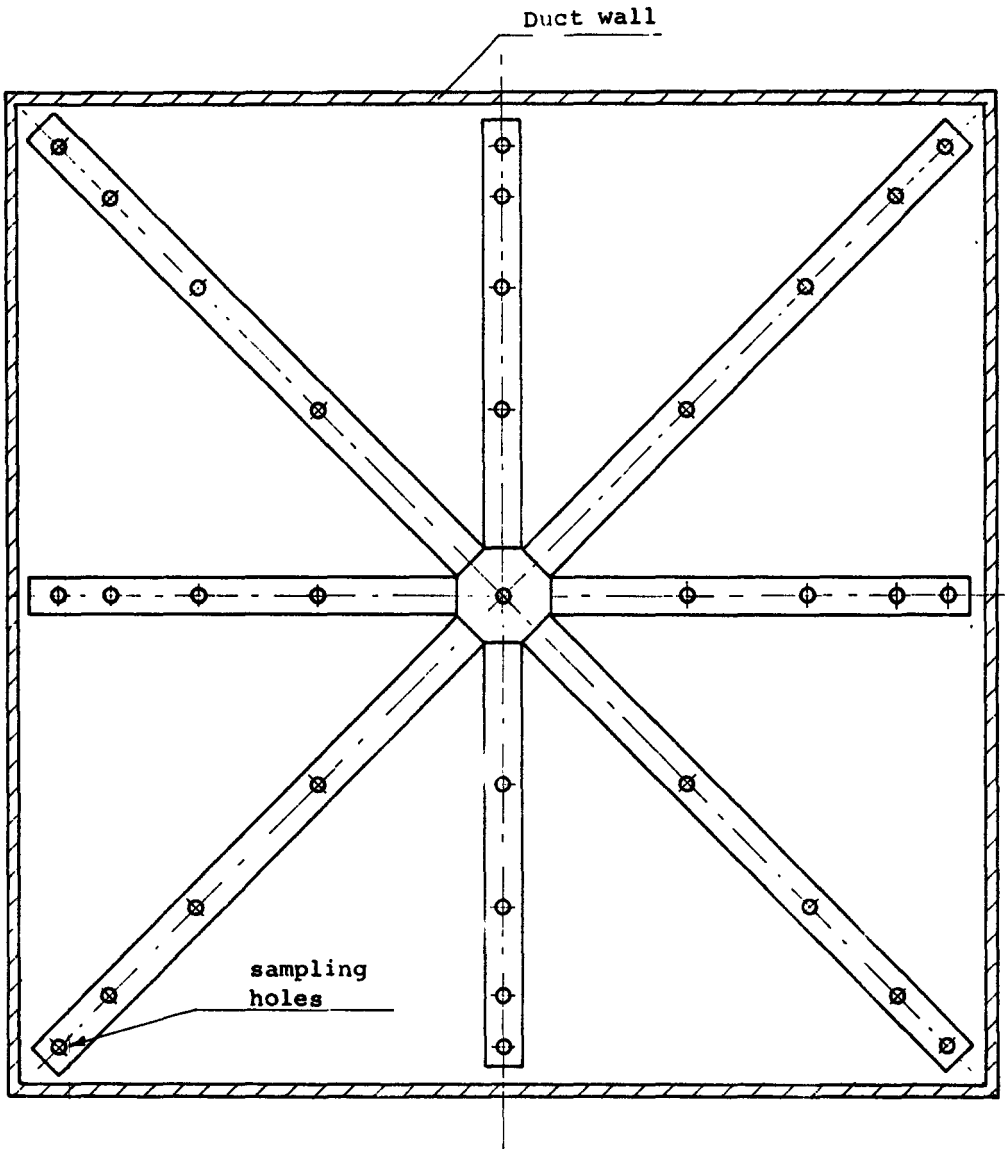
c) Probe with symmetrical holes



d) Probe with holes crowded according to air flow lines

Probe types used in the tests on the ESSOR plant.

FIG. 6



Sampling device of "distribution box" type.

FIG. 7



FILTER TESTING BY THE MANUFACTURER  
AND IN THE LABORATORY

J. Dymant and R.G. Dorman  
Chemical Defence Establishment  
Wiltshire - UNITED KINGDOM

SUMMARY. An outline is given of the purpose and basic principles involved in the performance testing of HEPA filters.

The characteristics of five tests (DOP, uranine, methylene blue, paraffin oil and sodium chloride) are tabulated to facilitate comparison. Data on penetration of DOP, uranine and sodium chloride aerosols through media and filters are presented and discussed. These data suggest that the use of a sodium chloride aerosol of 0.45  $\mu\text{m}$  mass median diameter can give results comparable with those of the DOP and uranine methods.

Details of an improved sodium chloride test equipment using the 0.45  $\mu\text{m}$  aerosol are presented.

KURZFASSUNG. FILTERPRUEFUNG DURCH DEN HERSTELLER UND IM LABOR. Ein Ueberblick über Zweck und Grundsätze der Leistungsprüfung von HEPA-Filtern wird gegeben.

Um einen Vergleich zu erleichtern, werden die Charakteristiken von fünf Prüfverfahren (DOP, Uranin, Methylenblau, Paraffin-Oel und Natriumchlorid) zusammengestellt. Daten über den Durchlassgrad von Filtermedien und Filtern gegenüber DOP-, Uranin- und Natriumchlorid-Aerosolen werden mitgeteilt und diskutiert. Diese Daten lassen darauf schliessen, dass der Einsatz eines Natriumchlorid-Aerosols mit einem mittleren Teilchendurchmesser von 0,45  $\mu\text{m}$  Ergebnisse liefern kann, die mit denjenigen der DOP- und Uranin-Verfahren vergleichbar sind.

Einzelheiten über eine mit 0,45  $\mu\text{m}$ -Aerosol arbeitende Natriumchlorid-Prüfanlage werden vorgelegt.

RESUME. CONTROLE DE FILTRE PAR LE FABRICANT ET EN LABORATOIRE. L'exposé présente brièvement l'objectif et les principes fondamentaux du contrôle des performances des filtres absolus (HEPA).

Les caractéristiques de cinq tests (au DOP, à l'uranine, au bleu de méthylène, à l'huile de paraffine et au chlorure de sodium) sont présentées sous forme de tableaux pour faciliter la comparaison. Des données sur la pénétration d'aérosols de DOP, d'uranine et de chlorure de sodium à travers des filtres et éléments filtrants sont présentées et commentées. D'après ces données, il apparaît que l'usage d'un aérosol de chlorure de sodium d'une granulométrie médiane de 0,45  $\mu\text{m}$  peut donner des résultats comparables à ceux des méthodes au DOP et à l'uranine.

Un équipement perfectionné d'essai au chlorure de sodium utilisant un aérosol de 0,45  $\mu\text{m}$  fait l'objet d'une description détaillée.

## 1. INTRODUCTION

High efficiency gas and air filters having efficiencies in excess of 99.95% with respect to submicron particles are now widely used, particularly in the nuclear industry and in applications requiring particle free air. Relatively small defects in the manufacture or assembly of these filters can result in a catastrophic loss in performance so that "100% product testing" is essential. These tests must be carried out to agreed, acceptable and readily verifiable standards.

Largely for historical reasons different methods of testing have been developed in different countries. Some tests use liquid droplets as a challenge whilst others use solid particles. The first major development in testing methods occurred in the 1939-1945 war when production testing of respirator canisters took place on a large scale. A review summarising the methods then available has been made by Gucker (1951). (1).

With the advent of nuclear energy, space technology and the increasing need for sterile and particle-free environments, these test methods were scaled up for use with larger scale ventilation filters. (Dyment, 1965) (2).

The purpose of this paper is to review the principles involved in testing and to compare on an equal basis five methods in current use. Finally a short description is given of an improved apparatus for testing by the "sodium flame method".

## 2. BASIC PRINCIPLES

The basic requirements for a rig penetration test are for the filter to be mounted in a length of ductwork so that air may be drawn or blown through it at the appropriate rate of flow. The test aerosol is dispersed evenly

into the airflow upstream of the unit. After passage through the filter the air is sampled and analysed to determine the relative amount of the original particulate material remaining.

Challenge aerosols are selected according to certain criteria:

- a. They must be conveniently dispersive to form a stable aerosol having a suitable particle size distribution.
  
- b. They must be readily detectable at low airborne concentrations. The methods used for aerosol generation are either vapour condensation under controlled conditions, which can produce a cloud of droplets of closely uniform size, or pneumatic atomization, which produces a cloud having much greater size variation. By atomizing a solvent containing a solid solute and allowing the resultant droplets to evaporate, a dispersed cloud of solid particles is obtained having a similar size distribution but a smaller median diameter. These test aerosols may be detected in low concentration while still dispersed by light scattering or flame photometric techniques. Alternatively they may be sampled onto a filter disc and analysed quantitatively by fluorimetry (direct or in solution) activation analysis, radioactive counting etc. or they may be assessed by visual colour matching.

### 3. COMPARISON OF HEPA FILTER TEST METHODS

The accompanying table enumerates the leading features of five widely used rig testing methods. These are the American di-octyl phthalate test, the French uranine method, the German liquid paraffin oil method, and the British sodium chloride and methylene blue methods. The last named is now largely supplanted by the more rapid and sensitive sodium chloride or "sodium flame" method.

A critical appraisal of the available methods is particularly desirable at present now that consideration is being given to international standardization of filter test methods. In making an appraisal, attention must be given to many factors but the weighting to be given each factor will vary depending on the situation of the observer.

Particular factors which should be examined are:

- a. Use of solid or liquid aerosol
- b. Use of a monodisperse or heterodisperse aerosol.
- c. The rapidity with which an assessment can be made
- d. The effects of the aerosol material on the filter and any physiological effects which might arise from the exposure of individuals to the aerosol.
- e. The flexibility of the apparatus and possible extension of its use to on-site and leak testing work
- f. The cost of the equipment.

Other more subjective considerations such as rationality and acceptability need to be taken into account in making an assessment. The table lists in a comparative manner 24 aspects which merit consideration.

### 3.1 Use of solid and liquid aerosols

Most applications requiring the use of HEPA filters visualise their purpose as being the trapping of solid particles; liquids in any quantity tend to cause deterioration in performance, and must therefore be trapped by other means. It may on the other hand be argued that for very small loadings such as occur during a single test there should be no basic difference in the filterability of solid and liquid aerosols having the same particle size distribution. One difficulty with liquid aerosols, particularly in the submicron range is that of establishing beyond doubt the particle size distribution at any particular moment. Such size data can only be obtained by microscopic means. Sampling and electron microscopy of submicron liquid droplets unfortunately is notoriously subject to doubt.

### 3.2 Use of monodisperse or heterodisperse aerosols

It has been established beyond reasonable doubt that for most filters there is a size of particle which is most difficult to remove in any particular set of operating conditions. This size is thought to lie with the range 0.05-1.0  $\mu\text{m}$  and most likely between 0.1 and 0.3  $\mu\text{m}$  in typical cases. With a uniform monodisperse aerosol there is a possibility that its size might be significantly different from the most penetrating size for the filter under test. Thus an aerosol with a size distribution covering the entire range of sizes in which maximum penetration can occur may be more desirable than a monodisperse aerosol. On the other hand it is arguable that results obtained with monodisperse aerosols are more easily related to theoretical analysis.

However, it should be noted that monodisperse solid aerosols in the size range of interest are exceptionally difficult to generate.

Some comparative figures which illustrate the relative abilities of the aerosols to penetrate filters are given in tables 2 and 3. In table 2 the figures given are for the penetration of salt and DOP aerosols through filter paper samples (Dorman and Dymont, 1974), (3) at a velocity of 5 cm s<sup>-1</sup> and for salt and uranine aerosols (Dupoux and Pradel, 1974) (4). These measurements indicate an approximate ratio of 1.4 for DOP and sodium chloride penetrations, and an approximate ratio of 2.5 for uranine and sodium chloride penetrations through high efficiency papers. The high ratios (4.1 and 4.2), obtained with the lower efficiency papers are not explained.

TABLE 2  
PERCENTAGE PENETRATION OF SAMPLES OF FILTER  
PAPERS BY AEROSOLS AT 5 cm s<sup>-1</sup>

AEROSOL	DOP	NaCl	Uranine	(Ratio)
Equipment	Q127	BS 4400	NFX 44-011	
Cloud	monodisperse	heterodisperse	heterodisperse	
MMD um	0.3	0.6	0.15	
% Penetration				
Cellulose	42	30		1.4
Cellulose	32	25		1.28
Glass fibre	4	3		1.33
Glass fibre/carbon	0.036	0.03		1.20
Glass fibre	0.014	0.01		1.4
Equipment		BS 3928	NFX 44-011	
Papers nos.				
1 s. 1		0.006	0.015	2.5
1 s. 2		0.006	0.014	2.3
2 s. 1		0.006	0.015	2.5
2 s. 2		0.008	0.020	2.5
3 s. 1		0.009	0.019	2.1
3 s. 2		0.009	0.019	2.1
4 s. 1		0.155	0.633	4.1
4 s. 2		0.160	0.676	4.2

Table 3 compares the penetration of two salt aerosols having different particle size distributions through HEPA filters at a flow rate of 1700 m<sup>3</sup>/h. The 0.65 μm MMD aerosol was generated in accordance with British Standard 3928; the 0.45 μm MMD aerosol was produced in a Dautrebande generator of the type described in section 4.1. The aerosol with the smaller particle size gave approximately two-fold higher penetrations. Consideration of these tables shows that both DOP and uranine are more penetrating than the 0.65 μm sodium chloride cloud. Although the differences are not great it is desirable that they should be as small as possible.

If the 0.45 μm sodium chloride cloud were used in place of the 0.65 μm one then the range of results obtained with the three methods (DOP, uranine and sodium chloride) would be considerably reduced; the differences between them would probably be too small to be of practical significance. More precise and conclusive comparisons could be obtained if test rigs and operators were assembled in the same laboratory. Many comparison tests under controlled conditions would be required. Such an exercise would be expensive and difficult to justify.

TABLE 3  
PENETRATION OF SODIUM CHLORIDE AEROSOLS  
THROUGH HEPA FILTERS AT 1700 m<sup>3</sup>/h

	Type of generator		
Equipment	BS 3928	Improved CDE equipment	
Atomizer	Collison	Dautrebande	
MMD, μm	0.65	0.45	
g.s.d.	2.1	1.8	
% Penetration through filters			Ratio
FILTER 'A'	0.00028	0.0006	2.1
B	0.00085	0.0017	2.0
C	0.0028	0.0064	2.3
D	0.0032	0.0070	2.2
E	0.0044	0.010	2.3
F	0.016	0.032	2.0
G	0.029	0.040	1.4
H	0.049	0.060	1.2

### 3.3 Rapidity of assessment

Production line testing often calls for tests of short duration giving immediate results. Methods which give immediate responses by indicating meter or recorder are therefore preferred.

### 3.4 Effects of aerosol materials on filters and physiological effects on personnel

The use of liquid aerosols can cause reduction in filter efficiency if excessive quantities are used. However, the quantities used in single DOP or paraffin oil tests are such that many tests would need to be carried out before any detectable effect on the filter efficiency would be noted. On the other hand solid aerosol deposition can cause increases in filtration efficiency under similar conditions, although as before large numbers of tests would need to be carried out before noticeable effects occurred. It is apparent that larger amounts of DOP are used in a test than are used of uranine or sodium chloride under corresponding conditions.

The question of toxicity should be considered where exposure of personnel can occur. As far as is known, no evidence of toxicity has been published which would infer that any of the materials is open to doubt. At the same time it should be noted that the continuous production of large volumes of aromatic oil smoke creates a problem of disposal; such problems add complexity and cost to the equipment. It may also be noted that the continued use of DOP smoke for respirator testing is under review. Normal practice regards physiological contact with aromatic materials with caution and steps are usually taken to minimise the possible ingestion of such substances.

### 3.5 Flexibility and adaptability of the method for leak testing and on-site testing

The liquid smoke tests (DOP and paraffin oil) have been used to a considerable extent for on-site and leak testing work. The equipment used for light scattering detection of particles has been successfully adapted to produce a convenient and portable apparatus.

Methods which have already become accepted as rig testing procedures will clearly find easy acceptance for on site and leak testing work if they prove convenient in practice. It should be noticed that when DOP is used as an on-site test the aerosol is obtained by spraying and is heterodisperse. It therefore has different optical and filtration properties from the more monodisperse aerosol used for rig testing. The same applies to DOP aerosols produced in portable generators. This is unimportant when searching for leaks, which do not selectively admit particles of differing sizes. On the other hand a filter system which causes a change in particle size can affect the optical scattering coefficients of the particles.

In the past solid aerosols have been employed less for on-site and leak testing work because of the difficulties of generation and because flame photometers have not generally been suited for outdoor use. The sodium chloride method has recently been used with considerable success by the Chemical Defence Establishment now that suitable generating equipment and portable photometers are available. The uranine test has been used for some time for testing installations and has the advantage that very small quantities of aerosol need to be dispersed to carry out a test. It should be noted however that conditions in a plant test are inevitably more difficult to control than in a laboratory. Filter paper sampling methods when used at very low concentrations may be subject to errors from cross contamination. For most on-site test work however an indicating detection method is preferred, and is virtually essential for leak probing.

### 3.6 Equipment Costs

These are difficult to assess even on a relative basis, except in those cases where complete test rigs are offered for sale in the commercial market. As far as the author is aware only the DOP and sodium chloride equipments have been on offer, and of the two the sodium chloride is substantially cheaper.

### 3.7 Overall Assessment

Considering the factors set out in the table and those considered in more detail it can be seen that the sodium chloride test has many advantages favouring its widespread future use.



The Chemical Defence Establishment has now completed the development of an improved test equipment based on the original British Standard 3928 equipment. The development stages have been described by Webb, Poynting and Dorman (1975) (5) and Dymont and Poynting (1976) (6). The aerosol generation system, the detector and the calibration methods have all been redesigned or extensively modified and improved. A short description is given below but complete details are given in a specification obtainable from the Chemical Defence Establishment.

#### 4. IMPROVED SODIUM FLAME TEST EQUIPMENT

The sodium flame test for small filters has been used at the Chemical Defence Establishment at Porton in England for about 30 years. Some 17 years ago the equipment was adapted for testing high efficiency ventilation filters of 1700 m<sup>3</sup>/hr capacity. In 1965 the method was adopted as a national test and issued as a British Standard. Since that time many improvements have been made and it is believed that the equipment described here encompasses the best in current practice in testing HEPA filters.

##### 4.1 Aerosol Generator

This comprises a number, usually between 8 and 16, of atomizer units of a type described by Dautrøbande (7). These units have been modified and manifolded together but their outputs can be controlled individually. Figure 1 shows a simplified arrangement of 12 units. The feed solution, which consists of 100 g of sodium chloride dissolved in 1 litre of deionized water, is circulated from a reservoir to the atomizers by a small tube pump. Excess liquid returns to the reservoir through overflow drain tubes. The solution concentration may be checked during operation by means of a hydrometer. The compressed air supply to the atomizers is controlled by individual valves which are not shown in the diagram.

Each generator nozzle produces 7 mg/min of sodium chloride aerosol having a mass median diameter of 0.45 µm and a geometric standard deviation of 1.8. All particles are smaller than 1 µm in diameter. The quoted diameter is the internal diagonal of the cube, ie the maximum linear dimension. This reduced size of particle enables test results on filters to be closely comparable with DOP test results.

Figure 2 shows a cross-section of one of the single Dautrebande type nozzles after modification for continuous use. The design of these units enables them to be readily dismantled if required. Only plastic materials are in contact with the solution thus minimizing the formation of corrosion products. Extensive use is made of transparent material so that the functioning of the units may be kept under close inspection. Figure 3 shows diagrammatically the complete test ducting with the generator mounted in position.

#### 4.2 Detector Unit

The detector unit is an emission flame photometer which will measure concentrations of sodium chloride particles in air between 15 mg/m and 10 ng/m<sup>3</sup>. Figure 4 shows diagrammatically the piping arrangements for the sample air, clean air and hydrogen circuits. The air for the combustion of the hydrogen is drawn by convection up the flame tube from the test tube. The air flow to the test tube must be between the limits of 15 and 45 l/min; during standby periods, clean air passes through a high efficiency filter to the test tube, whilst to make measurements of salt concentration the changeover valve is operated and sample air passes to the test tube. A copper burner with a conical tip consumes 30 l/h of hydrogen. Radiation emitted from the flame passes through the wall of the glass chimney (Figure 5), through a window in the flame tube and through optical filters and a rotary light shutter before falling onto the cathode of a sensitive photomultiplier. The output current which is directly proportional to the 589 nm light intensity from the flame is amplified and displayed on a meter or a chart recorder. The optical filters comprise calibrated neutral density filters to reduce the light intensity to a convenient value, and a 589 nm narrow band interference filter to restrict the transmission of wavelengths other than the sodium D-line emission. The layout of the instrument is shown in Figure 6. Range switching is carried out by the addition or removal of appropriate tinted glass neutral density filters. A red/green "pass-fail" indicator system is included for production line use.

#### 4.3 Calibration

A typical calibration line constructed for the region 0.25-3.0 mg/m<sup>3</sup> is shown in Figure 7. (For convenience, concentrations are quoted as percentages of 3.0 mg/m<sup>3</sup>, ie. 3.0 mg/m<sup>3</sup> = 100%). The points shown cor-

respond with concentrations obtained with 1,2,3,.....12 atomizers in operation when the airflow through the rig is maintained at a fixed value of 1700 m<sup>3</sup>/hr. The exact concentration (approximately 3.0 mg/m<sup>3</sup>) is checked gravimetrically. Extensive work over a long period has shown that the detector response is linear with salt concentration below 0.5 mg/m<sup>3</sup>, so that the remainder of the calibration line may be obtained by extrapolation as shown in Figure 7.

A simple procedure involving the by passing of a known volume of aerosol around a filter under test can be used to check responses in the region of interest, for example 0.01% when testing filters rated at this value.

If required, a calibration line with points covering the whole range may be constructed using the aerosol dilution method established in British Standard 3928. A typical result is shown in Figure 8. A particular feature of the CDE photometer is that when used in conjunction with a specially designed aerosol dilution system completely stable operation and reproducible results are obtained. A straightforward procedure also enables the losses of salt aerosol particles in the calibration equipment to be determined and allowed for when calculating the points on the calibration line. In practice it has been found that these losses remain constant within experimental accuracy throughout the whole range of dilutions.

#### 4.4 Test Results

Figure 9 shows the results obtained when testing a filter with the low penetration of 0.0002%. The two traces show the signals from the upstream sample respectively. In this particular test the upstream cloud had the higher than normal concentration of 9 mg/m<sup>3</sup>.

It will be noted that after exposure to even this highly concentrated upstream cloud the deflection returns to the background reading within 2-3 minutes. The downstream trace was obtained shortly after starting up the photometer before complete thermal equilibrium had been attained. It illustrates how the effects of drift may be eliminated when taking readings from a chart recording.

5. CONCLUSIONS

Examination of methods of filter testing in current use justifies in principle the initial choice of the sodium test as an international method. It is essential, however, to remove all doubts and defects from a procedure before it can become widely acceptable without reservation.

The improved sodium flame test described in this paper is the culmination of many years of equipment development against a background of continuous routine application. Close examination shows that any previously expressed doubts may now be completely dispelled if the new equipment is adopted.

6. REFERENCES

1. Gucker, F.T. et al. (1950) Handbook on aerosols, AEC, Washington
2. Dymont, J. (1965) Filtration and Separation, 2, 22
3. Dorman, R.G. and Dymont, J. (1974) International Symposium on Contamination Control, London p115
4. Dupoux, J. and Pradel, J. (1974). International Symposium on Contamination Control, London p107.
5. Webb, I.J. Poynting, R. and Dorman, R.G. (1975) Filtration and Separation (in press)
6. Dymont, J. and Poynting, R. (1976) Filtration and Separation (in press)
7. Dautrebande, L (1953) Z. Aerosol-Forsch. u.-Ther 2 (5), 585

ABRONSOL STD NO	Di-octyl phthalate (DOP)	Uramine NF4 44-011	Methylene blue BBS 2831 1971	Sodium Chloride	Liquid Paraffin Oil
1 Type, (solid or liquid)	Liquid droplet	Solid	Solid	Solid	Liquid droplets
2 Size and shape	Spherical Droplet size centred on 0.3µm Narrow size distribution	Heterodisperse, near spherical MMD 0.15µm g.s.d. 1.55	Heterodisperse near spherical MMD 0.6µm g.s.d. 2.5	Heterodisperse cubic crystals MMD 0.4µm, g.s.d. 1.8	Spherical, heterodisperse g.s.d.
3 Method of generation	Condensation by vapour quenching	Pneumatic atomisation of 1% aqueous solution	Pneumatic atomisation of 1% aqueous solution	Pneumatic atomisation of 10% salt solution	Pneumatic atomisation
4 Reproducibility	Frequent monitoring needed Homogeneity cannot be checked	Solution strength, air flow and pressure must be constant	Solution strength, air flow and pressure must be constant	Reproducible with constant air supply pressure	Supply air pressure and liquid temperature must be constant
5 Effect on filter	Normally none Excessive amounts cause deterioration in efficiency	No effect	No effect normally Large quantities can change filter efficiency	None normally Excessive amounts increase filter efficiency	Normally no effect Large amounts can cause filter deterioration
6 Temperature compatibility	Suitable for ambient temperature only	Suitable for ambient temperature	Suitable for ambient temperature	Can be used at temperatures up to 400°C	Suitable for ambient temperature
7 Toxicity	Under review	Unknown	Used in pharmacology	Non-toxic	Not known
8 Normal concentration of test cloud, µg/m <sup>3</sup> 1700m <sup>3</sup> /h test	100	0.012 (one generator in 1700 m <sup>3</sup> /h)	0.5 (20 generators)	3.0 µg/m <sup>3</sup>	10-80 µg/m <sup>3</sup>
DETECTION					
9 Sampling method (direct or indirect)	Direct	Indirect - membrane filter	Indirect - sparto filter paper sample	Direct	Direct
10 Method of analysis	Forward light scattering	Deposit dissolved in water and analysed by fluorimetry	Deposits are "steamed" and compared optically	Emission flame photometry	Light scattering 45° forward angle
11 Time taken for sampling and analysis	Immediate result, continuous display	Sampling time and time for washing off, disassembling and analysis needed	Time for "steaming" and comparison usually small compared with sampling needed	Immediate display	Immediate result
12 Discrimination against contamination	Does not discriminate against extraneous particles	Specific for uranine	Specific for soluble blue particles	Specific for sodium	Does not discriminate against extraneous particles
13 Type of result (mass or no etc)	Dependent on no. of particles and their light scattering section	Mass (volume)	Mass (volume)	Mass concentration	Depends on light scattering properties of the particles
14 Dependence on particle size	Dependence is a complex function of particle size	Depends on sampling efficiency and washability of membrane filters	Sampling efficiency reduced for very fine particles	Independent of particle size within aerosol size range	Affected by changes in particle size distribution
15 Ultimate sensitivity, µg/m <sup>3</sup>	1.0	0.0012 (10 minute sampling time)	0.1 (15 minute sampling period)	0.01	9.0 (500 particles/cc 0.3-0.4µm) (Sartorius SM 16-175)
16 Method of standardization	Electronic, assumes mono-disperse aerosol	Dilute standard solutions	Direct volumetric comparison	Gravimetric, direct ratio	Electronic
17 Linearity of response	Linear with particle concentration provided particle size is constant	N/A	N/A	Linear response below 0.5 µg/m <sup>3</sup>	Linear provided filter does not modify particle size distribution
EQUIPMENT					
18 Air treatment required	Filtration, pre-heating	Filtration Humidity 80%	Filtration Humidity 65%	Filtration humidity below 60%	Filtration
19 Warming-up period required	45 minutes	Fluorimeter only	None	15 mins (Flame photometer only)	Generator requires warming to 100°C
20 Time for 1 test, 0.01% 1700 m <sup>3</sup> /h excludes filter insertion	1 minute (Est.)	10 mins + time for washing and analysis	30 mins	1 minute	1 minute (Est.)
21 Mass of aerosol deposited in one test (0.01% 1700m <sup>3</sup> /h)	2 µg	0.0033	0.6	0.08g	0.28-2.2g
22 Services required	Electricity	Electricity, compressed air	Electricity, compressed air	Electricity, compressed air	Compressed air, electricity
23 Flexibility adaptability for leak testing and on-site tests	Widely used for on-site and leak tests (with pneumatic generator)	Inconvenient for leak testing used for plant testing	Inconvenient for leak testing	Used for on-site testing and for leak testing	Adaptable for leak testing
24 Capital cost (relative)	High cost	N/A	Low cost simple equipment	Medium	N/A

TABLE 1 - COMPARISON OF 5 TEST METHODS FOR HEPA FILTERS

FIGURE 1 AEROSOL GENERATOR

1 - Platform. 2 - Duct Section. 3 - Drain Line. 4 - Vent.  
5 - Reservoir. 6 - Hydrometer Chamber. 7 - Drain Cock. 8 - Tube  
pump. 9 - Line Filter. 10 - Pressure gauge. 11 - Base. 12 - Dautre-  
bande Atomizer Units.

FIGURE 2 DAUTREBANDE ATOMIZER UNIT

1 - Aerosol outlet. 2 - Atomizer body. 3 - Compressed air inlet jet.  
4 - Overflow drain tube. 5 - Base. 6 - Drain outlet. 7 - Compressed  
air inlet. 8 - Solution inlet. 9 - Solution inlet jet. 10 - Venturi  
orifice throat. 11 - 2nd stage baffle. 12 - 2nd stage orifice.  
13 - 3rd stage orifice. 14 - 3rd stage baffle. 15 - 1st stage baffle.

FIGURE 3 LAYOUT OF DUCTING

1 - Variable flow restrictor. 2 - Blower. 3 - Heater. 4 - Prefilter.  
5 - Compressed air feed. 6 - Aerosol generator. 7 - Drain point.  
8 - Mixing baffle (upstream). 9 - Sample point (upstream). 10 - Upstream  
transition piece. 11 - Filter test housing. 12 - Inclined manometer.  
13 - Downstream transition piece. 14 - Mixing baffle (downstream).  
15 - Flow measuring orifice. 16 - Sampling point (downstream).  
17 - Variable flow restrictor.

FIGURE 4 SODIUM FLAME DETECTOR - SCHEMATIC

1 - Hydrogen inlet. 2 - Clean air supply. 3 - Clean air bleed.  
4 - Sample air bleed. 5 - Sample air supply. 6 - High efficiency  
line filter. 7 - Changeover valve. 8 - Coarse line filter.  
9 - Inclined manometer.

FIGURE 5 FLAME TUBE AND OPTICAL SYSTEM

1 - Hydrogen feed pipe. 2 - Test tube. 3 - Flame tube. 4 - Burner.  
5 - Bracket. 6 - Cap. 7 - Glass chimney. 8 - Window. 9 - Light  
filter box. 10 - Neutral density filter. 11 - Interference filter  
589 mm. 12 - Rotary light shutter. 13 - Photomultiplier. 14 - Dynode  
resistor chain. 15 - Connections for EHT and signal cables. 16 - Vent  
tube. 17 - Flow straightener.

FIGURE 6 SODIUM FLAME DETECTOR - LAYOUT

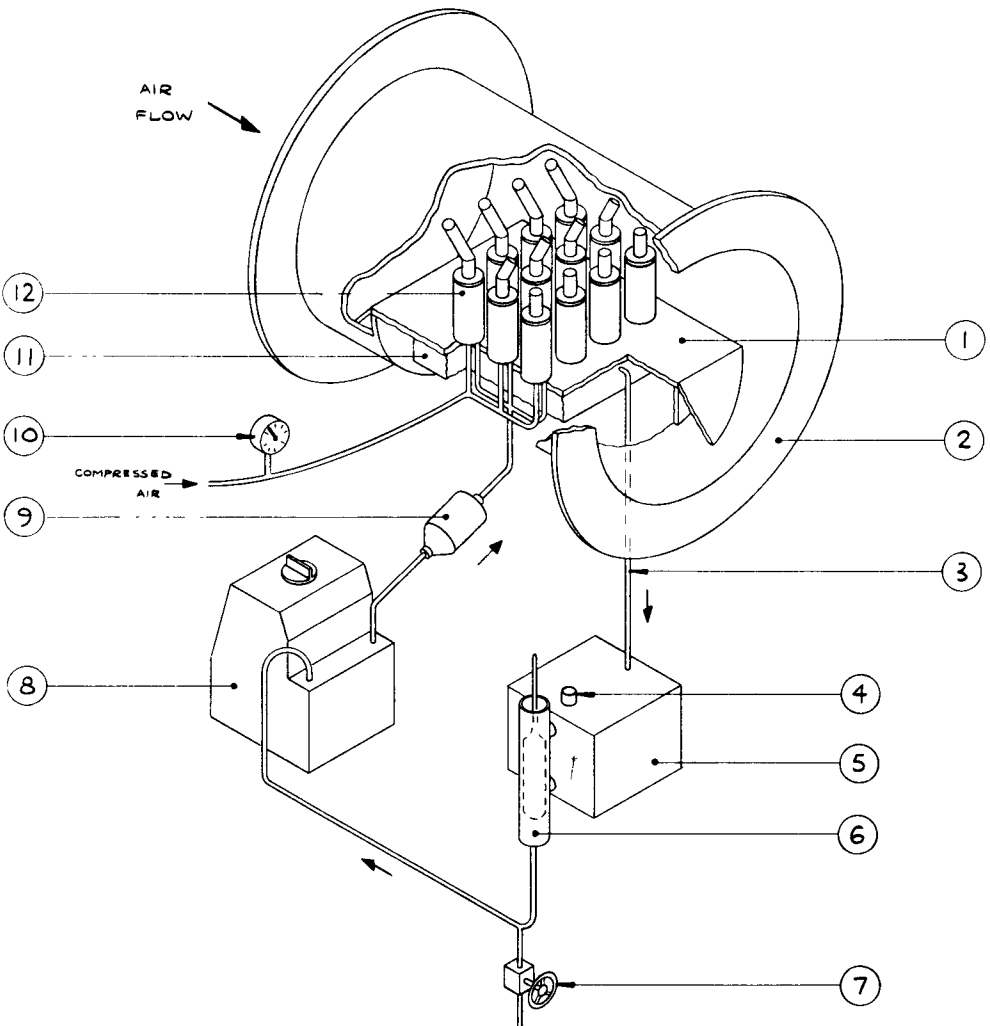
1 - Connections to photomultiplier. 2 - "Pass-fail" set level control.  
3 - Zero control, normal operation. 4 - Zero changeover switch.  
5 - Zero control, high sensitivity operation. 6 - Recorder output.  
7 - Indicating meter. 8 - EHT on-off switch/warning light. 9 - "Fail"  
indicator lamp (red). 10 - Fuse. 11 - "Pass" indicator lamp (green).

12 - Amplifier on-off switch/warning light. 13 - Hydrogen flow meter. 14 - Clean air flowmeter. 15 - Sample air flowmeter. 16 - Hydrogen manometer. 17 - Hydrogen control valve. 18 - Clean air bleed valve. 19 - Sample air bleed valve. 20 - Clean air/sample air changeover valve. 21 - Electronic unit.

FIGURE 7 CALIBRATION LINE USING INDIVIDUAL ATOMIZERS

FIGURE 8 CALIBRATION LINE USING AEROSOL DILUTION

FIGURE 9 RECORDING OF UPSTREAM AND DOWNSTREAM DEFLEXIONS



**FIGURE 1 AEROSOL GENERATOR**

- 1 - Platform. 2 - Duct Section. 3 - Drain Line. 4 - Vent. 5 - Reservoir.
- 6 - Hydrometer Chamber. 7 - Drain Cock. 8 - Tube pump. 9 - Line Filter. 10 - Pressure gauge. 11 - Base. 12 - Dautrebande Atomizer Units.



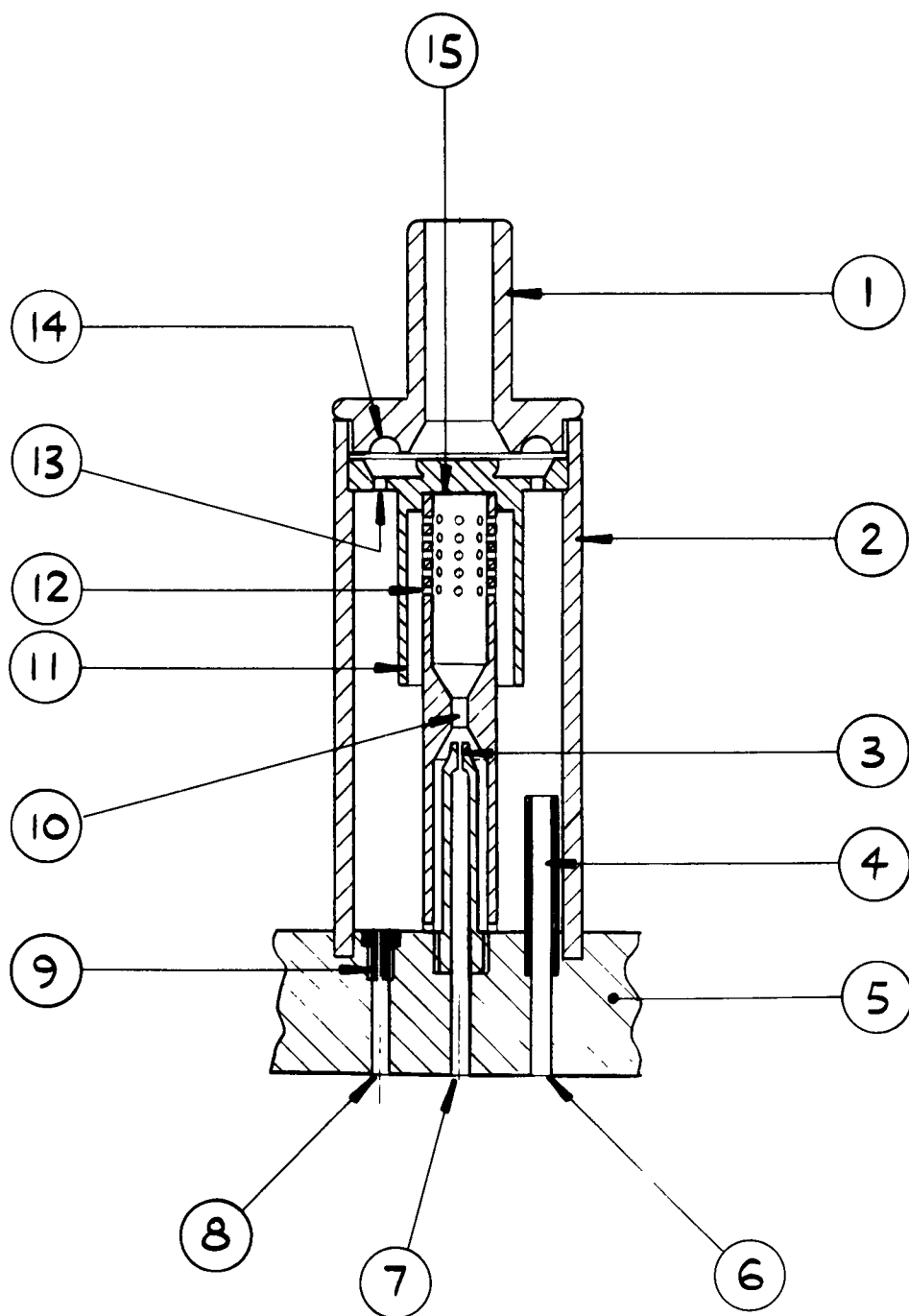


FIGURE 2 DAUTREBANDE ATOMIZER UNIT

- 1 - Aerosol outlet. 2 - Atomizer body. 3 - Compressed air inlet jet.  
4 - Overflow drain tube. 5 - Base. 6 - Drain outlet. 7 - Compressed air  
inlet. 8 - Solution inlet. 9 - Solution inlet jet. 10 - Venturi orifice throat.  
11 - 2nd stage baffle. 12 - 2nd stage orifice. 13 - 3rd stage orifice.  
14 - 3rd stage baffle. 15 - 1st stage baffle.

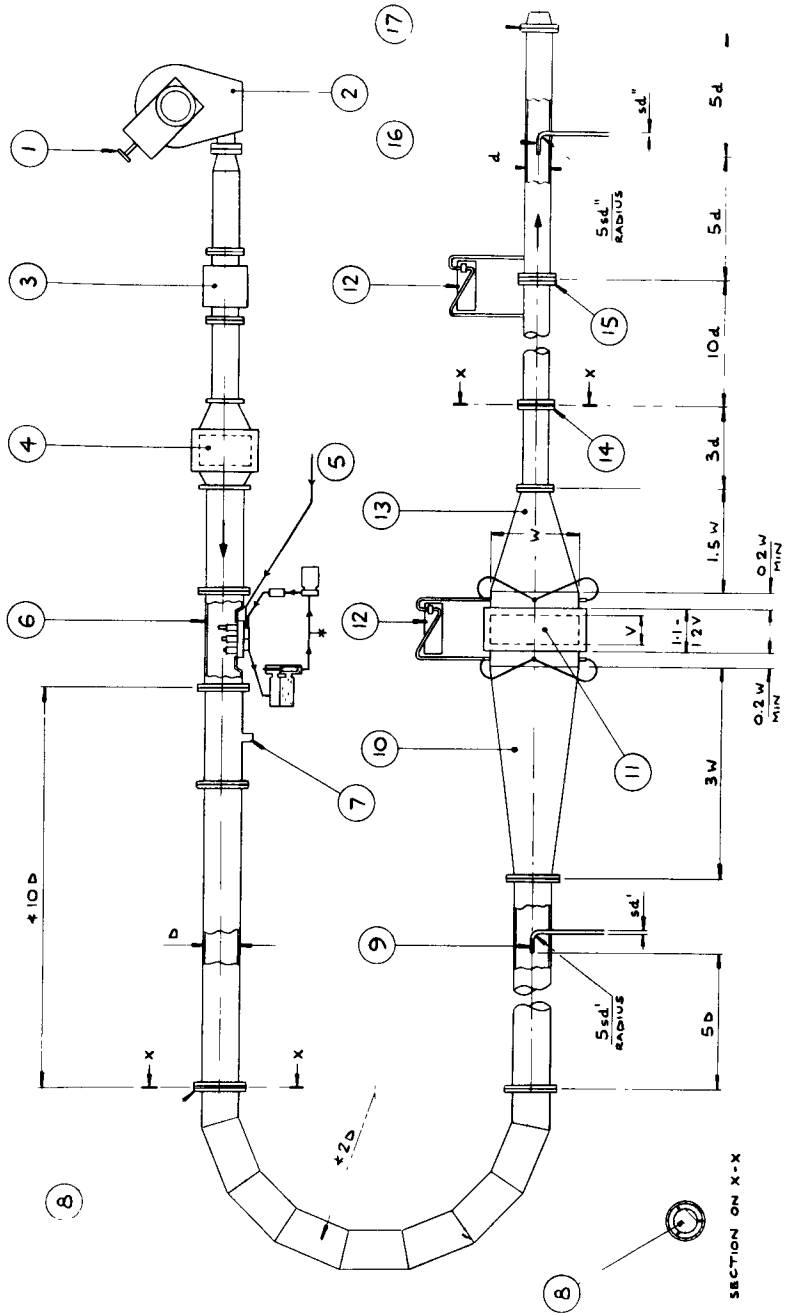


FIG. 3

FIGURE 3 LAYOUT OF DUCTING

- 1 - Variable flow restrictor.
- 2 - Blower.
- 3 - Heater.
- 4 - Prefilter.
- 5 - Compressed air feed.
- 6 - Aerosol generator.
- 7 - Drain point.
- 8 - Mixing baffle (upstream).
- 9 - Sample point (upstream).
- 10 - Upstream transition piece.
- 11 - Filter test housing.
- 12 - Inclined manometer.
- 13 - Downstream transition piece.
- 14 - Mixing baffle (downstream).
- 15 - Flow measuring orifice.
- 16 - Sampling point (downstream).
- 17 - Variable flow restrictor.

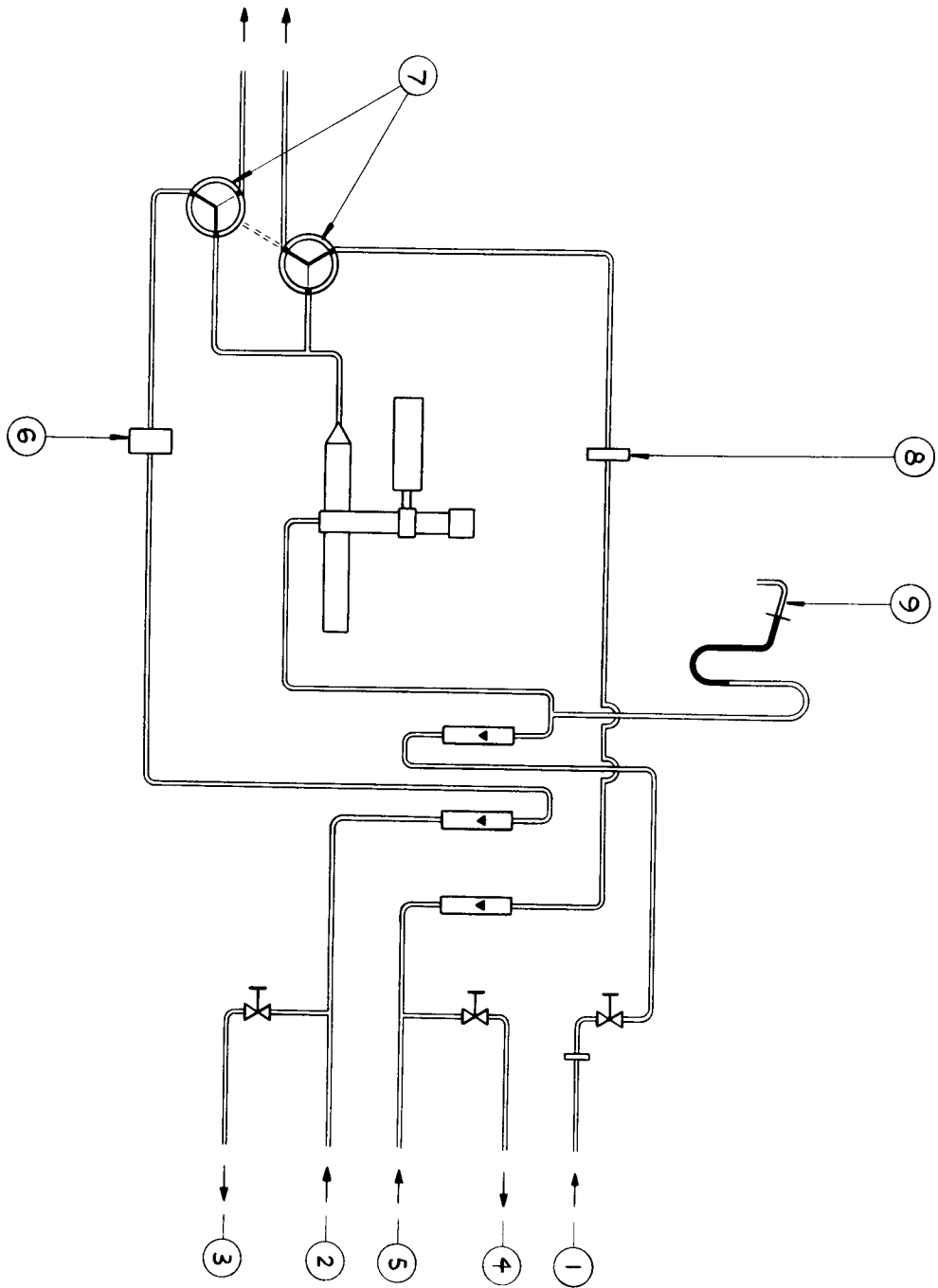


FIGURE 4 SODIUM FLAME DETECTOR - SCHEMATIC

1 - Hydrogen inlet. 2 - Clean air supply. 3 - Clean air bleed.  
4 - Sample air bleed. 5 - Sample air supply. 6 - High efficiency line  
filter. 7 - Changeover valve. 8 - Coarse line filter. 9 - Inclined manometer.

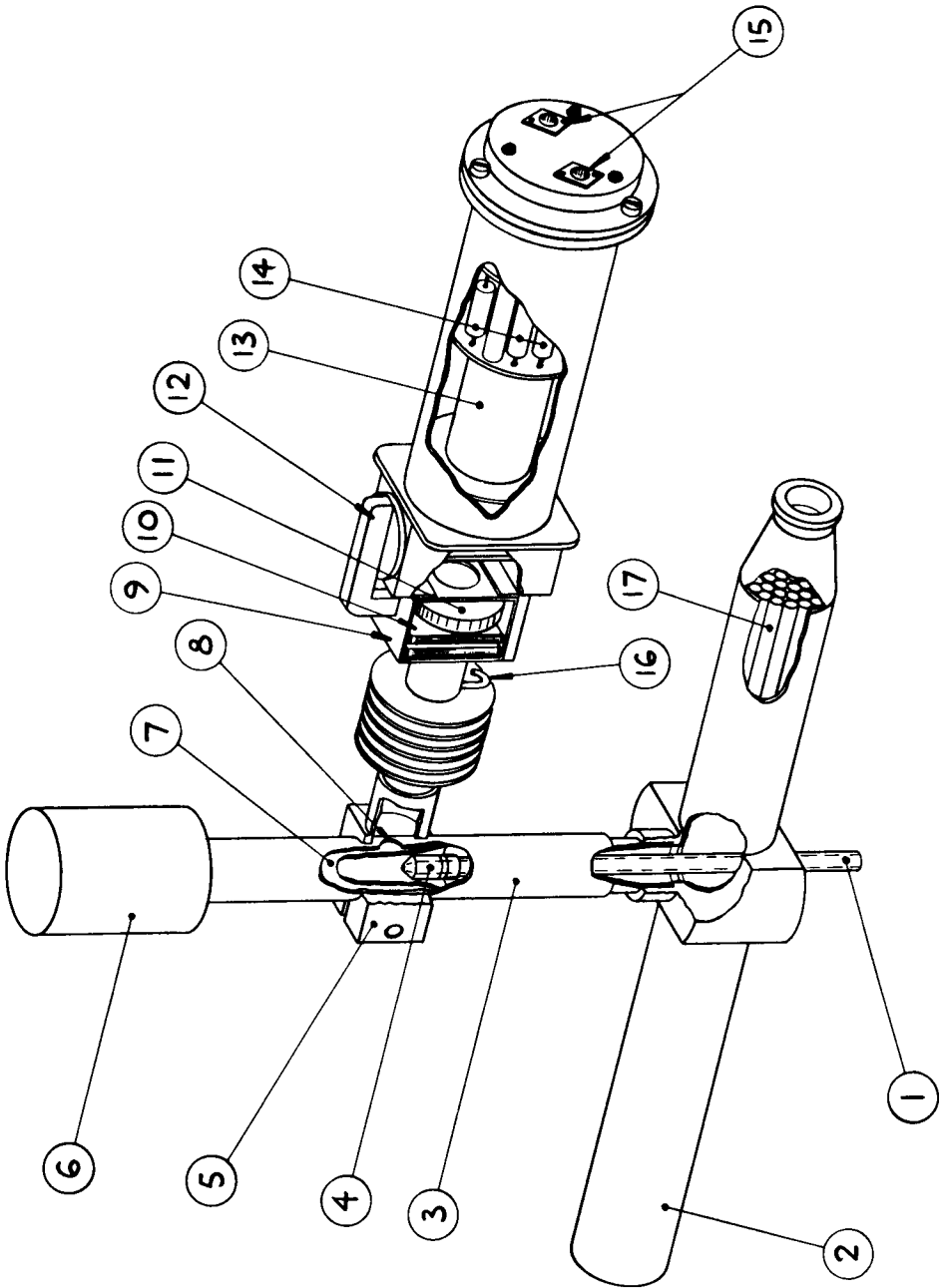


FIGURE 5 FLAME TUBE AND OPTICAL SYSTEM

1 - Hydrogen feed pipe. 2 - Test tube. 3 - Flame tube. 4 - Burner.  
5 - Bracket. 6 - Cap. 7 - Glass chimney. 8 - Window. 9 - Light filter box.  
10 - Neutral density filter. 11 - Interference filter 589 mm. 12 - Rotary  
light shutter. 13 - Photomultiplier. 14 - Dynode resistor chain.  
15 - Connections for EHT and signal cables. 16 - Vent tube. 17 - Flow  
straightener.

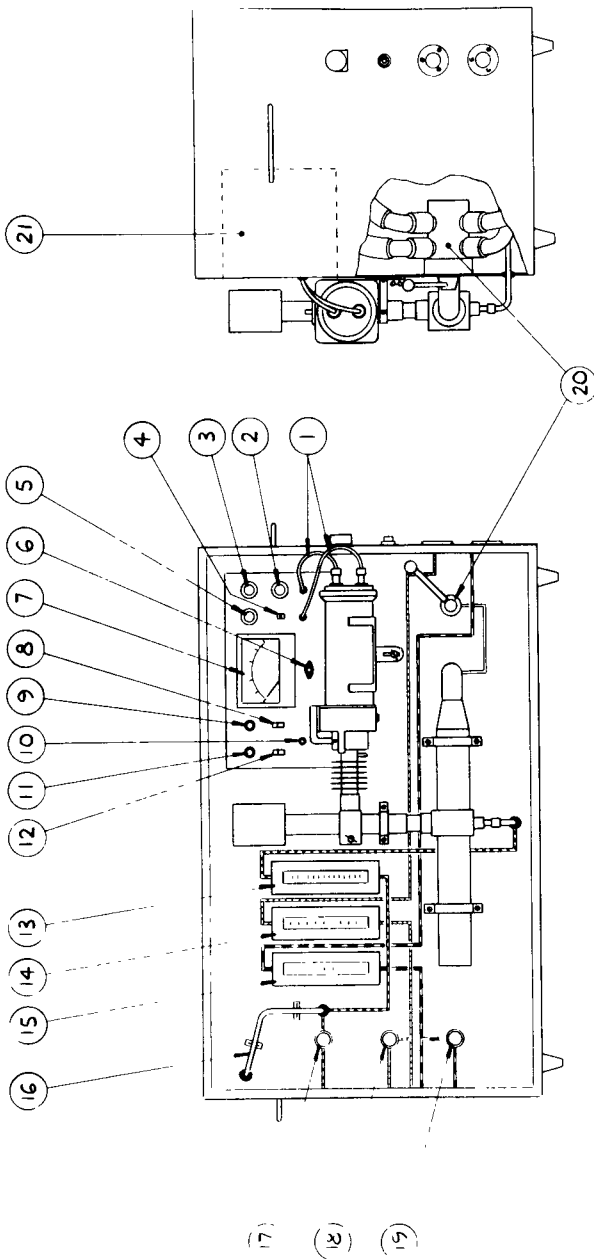


FIGURE 6 SODIUM FLAME DETECTOR - LAYOUT

- 1 - Connections to photomultiplier. 2 - "Pass-fail" set level control.
- 3 - Zero control, normal operation. 4 - Zero changeover switch.
- 5 - Zero control, high sensitivity operation. 6 - Recorder output.
- 7 - Indicating meter. 8 - EHT on-off switch/warning light. 9 - "Fail" indicator lamp (red).
- 10 - Fuse. 11 - "Pass" indicator lamp (green).
- 12 - Amplifier on-off switch/warning light. 13 - Hydrogen flow meter.
- 14 - Clean air flowmeter. 15 - Sample air flowmeter. 16 - Hydrogen manometer.
- 17 - Hydrogen control valve. 18 - Clean air bleed valve.
- 19 - Sample air bleed valve. 20 - Clean air/sample air changeover valve.
- 21 - Electronic unit.

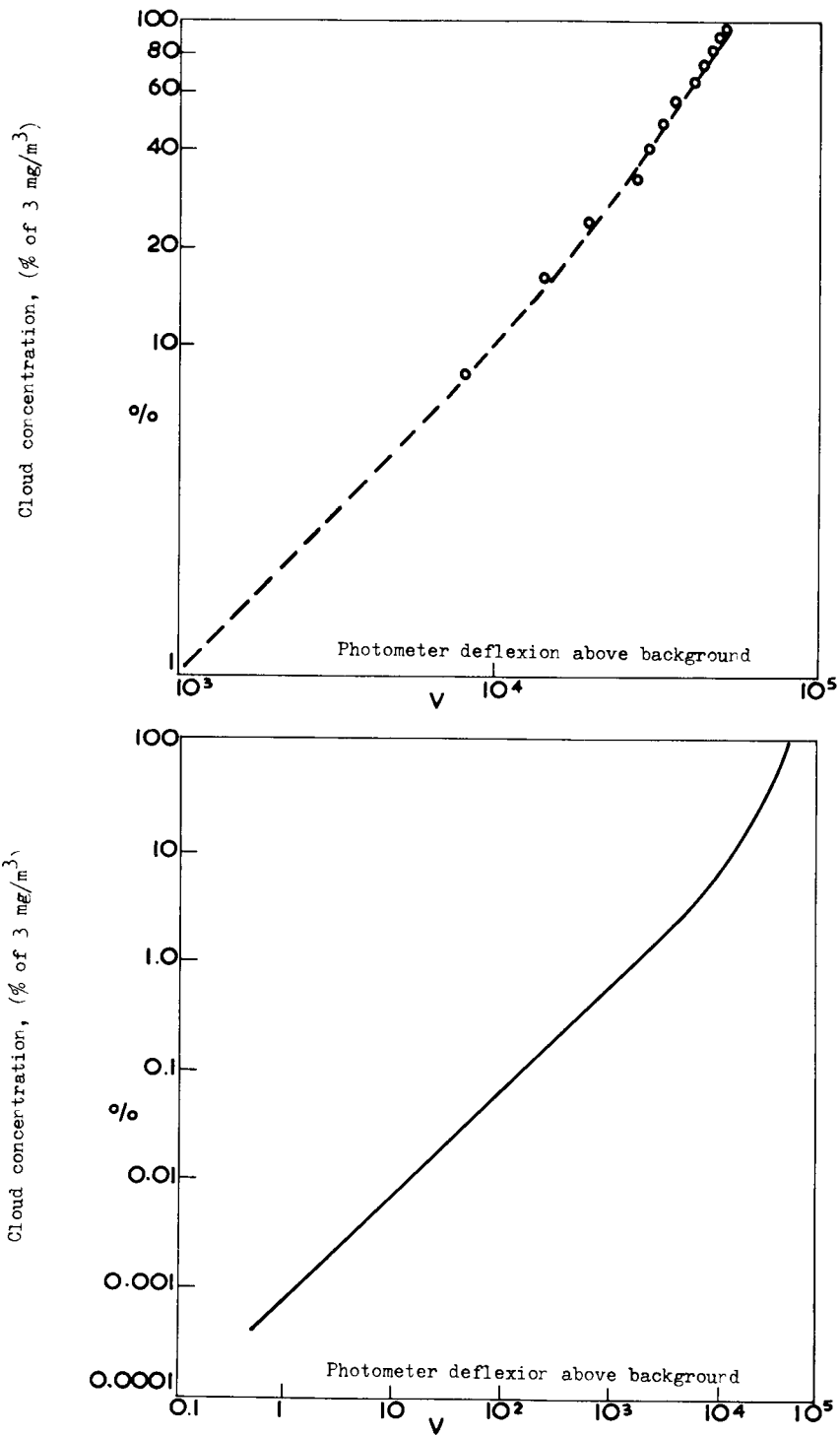
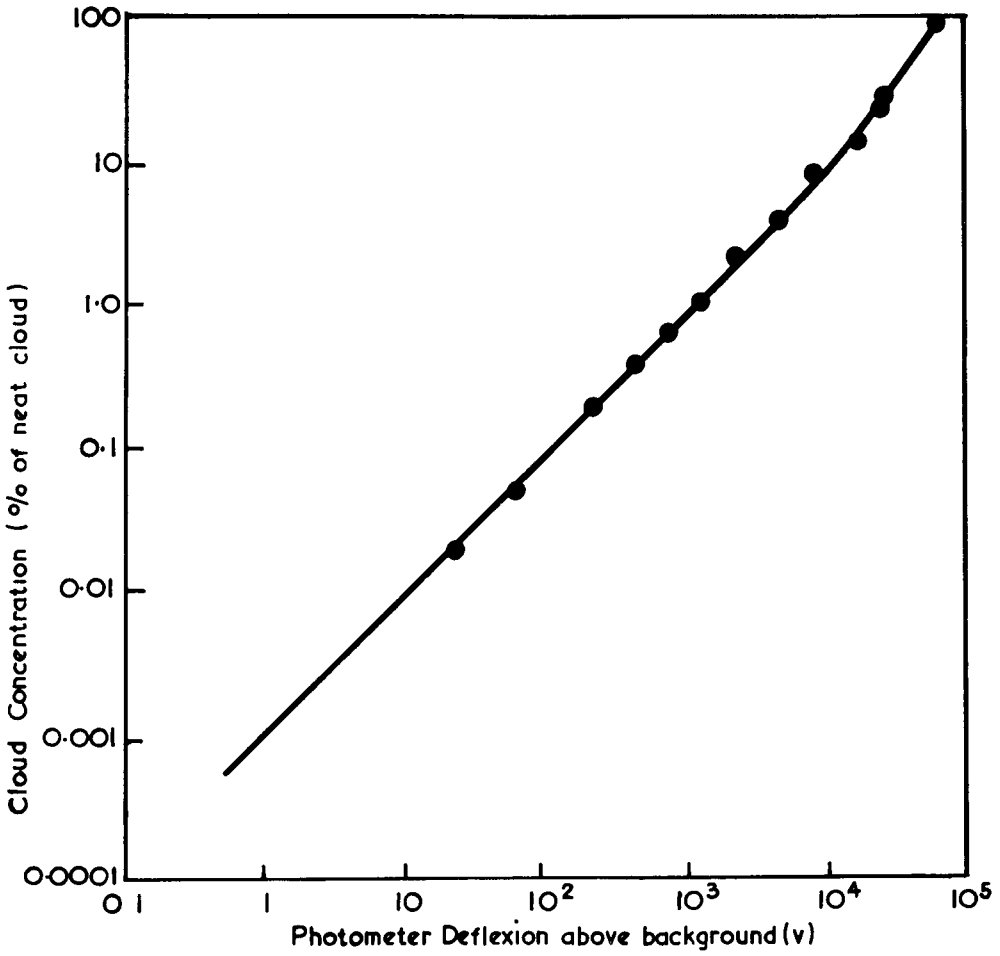
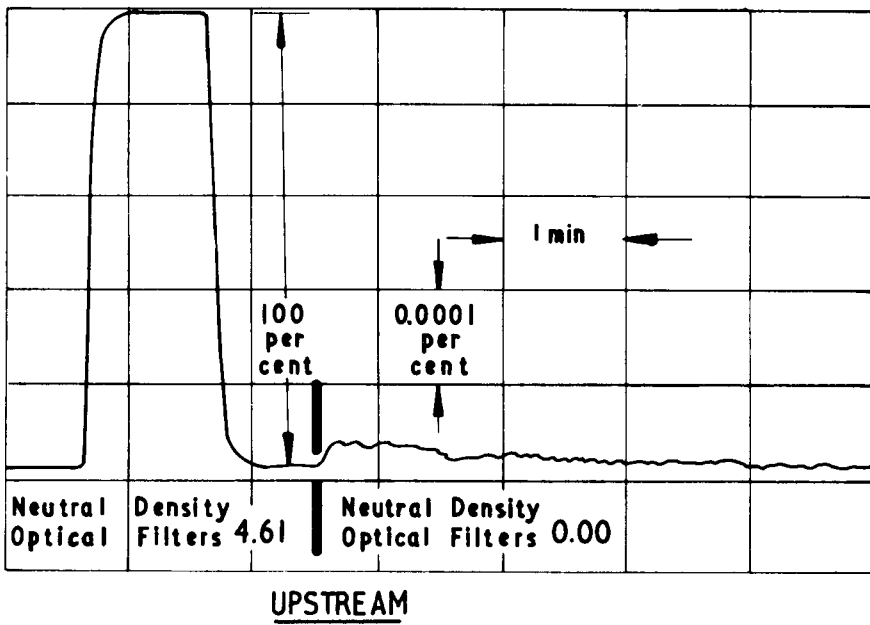
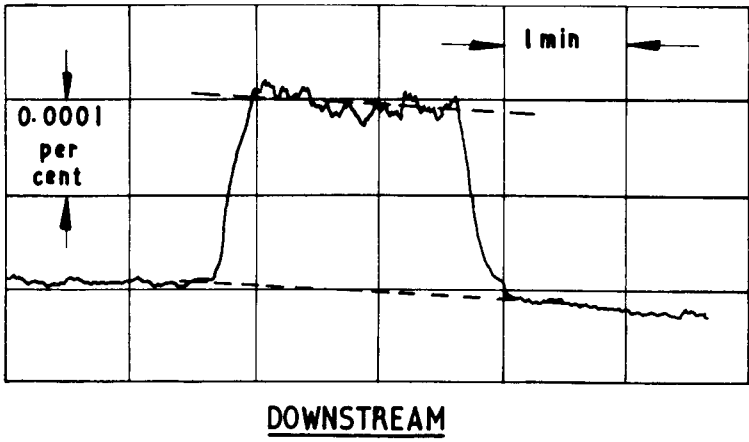


FIGURE 7 CALIBRATION LINE USING INDIVIDUAL ATOMIZERS



CALIBRATION LINE OBTAINED USING  
AEROSOL DILUTION

FIG. 8



RECORDING OF UPSTREAM & DOWNSTREAM DEFLEXIONS

FIG. 9



VOR-ORT-PRUEFUNG GROSSER SCHWEBSTOFFFILTERANLAGEN;  
BETRIEBSERFAHRUNGEN UND ERWEITERUNG DES VERFAHRENS  
AUF PRUEFUNGEN UNTER SIMULIERTEN  
LWR-STOERFALLBEDINGUNGEN (★)

A. Weinert, H. G. Dillmann und J. G. Wilhelm  
Gesellschaft für Kernforschung  
Karlsruhe - B. R. DEUTSCHLAND

KURZFASSUNG. Ein Verfahren zur Erzeugung und Messung von Feststoff-aerosolen hoher Konzentration wird beschrieben, das die Prüfung grosser Schwebstofffilteranlagen im eingebauten Zustand ermöglicht.

Ueber Betriebserfahrungen in Kernkraftwerken mit Anlagen bis  $90\ 000\ \text{m}^3\text{h}^{-1}$  wird berichtet.

Die geplante Erweiterung des Verfahrens für die Schwebstofffilterprüfung unter simulierten Störfallbedingungen in einem LWR-Containment (erhöhter Druck, hohe Temperatur, grosse relative Feuchte) wird vorgestellt.

SUMMARY. IN SITU TESTING OF LARGE AEROSOL FILTERS - OPERATING EXPERIENCE AND EXTENSION OF THE APPLICATION OF THE TEST METHOD TO INCLUDE SIMULATED LWR (★) NUCLEAR ACCIDENT CONDITIONS. A method of producing and measuring high-concentration particulate aerosols for in-situ testing of large aerosol filters is described together with operating experience with throughputs of up to  $90\ 000\ \text{m}^3\text{h}^{-1}$  in nuclear power stations.

Plans are described for extending the application of the test method to include aerosol filters under simulated nuclear accident conditions in a LWR containment (high pressure, high temperature, high relative humidity).

RESUME. EXAMEN IN SITU DE GRANDES INSTALLATIONS DE FILTRES A AEROSOLS - EXPERIENCE ACQUISE ET EXTENSION DU PROCEDE AUX ESSAIS REALISES DANS LES CONDITIONS SIMULEES D'ACCIDENT D'UN REACTEUR A EAU LEGERE. La méthode décrite de production et de mesure de fortes concentrations d'aérosols de solides sert à l'essai in situ de grands systèmes de filtres à aérosols.

On fait état de l'expérience acquise auprès de centrales nucléaires dotées d'installations traitant jusqu'à  $90\ 000\ \text{m}^3\text{h}^{-1}$ .

Il est prévu d'étendre la méthode à l'essai de filtres à aérosols dans les conditions simulées d'un accident survenant dans l'enceinte d'un réacteur à eau légère (pression élevée, haute température, forte humidité relative).

---

(★) LWR = Light-Water-Reactor

## I. Einleitung und Problemstellung

In der Sicherheitsbehälteratmosphäre und in der Abluft von Kernkraftwerken ist im Normalbetrieb und vor allem im Störfall mit dem Auftreten von radioaktiven Schwebstoffen zu rechnen. Diese können in Filteranlagen abgeschieden werden, die üblicherweise aus Vorfiltern und nachgeschalteten Schwebstofffiltern der Klasse S (HEPA-Filtern) bestehen. Um die Leistungsfähigkeit dieser Filter garantieren zu können, müssen Verfahren zur Abscheidegradbestimmung bzw. zum Nachweis der Leckfreiheit bereitgestellt werden.

Bis heute werden in der Bundesrepublik Deutschland die Filterelemente beim Hersteller einzeln bei Nenndurchsatz auf ihren Abscheidegrad geprüft (z. B. mit Ölnebel) und vor oder nach dem Einbau mit stark reduziertem Durchsatz auf visuell erkennbare Lecks (Ölfadentest) untersucht. Bei einigen Filtergehäusen kann eine Dichtsitzprüfung der Zellen im eingebauten Zustand mit Hilfe einer in der Dichtfläche des Gehäuses umlaufenden Nut durchgeführt werden.

Eine befriedigende Methode zur Prüfung großer Filteranlagen vor Ort stand bisher in der Bundesrepublik Deutschland nicht zur Verfügung, da die Herstellung ausreichender Prüfaerosolmengen bei Volumenströmen der Größenordnung  $100.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  nicht gelöst war. Der in den USA angewandte DOP-Test großer Filteranlagen wird hier nicht durchgeführt, weil trotz hohen Prüfungsaufwandes keine optimale Teilchengröße zu erreichen ist, und weil eine Vergiftung nachgeschalteter Jod-Sorptionsfilter eintreten kann.

Außerdem eignen sich die bisher üblichen Prüfaerosole nicht zur Filterprüfung unter simulierten Reaktorstörfallbedingungen, bei denen hohe Temperaturen, hohe Drücke und große Luftfeuchten einzustellen sind.

Es mußten also Verfahren zur Erzeugung von Prüfaerosolen gefunden werden, an die folgende Anforderungen zu stellen sind: 1) die mittlere Teilchengröße sollte zwischen  $0,1$  und  $0,3 \mu\text{m}$  liegen, da Faserfilter in diesem Bereich ein Abscheidegradminimum aufweisen [1, 2]; 2) für die Prüfung großer Anlagen sollten hohe Massenkonzentrationen erzeugt werden; 3) für Untersuchungen unter Störfallbedingungen sollte das Prüfaerosol bei Temperaturen bis zu  $200^\circ\text{C}$  nur einen vernachlässigbaren Dampfdruck haben, und es muß auch bei hoher Luftfeuchte beständig sein.

Die Gesamtheit dieser Forderungen kann nur von einem Feststoffaerosol erfüllt werden.

## II. Aerosolerzeugung und Meßmethoden

Der in Großbritannien bei der Prüfung von einzelnen Filterzellen angewandte Sodium Flame Test legte den Einsatz von NaCl-Aerosol auch bei der Prüfung großer Anlagen nahe. Die Aerosolherstellung durch Versprühen von Salzlösung mit anschließender Trocknung liefert jedoch zu geringe Aerosolerzeugungsraten bei nicht optimalem Teilchendurchmesser; außerdem bringen die notwendigen Trocknungsstrecken Probleme mit sich.

J. Dymant schlug vor, Feststoffaerosole durch Verdampfen von Salz in einer Flamme zu erzeugen und berichtete über entsprechende Versuchsergebnisse [3]. Ausgehend von diesem Prinzip der Aerosolerzeugung wurde im Kernforschungszentrum Karlsruhe ein Verfahren zur Prüfung großer Schwebstofffilteranlagen im eingebauten Zustand bis zur Anwendungsreife entwickelt.

Die Herstellung des Prüfaerosols beruht darauf, daß feingemahlenes Natriumchlorid in eine Gasflamme gefördert wird, wo es verdampft. Nach Zumischung zu einem kühlen Luftstrom kondensiert bzw. kristallisiert der Dampf zu submikroskopischen Salzpartikeln. Als Aerosolgenerator wird eine Pulverspritzpistole benutzt, die normalerweise zur Beschichtung von Werkstücken mit Metall oder Kunststoff dient und mit verschiedenen Brenngasen betrieben werden kann. Zusätzlich wird in diese Pistole Preßluft oder Sauerstoff eingeblasen. Dadurch entsteht in einem Injektorsystem Unterdruck und das als feines Pulver vorliegende Salz wird direkt in die heiße Flammenzone gefördert.

Besonders schwierig zu erreichen waren eine kontinuierliche Zuführung des Salzes zum Brenner und ein hoher Wirkungsgrad der Aerosolerzeugung, d. h. die Umsetzung eines möglichst großen Teils des Salzes zu Schwebstoffen. Da handelsübliches Natriumchlorid zu grobkörnig und schlecht fließend ist, wird das Salz in einer Kugelmühle mehrere Stunden bis zu einer Teilchengröße von ca. 10 µm gemahlen. Während und nach dem Mahlen werden 3 bis 4 Gew.% eines noch wesentlich feinkörnigeren, pulverförmigen Fließmittels auf SiO<sub>2</sub>-Basis zugemischt. Nach anschließendem Sieben ergibt sich ein gut fließendes Produkt, das seine Eigenschaften über lange Zeit behält, da durch das einhüllende hydrophobe SiO<sub>2</sub>-Pulver eine Feuchtigkeitsaufnahme der NaCl-Partikel weitgehend unterbunden wird.

Als problematisch erwies sich auch die Dosierung des Salzes, da die Dosier-rate zwar innerhalb eines großen Bereiches einstellbar sein soll, andererseits aber wenig vom eingestellten Wert abweichen darf, um Schwankungen der

Aerosolkonzentration klein zu halten. Erst die Verwendung eines regelbaren, volumetrisch fördernden Dosiergerätes brachte den gewünschten Erfolg.

Durch diese Maßnahmen und durch die Optimierung des Brenngasgemisches aus Azetylen und Sauerstoff konnte der Wirkungsgrad der Aerosolerzeugung auf über 80 % gesteigert werden. Aerosolerzeugungsraten von  $10 \text{ g min}^{-1}$  lassen sich mit guter Konstanz verwirklichen.

Zur Ermittlung der Größenverteilung der so hergestellten Aerosole wurde ein Szintillations-Spektralteilchenzähler benutzt. Die Teilchen werden dabei einzeln in einer Wasserstoffflamme verdampft, wobei sie größenabhängige Lichtimpulse aussenden, die von einem Amplitudenanalysator ausgewertet werden. Das Gerät liefert bei kontinuierlicher Arbeitsweise elementspezifische Teilchengrößenspektren in einem Bereich von  $10^{-2} \mu\text{m}$  bis zu  $10^2 \mu\text{m}$ .

Eine Reihe von Messungen ergab, daß bei dem flammenverdampften NaCl-Aerosol eine logarithmische Normalverteilung vorliegt. Diese ist in Abb. 1 dargestellt. Bei einer geometrischen Standardabweichung von 1,42 beträgt der mittlere Teilchendurchmesser  $0,17 \mu\text{m}$  nach Anzahl bzw.  $0,24 \mu\text{m}$  nach Masse.

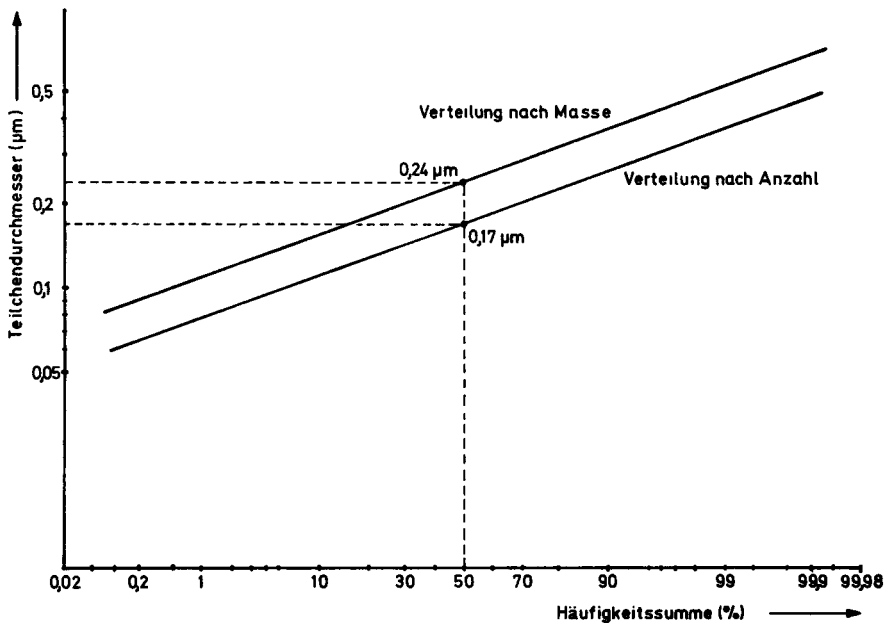


Abb. 1: Teilchengrößenverteilung des durch Flammenverdampfung hergestellten NaCl-Aerosols.

$$d_m \text{ (nach Anzahl)} = 0,17 \mu\text{m}, d_m \text{ (nach Masse)} = 0,24 \mu\text{m}, \sigma_g = 1,42$$

Die Massenkonzentrationsmessung der NaCl-Aerosole bei der Filterprüfung wird mit kommerziellen Flammenfotometern durchgeführt, die von einer englischen Firma speziell für den Natrium Flame Test hergestellt werden. Der Meßbereich dieser Geräte reicht von ca.  $2 \cdot 10^{-8} \text{ g m}^{-3}$  bis ca.  $15 \cdot 10^{-3} \text{ g m}^{-3}$ .

Bei voller Ausnutzung der Meßgrenzen lassen sich Dekontaminationsfaktoren von  $10^5$  bis  $10^6$  nachweisen. Für Rohluft- und Reinluftmessung wird jeweils ein gesondertes Gerät benutzt. Da mit diesem Aufbau synchron gemessen werden kann, wird die Beaufschlagungszeit der Filter verkürzt und Beeinträchtigungen durch die lange Relaxationszeit der in den Fotometern verwendeten CdS-Zellen werden ausgeschaltet. Die Flammenfotometer werden vor einer Filterprüfung mit Hilfe des zuvor erwähnten Spektralteilchenzählers genau kalibriert.

### III. Anwendungsbeispiel

Im Folgenden soll auf die Vor-Ort-Prüfung der Schwebstofffilteranlage eines 1200 MW<sub>e</sub>-Kernkraftwerkes in der Bundesrepublik Deutschland eingegangen werden.

Das Abluft-Schwebstofffiltersystem dieses Kernkraftwerkes besteht aus zwei Filterwänden mit je 44 Zellen und einem Gesamtdurchsatz von  $180.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . Für die Prüfung können die Wände getrennt mit einem Durchsatz von jeweils  $90.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  betrieben werden. In Abb. 2 ist am Beispiel einer Filterwand die Anlage und der Prüfaufbau schematisch dargestellt.

Die Aerosoleinspeisung erfolgte ca. 12 Kanaldurchmesser vor der Rohluftmeßstelle in einen Teilkanal, wobei der Aerosolgenerator mit einem Adapterstück direkt in den Luftkanal eingesetzt wurde. Nach Zusammenführung dieses Teilstromes mit dem Restdurchsatz von ca.  $50.000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$  durchströmte das Prüfaerosol noch eine Strecke von ca. 8 Kanaldurchmessern, bevor es die Rohluftmeßstelle erreichte. Die gleichmäßige Aerosolverteilung an dieser Stelle und damit an der Filterwand war in einem Vorversuch überprüft worden.

Die Aerosolprobenahme erfolgte roh- und reinluftseitig mit speziellen Sonden, die so konstruiert bzw. angeordnet waren, daß örtliche Konzentrationsschwankungen erfaßt und ausgeglichen wurden. Zur Absaugung der Aerosolproben und Förderung zum Meßgerät werden Luftstrahlpumpen verwendet. Diese haben sich gegenüber anderen Pumpen mit aerosolführenden Verdichtungsräumen als günstig erwiesen, da hier keine Schwebstoffablagerungen ent-

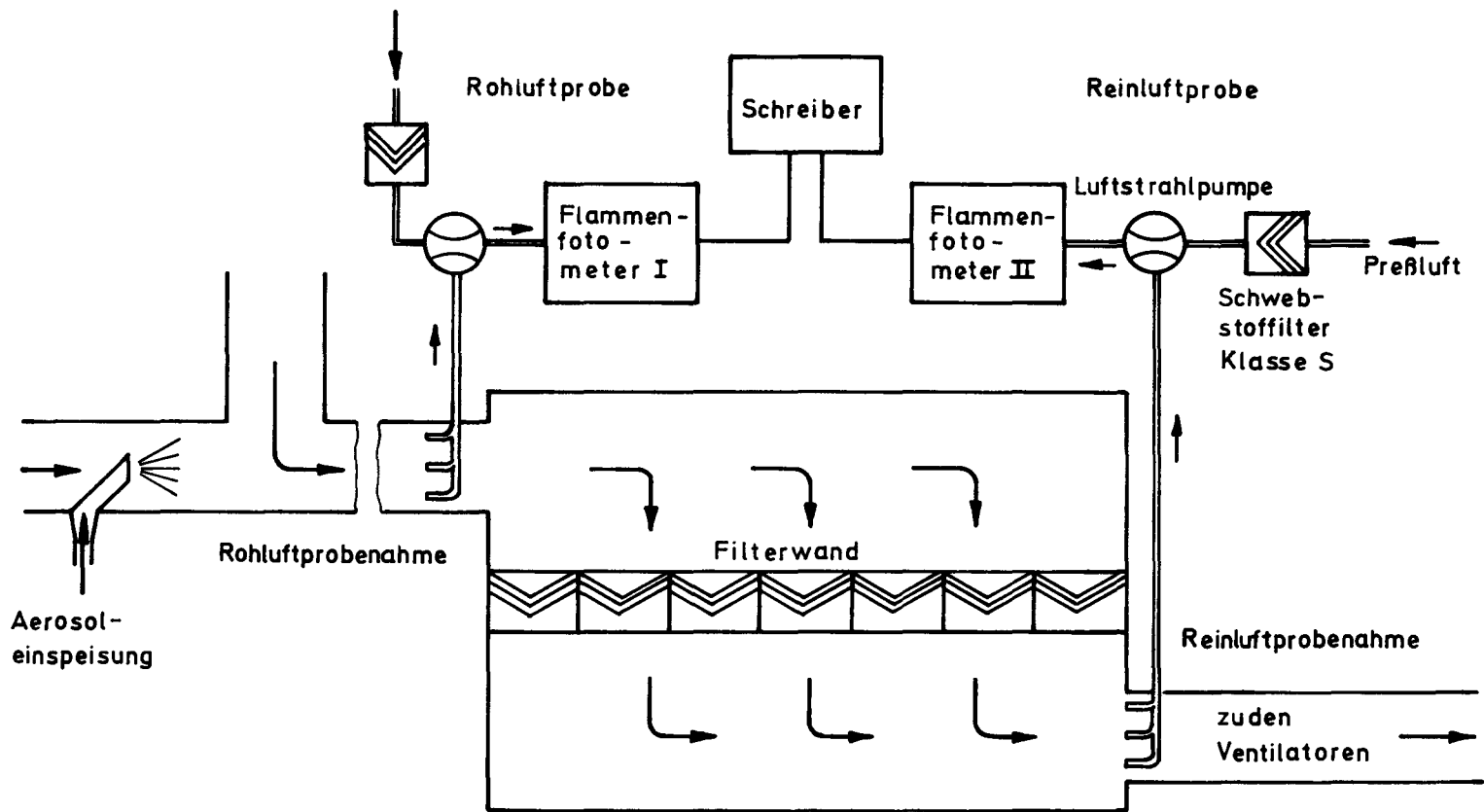


Abb.2 Vor-Ort-Prüfung einer Schwebstofffilterwand

stehen. Die Probenströme betragen ca.  $1.000 \text{ l h}^{-1}$  auf der Rohluft- und ca.  $700 \text{ l h}^{-1}$  auf der Reinluftseite. Abb. 3 und 4 zeigen die Aerosoleinspeisung bzw. eine der beiden baugleichen Probenahmestationen mit dem dazugehörigen Flammenfotometer. Die Aerosolaufgabedauer betrug pro Messung etwa 3 Minuten. Die Meßsignale der beiden Flammenfotometer wurden direkt auf einem Zweikanalschreiber aufgezeichnet.

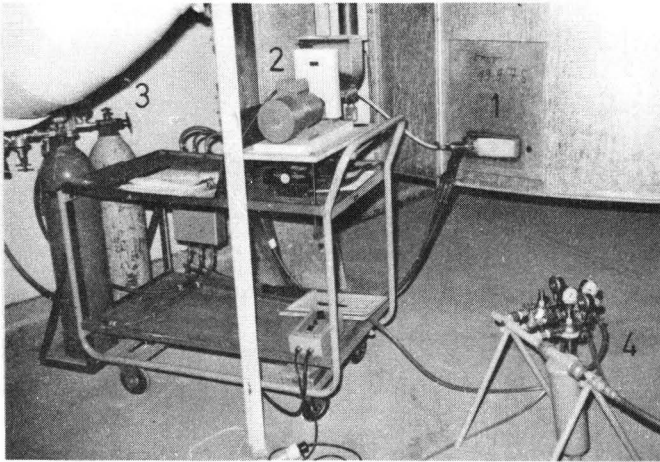


Abb. 3: Prüfaerosoleinspeisung

- |                      |                       |
|----------------------|-----------------------|
| 1. Aerosolgenerator  | 3. Brenngasversorgung |
| 2. Pulverdosiergerät | 4. Druckluftstation   |

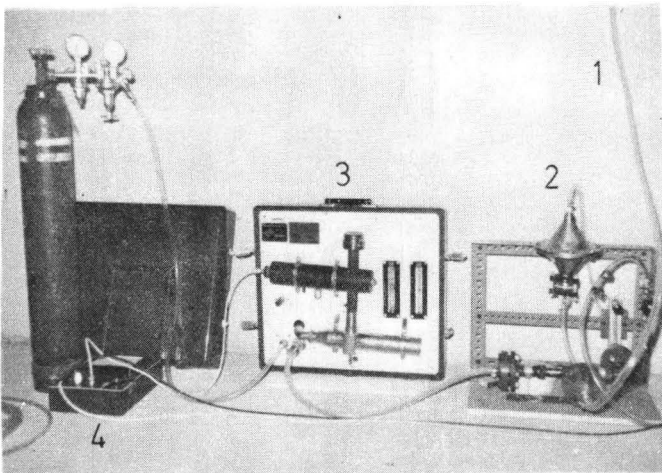


Abb. 4: Probenahme und -messung

- |                    |                           |
|--------------------|---------------------------|
| 1. Probenzuführung | 3. Flammenfotometer       |
| 2. Luftstrahlpumpe | 4. Detektor für CdS-Strom |

Es ergaben sich folgende Meßwerte:

Filterwand 1: Rohluftkonzentration :  $6,8 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$   
Reinluftkonzentration:  $0,07 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$   
Durchlaßgrad : 0,001 %  
Abscheidegrad : 99,999 %

Diese Filterwand übertrifft damit die Anforderungen an Schwebstofffilter der Klasse S (HEPA-Filter).

Filterwand 2: Rohluftkonzentration :  $4,42 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$   
Reinluftkonzentration:  $1,66 \text{ } \mu\text{g}$   
Durchlaßgrad : 0,038 %  
Abscheidegrad : 99,962 %

Die Daten weisen auf Leckstellen in der Filterwand hin. Zur Sicherheit wurde eine Wiederholungsmessung durchgeführt.

Filterwand 2,  
2. Messung : Rohluftkonzentration :  $4,42 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$   
Reinluftkonzentration:  $2,15 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$   
Durchlaßgrad : 0,049 %  
Abscheidegrad : 99,951 %

Das Ergebnis der zweiten Messung bestätigt die Reproduzierbarkeit des Prüfverfahrens.

Nach Identifizierung und Beseitigung der Leckstellen wurde eine dritte Abscheidegradbestimmung durchgeführt.

Filterwand 2,  
3. Messung : Rohluftkonzentration :  $3,57 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$   
Reinluftkonzentration:  $< 0,025 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$   
Durchlaßgrad :  $< 0,001 \text{ } \%$   
Abscheidegrad :  $> 99,999 \text{ } \%$

Bei der Reinluftmessung wurde praktisch die untere Meßgrenze des Nachweisgerätes erreicht ( $2 \cdot 10^{-8} \text{ g m}^{-3}$ ).

Mit der Flammenverdampfungsmethode steht also ein Verfahren zur Verfügung, das es gestattet, auch die größten heute eingesetzten Schwebstofffilteranlagen unter Betriebsbedingungen auf ihren Abscheidegrad zu prüfen.



#### IV. Prüfung von Schwebstofffiltern unter simulierten Reaktorstörfallbedingungen

Das Verhalten von Schwebstofffiltern unter gleichzeitigem Einfluß von erhöhtem Druck, hoher Temperatur und großer Luftfeuchte, d. h. unter Bedingungen, wie sie bei einem LWR-Störfall zu erwarten sind, ist nicht ausreichend bekannt. Deshalb soll das zuvor beschriebene Verfahren zur Prüfung von Störfallfiltern unter den genannten Bedingungen erweitert werden. Hierbei ist im wesentlichen an die Untersuchung von Filterzellen im technischen Prüfstand der Gesellschaft für Kernforschung, Karlsruhe, gedacht.

Dieser Prüfstand gestattet es, in einer Teststrecke bei Drücken bis zu 5 bar, Temperaturen bis 200°C und relativen Gasfeuchten von 20 bis 100 % r. F., Filterzellen von max. 2.000 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> Durchsatz zu untersuchen. Wesentlich hierbei ist, daß die gleichzeitige Einwirkung aller Parameter verwirklicht werden kann und eine Prüfung während der Beanspruchung der Filterelemente möglich ist.

Aufgrund der extremen Bedingungen ergeben sich bezüglich Herstellungsmethode und Prüfaerosol wesentliche Unterschiede:

- 1) Natriumchlorid ist bei hoher Feuchte nicht mehr als Feststoff beständig; zudem können Chlorjonen unter hoher Temperatur und Feuchte auch bei der aus Edelstahl bestehenden Teststrecke zur Korrosion führen.
- 2) Die Verwendung eines Gasbrenners in einem geschlossenen Drucksystem bringt große sicherheitstechnische Probleme mit sich. Außerdem führen die Reaktionsprodukte der Brenngase zu unerwünschter Veränderung der Gaszusammensetzung im Prüfstand. Zur Lösung dieser Probleme wird statt NaCl als Prüfaerosol Silberjodid eingesetzt, das gegen Feuchte beständiger und wesentlich weniger korrosiv ist. Die Gasflamme wird durch einen elektrisch betriebenen Plasmabrenner ersetzt.

Mit Hilfe eines Halogendetektors wurde untersucht, ob bei der Verdampfung von Silberjodid merkliche thermische Zersetzung stattfindet. Trotz hoher Empfindlichkeit des Gerätes (ca. 35 µg · m<sup>-3</sup>) war keine meßbare Jodkonzentration in der Abluft des Aerosolgenerators festzustellen. Erste Teilchengrößenanalysen mit dem Rasterelektronenmikroskop ergaben Partikeldurchmesser zwischen 0,07 und 0,17 µm. Zur Zeit laufen Versuche zur Optimierung des Aerosolspektrums nach dem Plasmaverdampfungsverfahren. Die Prüfung von Schwebstofffiltern im Filterprüfstand unter erhöhtem Druck,

hoher Temperatur und hoher Feuchte ist für 1977 vorgesehen.

Literaturangabe:

- [1]: C.N. Davies, "Air Filtration", S. 50.
- [2]: J. Dupoux, A. Briand, "Air filter efficiency as a function of particle size and velocity". Water, Air, and Soil Pollution 3 (1974).
- [3]: L. Boyne, J. Dymont, J. D. Thomason, "Generation of a sodium chloride aerosol for in-place testing of air filters". Filtration and Separation, 11/12, 1971.

ESSAIS IN SITU DES FILTRES ABSOLUS  
A LA CENTRALE NUCLEAIRE DE FESSENHEIM

R. Schnepf  
E. D. F. (\*)

Saint-Denis - FRANCE

RESUME. La centrale nucléaire de Fessenheim, du type PWR, est située sur le grand canal d'Alsace, à proximité du village de Fessenheim (Haut-Rhin).

Elle comporte deux tranches d'une puissance de 900 MWe chacune, dont la première devrait être mise en service avant la fin de l'année 1976. Les filtres absolus installés sur les circuits de ventilation de cette centrale (circuit du bâtiment des auxiliaires nucléaires, circuit du bâtiment combustible, circuit de la zone des traversées de l'enceinte étanche, circuit de la salle de commande) seront testés in situ avant le démarrage de la centrale, par la méthode mise au point par le Commissariat à l'Energie Atomique utilisant la fluorescéine sodée.

Après un bref rappel du principe de cette méthode, on décrit les circuits et les matériels mis en place à Fessenheim (prises d'injection et de prélèvement) pour permettre la mise en oeuvre des essais.

La procédure pratique (manoeuvres d'exploitation) est indiquée.

Si les essais sont réalisés à temps, ils seront commentés (difficultés rencontrées) et les résultats obtenus seront exposés.

KURZFASSUNG. IN-SITU-PRUEFUNGEN VON ABSOLUTFILTERN IM KERNKRAFTWERK FESSENHEIM. Der Standort des mit Druckwasserreaktoren ausgestatteten Kernkraftwerks Fessenheim befindet sich am Grand Canal d'Alsace unweit des Dorfes Fessenheim (Haut-Rhin). Es umfasst zwei Blöcke mit einer Leistung von je 900 MWe. Die Inbetriebnahme des ersten Blocks ist bis Ende 1976 vorgesehen.

Die in den Lüftungssystemen des Kraftwerks (Kreisläufe im nuklearen Hilfsanlagengebäude, Brennstoffgebäude, Bereich der Durchführungen durch den Sicherheitsbehälter, Schaltwarte) eingebauten Absolutfilter werden vor dem Anfahren des Kraftwerks mit Hilfe des vom Commissariat à l'Energie Atomique entwickelten Natriumfluoresceinat-Verfahrens in-situ geprüft.

Das Prinzip des Verfahrens wird kurz erklärt. Ferner werden die zur Durchführung der Prüfungen in Fessenheim verwendeten Kreisläufe und Materialien (Injektions- und Probenahmeverrichtungen) beschrieben. Die Praxis des Verfahrens (betriebliche Handhabung) wird erläutert. Sofern die Versuche rechtzeitig abgeschlossen werden können, wird über diese berichtet (aufgetretene Schwierigkeiten) und sollen die Ergebnisse kommentiert werden.

SUMMARY. IN-SITU TESTS ON ABSOLUTE FILTERS AT THE FESSENHEIM NUCLEAR POWER STATION. The Fessenheim nuclear power station is of the PWR type and is situated on the Alsace Grand Canal near the village of Fessenheim (Upper Rhine).

It comprises two blocks, each with a capacity of 900 MWe, the first of which should be commissioned before the end of 1976.

The absolute filters installed in the power station ventilation systems (individual systems for the auxiliary equipment block, the fuel store, the containment penetration zone, and the control room) will be in-situ tested before start-up using the sodium fluoresceinate method as developed by the Commissariat à l'Energie Atomique.

Following a brief review of the principles of this method, a description is given of the circuits and equipment installed at Fessenheim (injection and sampling points) which permit checks to be carried out.

(\*) E.D.F. : Electricité de France

A description is given of the practical aspects (operation control).

If the checks can be completed in time, they will be briefly discussed (together with any difficulties encountered) and the results obtained will be presented.

S O M M A I R E

1 - GENERALITES

2 - PRINCIPE THEORIQUE DE LA METHODE D'ESSAI

- 2.1. - Choix de l'aérosol de référence
- 2.2. - Détermination des concentrations amont et aval
- 2.3. - Expression de l'efficacité du filtre

3 - AMENAGEMENT DES CIRCUITS EN VUE DES TESTS IN SITU

- 3.1. - Prises d'injection
- 3.2. - Prises de prélèvement

4 - APPLICATION A LA CENTRALE DE FESSENHEIM

- 4.1. - Circuit de ventilation du bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN)
  - 4.1.1. - Description du circuit (figure n° 1)
  - 4.1.2. - Description sommaire du filtre à aérosols (figure n° 2)
  - 4.1.3. - Implantation des prises d'injection de fluoresceine (figure n° 3)
  - 4.1.4. - Implantation des prises de prélèvement amont (figure n° 3)
  - 4.1.5. - Implantation des prises de prélèvement aval (figure n° 3)
  - 4.1.6. - Déroulement de l'essai
  - 4.1.7. - Conclusion
- 4.2. - Circuit de ventilation des bâtiments de stockage du combustible
  - 4.2.1. - Description du circuit (figure n° 4)
  - 4.2.2. - Description sommaire du filtre absolu d'une tranche
  - 4.2.3. - Implantation des prises d'essais (figure n° 4)
    - 4.2.3.1. - Prise d'injection
    - 4.2.3.2. - Prise de prélèvement amont
    - 4.2.3.3. - Prise de prélèvement aval
  - 4.2.4. - Déroulement de l'essai
  - 4.2.5. - Conclusion
- 4.3. - Circuit de ventilation des bâtiments périphériques
  - 4.3.1. - Description du circuit (figure 5)
  - 4.3.2. - Description sommaire du filtre absolu (figure n° 6)
  - 4.3.3. - Implantation des prises d'essai (figure n° 5)
    - 4.3.3.1. - Prises d'injection
    - 4.3.3.2. - Prises de prélèvement amont
    - 4.3.3.3. - Prises de prélèvement aval

S O M M A I R E (suite)

- 4.3.4. - Déroulement de l'essai
- 4.3.5 - Conclusion
- 4.4. - Circuit de ventilation de la salle de commande
  - 4.4.1. - Description du circuit (figure n° 7)
  - 4.4.2. - Implantation des prises d'essai (figure n° 7)
    - 4.4.2.1. - Prise d'injection et de prélèvement amont
    - 4.4.2.2. - Prise de prélèvement aval
  - 4.4.3. - Déroulement de l'essai
  - 4.4.4. - Conclusions
- 5 - CONCLUSIONS

Répertoire des figures

## 1 - GENERALITES

La centrale nucléaire de FESSENHEIM, installée sur le Grand Canal d'Alsace, compte deux tranches PWR d'une puissance de 900 MWe chacune. La première tranche devrait être mise en service (divergence et couplage) avant la fin de l'année 1976.

L'îlot nucléaire de la centrale est composé, par tranche :

- d'un bâtiment réacteur à enceinte étanche,
- d'un bâtiment de stockage de combustible,
- des bâtiments périphériques (encore appelés zone des traversées).

Un bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN), commun aux deux tranches, complète cet ensemble qui est ventilé afin d'y maintenir un niveau acceptable de radioactivité et de température. Mise à part celle du bâtiment réacteur quand le réacteur fonctionne, les ventilations sont exploitées en circuit ouvert. Ceci impose, compte tenu des risques de contamination radioactive de l'air avant rejet à l'atmosphère, l'emploi de dispositifs d'épuration, notamment de filtres absolus destinés à la rétention des aérosols.

Afin de s'assurer du bon fonctionnement de ceux-ci, des essais in situ seront réalisés à chaque mise en service de filtres neufs (premier équipement ou remplacement de filtres usagés).

L'objet de la présente communication est de présenter, après un bref rappel théorique de la méthode employée en France, les dispositions matérielles et les modalités pratiques relatives à ces essais in situ.

## 2 - PRINCIPE THEORIQUE DE LA METHODE D'ESSAI

Un aérosol de référence est injecté dans le circuit de ventilation en fonctionnement aux conditions nominales ; les concentrations relatives à cet aérosol sont déterminées en amont et en aval du dispositif d'épuration à l'aide de prélèvements appropriés. La comparaison de ces concentrations permet de juger de l'efficacité du filtre.

### 2.1. - Choix de l'aérosol de référence

En France, l'aérosol de référence retenu est celui de fluorescéine sodée, obtenu à partir d'un générateur portatif exploité par le Commissariat à l'Energie Atomique ; le fonctionnement de cet appareil fait l'objet d'une autre communication.

Rappelons simplement qu'il est capable d'un débit de fluorescéine de 20 mg/h permettant de tester que l'efficacité des filtres est supérieure à 1000 pour un débit nominal de 300 000 m<sup>3</sup>/h (compte tenu de la sensibilité des mesures fluorimétriques ultérieures), par des prélèvements d'une heure.

En allongeant ce temps de prélèvement, on peut tester des filtres d'un débit nominal supérieur, ou rechercher à connaître une efficacité plus importante. Cette possibilité est un avantage important de la méthode à la fluorescéine sodée.

L'aérosol généré présente un diamètre médian massique de 0,15 µm et numérique de 0,08 µm.

### 2.2. - Détermination des concentrations amont et aval

La fluorescéine contenue dans les prélèvements amont et aval est recueillie sur filtres, puis dissoute par lavage dans des volumes d'eau connus. Le fluorimètre permet de mesurer la concentration en fluorescéine des eaux de lavage, donc de remonter aux masses de fluorescéine recueillies.

Par ailleurs, des compteurs volumétriques totalisent les volumes d'air prélevés.

La connaissance de ceux-ci et celle des masses de fluorescéine y ayant respectivement été contenues permet le calcul des concentrations amont et aval.

### 2.3. - Expression de l'efficacité du filtre

L'efficacité d'un dispositif peut se caractériser :

- par le rapport E des quantités de produit à filtrer entrantes (qe) et sortantes (qs) par unité de temps,
- par le rapport R des quantités de produits à filtrer arrêtées (qa) et entrantes (qe) par unité de temps.



Ces deux expressions sont liées par :

$$E = \frac{q_e}{q_s} = \frac{q_e}{q_e - q_a} = \frac{1}{1 - R}$$

La connaissance des concentrations  $C_e$  et  $C_s$  (amont et aval) aboutit immédiatement à :

$$E = \frac{q_e}{q_s} = \frac{C_e}{C_s} \quad \text{pour un dispositif de débits amont et aval égaux.}$$

### 3 - AMENAGEMENT DES CIRCUITS EN VUE DES TESTS IN SITU

Du principe même de la méthode, il découle que les circuits dont les filtres sont à tester doivent être équipés :

- d'un dispositif permettant l'injection de fluorescéine sodée,
- d'un dispositif permettant le prélèvement, à l'amont du filtre, d'un volume mesurable d'air et de la fluorescéine contenue dans ce volume,
- d'un dispositif identique à l'aval du filtre.

#### 3.1. - Prises d'injection

Elles doivent être :

- a) facilement accessibles pour éviter les difficultés de manutention du générateur de fluorescéine, et d'un type normalisé pour éviter les difficultés de raccordement,
- b) situées, si possible, entre le dernier point de rencontre des diverses parties du circuit et le filtre à tester, afin d'éviter les dilutions entre le point d'injection et le point de prélèvement aval,
- c) suffisamment éloignées du filtre pour que le mélange air-fluorescéine soit homogène au passage de celui-ci. On admet généralement qu'une longueur droite égale à 10 diamètres hydrauliques ou que 2 à 3 coudes sont suffisants.

#### 3.2. - Prises de prélèvement

Elles doivent être :

- a) facilement accessibles et d'un type normalisé pour éviter les difficultés de raccordement avec les cannes de prélèvement,
- b) situées de telle façon que les prélèvements soient représentatifs de la concentration en amont ou en aval du filtre, ce qui nécessite :
  - pour le prélèvement amont, la situation la plus proche possible du filtre,

- pour le prélèvement aval, une situation suffisamment éloignée du filtre pour que les veines issues des différents éléments filtrants se soient mélangées ; ainsi chaque fois que cela sera possible, cette prise sera implantée au refoulement des ventilateurs d'extraction.

Les types de piquage ainsi que le matériel de raccordement au générateur font l'objet d'une autre communication.

#### 4 - APPLICATION A LA CENTRALE DE FESSENHEIM

##### 4.1. - Circuit de ventilation du bâtiment des auxiliaires nucléaires (BAN)

Le circuit assure le maintien dans le BAN :

- d'un niveau de contamination acceptable,
- d'une dépression suffisante par rapport à l'extérieur afin d'éviter les fuites incontrôlées vers l'atmosphère,
- d'un niveau de température correct pour le personnel et le matériel.

##### 4.1.1. - Description du circuit (figure n° 1)

L'air est aspiré à l'extérieur des bâtiments à travers une batterie de conditionnement (réchauffeurs, préfiltres, refroidisseurs) puis est distribué dans l'ensemble des locaux (le débit de cette distribution est de  $170\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ ). Il en est repris par les ventilateurs d'extraction à travers une batterie de filtration (aérosols et iode) avant rejet à l'atmosphère. Compte tenu de la dépression à maintenir dans le BAN le débit d'extraction est de  $190\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$ .

##### 4.1.2. - Description sommaire du filtre à aérosols (figure n° 2)

Cet ensemble filtrant, capable d'un débit de  $240\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$  ( $190\ 000$  pour le BAN et  $50\ 000$  pour le bâtiment réacteur à l'arrêt, EBA), est composé de quatre sous-ensembles en parallèle. Chaque sous-ensemble est disposé dans un plénum maçonné et est accessible par des portes étanches.

Les éléments filtrants protégés par des préfiltres de rendement 95 % à  $5\ \mu$  constituent dans chaque caisson un mur vertical d'une hauteur de 2,66 m et d'une largeur de 3,60 m (5 colonnes de 4 éléments).

Les filtres absolus devraient avoir contractuellement un rendement de 99,97 % pour 0,3  $\mu$  (E = 3333).

#### 4.1.3. - Implantation des prises d'injection de fluorescéine (figure n° 3)

La configuration du circuit ne permet pas la définition d'un point d'injection unique. En effet, les quatre sous-ensembles de filtres sont alimentés à partir d'un collecteur général recevant lui-même les gaines partielles juste à l'amont du plénum.

Dans ces conditions, la fluorescéine qui serait injectée dans une seule de ces gaines ne s'homogénéiserait pas avec l'air en provenance des autres, et de plus, suivrait préférentiellement le cheminement du filet d'air dans lequel elle se trouverait introduite.

Pour ces raisons, les injections se font simultanément sur trois gaines partielles :

- prise n° 11 (gaine SE)
- prise n° 12 (gaine NE)
- prise n° 13 (gaine NO)

Lors du premier essai, un point d'injection supplémentaire improvisé a été mis en place dans la gaine SO.

Les débits d'injection sont déterminés en fonction de la somme des débits d'air dans les gaines d'injection et dans celles venant s'y déverser en aval du point d'injection.

Afin de vérifier la concentration en fluorescéine dans chacune des gaines où elle est injectée, des prises de contrôle (non strictement nécessaires) ont été ajoutées:

- prise n° 14 (gaine SE)
- prise n° 15 (gaine NE)
- prise n° 16 (gaine NO).

Ces contrôles permettront un réajustement éventuel du débit d'injection avant d'effectuer les prélèvements du test in situ à proprement parler.

On peut espérer ainsi une certaine homogénéité fluorescéine - air et remédier à l'absence de longueur droite suffisante entre dernier point de rencontre de gaines et centrale de filtration.

#### 4.1.4. - Implantation des prises de prélèvement amont (figure n° 3)

Ces prises sont implantées sans aucune difficulté sur les descentes vers chaque caisson.

Chaque caisson est en fait alimenté par deux tronçons de gaine, recevant chacun un piquage.

En principe, les concentrations doivent être identiques dans chacune des gaines vers un même sous-ensemble. Ceci a été confirmé par les premiers essais, et par la suite un seul piquage de chacun des couples sera utilisé.

Sur la figure 2 les prises de prélèvement amont sont les couples (119, 120), (121, 122), (123, 124), (125, 126).

#### 4.1.5. Implantation des prises de prélèvement aval (figure n° 3)

Les prélèvements aval filtre sont implantés à la sortie des caissons, après le piège à iode, à raison de deux prises par caisson (puisque'il existe deux gaines de sortie par caisson). Il s'agit des couples (18, 128), (19, 130), (20, 132), (21,134).

Cette disposition permet l'utilisation des mêmes piquages pour un essai du piège à iode, mais en contre-partie nécessite la mise en service du piège à iode pour un essai aérosol. Il faut remarquer que ces piquages sont très proches de la sortie des filtres (non homogénéisation des filets d'air à la sortie des éléments filtrants) et qu'ils risquent ainsi de déceler une inefficacité très localisée alors que globalement elle peut être satisfaisante. Ce défaut est en partie compensé, d'une part, par la mise en service des pièges à iode (brassage accentué de l'air lors du passage de ceux-ci) et d'autre part, par un prélèvement aval global au refoulement des ventilateurs (piquage 17 ou 17 bis selon ventilateur en service).

Les résultats obtenus au premier essai ont montré que les prélèvements aux points (18, 128), (19, 130), (20, 132), (21, 134) ne sont pas représentatifs puisqu'ils diffèrent de ceux recueillis en 17 et 17 bis, points situés au refoulement des ventilateurs, au droit desquels le mélange issu des différents éléments peut être considéré comme étant homogène.

La détection d'un défaut est alors faite en deux étapes :

- appréciation de l'efficacité globale grâce au piquage général,
- appréciation éventuelle de l'efficacité caisson par caisson grâce aux piquages de sortie des sous-ensembles.

#### 4.1.6. - Déroulement de l'essai

La vitesse de passage d'air dans les filtres ayant une influence sur l'efficacité, il est nécessaire de tester le dispositif d'épuration au débit nominal pour lequel il est prévu. Ce débit nominal est à FESSENHEIM de 190 000 m<sup>3</sup>/h.

La chronologie est la suivante :

- stabilisation des débits d'air,
- mise en service des injections,
- contrôle des concentrations dans les gaines,
- éventuellement ajustement des débits d'injection,
- mise en service des prélèvements amont et aval (le temps de prélèvement est calculé de façon à recueillir à l'aval une quantité de fluorescéine suffisante pour être ensemble au fluorimètre, compte tenu de l'efficacité escomptée du filtre),
- traitement des filtres de prélèvement et comptage.

#### 4.1.7. - Conclusion

Cet essai doit permettre de s'assurer que l'efficacité globale de l'installation est suffisante.

Compte tenu de la disposition du circuit, une injection unique, avec prélèvement unique à l'amont, n'a pas été envisageable. De ce fait, chaque sous-ensemble reçoit des prélèvements amont qui lui sont propres, et pour en tirer le maximum d'information, des prélèvements aval qui permettront de discriminer les efficacités de chacun de ces sous-ensembles, quand celles-ci seront notablement différentes les unes des autres.

La mise en oeuvre de cette méthode est plus délicate qu'une opération à point d'injection unique.

#### 4.2. - Circuit de ventilation des bâtiments de stockage du combustible

Ce circuit assure le maintien dans les bâtiments de stockage du combustible :

- d'un niveau acceptable de contamination, notamment pendant les périodes de manutention du combustible,
- d'une dépression suffisante par rapport à l'extérieur afin d'éviter les fuites incontrôlées vers l'atmosphère,
- d'un niveau de température correct pour le personnel et le matériel.

#### 4.2.1. - Description du circuit (figure n° 4)

L'air est aspiré à l'extérieur des bâtiments à travers une batterie de conditionnement (réchauffeurs, préfiltres) puis est distribué dans l'ensemble des locaux au débit de 20 000 m<sup>3</sup>/h par tranche. Il est repris à un débit légèrement supérieur par un ventilateur d'extraction par tranche au travers d'une batterie de filtration (préfiltres et filtres absolus) par tranche, et éventuellement d'un piège à iode commun aux deux tranches. Ce piège à iode est implanté dans une casemate séparée, reliée à chacun des plénums contenant les filtres absolus de tranche par une gaine cylindrique.

#### 4.2.2. - Description sommaire du filtre absolu d'une tranche

L'ensemble filtrant, capable d'un débit de 20 000 m<sup>3</sup>/h, est disposé en mur vertical à l'intérieur d'un plénum maçonné et est accessible par une porte étanche.

Les éléments de filtration absolue, au nombre de 8 (4 colonnes de 2) sont protégés par des préfiltres de rendement 95 % à 5 µ.

Le rendement contractuel de la filtration absolue est de 99,97 % pour 0,3 µ (E = 3333)

#### 4.2.3. - Implantation des prises d'essais (figure n° 4)

Les circuits étant semblables seul l'équipement de la tranche 1 est décrit.

La configuration de ces circuits est extrêmement simple, ce qui a permis de déterminer facilement les emplacements des prises d'essai.

##### 4.2.3.1. - Prise d'injection

Il s'agit de la prise n° 110 de la figure 4. Cet emplacement permet l'injection dans la gaine parcourue par la totalité du débit ; il permet en outre de bénéficier de l'effet de brassage d'un coude situé en amont de la prise de prélèvement amont.

##### 4.2.3.2. - Prise de prélèvement amont

Il s'agit de la prise n° 111 de la figure 4. La disposition des gaines est telle que cette prise a pu être implantée juste à l'entrée du plénum maçonné, à une distance suffisante de la prise 110 pour la bonne homogénéisation de la fluoresceine.

#### 4.2.3.3. - Prise de prélèvement aval

La prise n° 9 au droit de laquelle les filets d'air ayant traversé les différents éléments filtrants seront à nouveau mélangés, permettra d'effectuer des prélèvements représentatifs à l'aval du dispositif d'épuration.

#### 4.2.4. - Déroulement de l'essai

L'essai se fera à débit nominal, soit 20 000 m<sup>3</sup>/h. Quand on se sera assuré la valeur de ce débit, le déroulement de l'essai sera le suivant:

- mise en service de l'injection,
- mise en service des prélèvements amont et aval,
- recueil des filtres de prélèvement, traitement et comptage.

#### 4.2.5. - Conclusion

L'essai des filtres de ce circuit, contrairement à celui des filtres du circuit général est extrêmement simple à réaliser.

Il n'y a pas eu de difficultés pour le choix de l'implantation des prises d'injection et de prélèvement et en principe il ne devrait pas avoir de confusion pour l'interprétation des mesures consécutives au test.

#### 4.3. - Circuit de ventilation des bâtiments périphériques

Ce circuit est destiné à maintenir, dans les locaux périphériques, une dépression suffisante pour y assurer la circulation de l'air de l'extérieur vers l'intérieur.

En effet, dans ces locaux, sont situées les traversées de l'enceinte étanche du bâtiment réacteur (tuyauteries, gaines, câbles) par lesquelles une fuite d'air contaminé en provenance du bâtiment réacteur est possible.

Cette fuite éventuelle se trouve ainsi collectée par le circuit de ventilation de ces locaux.

##### 4.3.1. - Description du circuit (figure 5)

Ce circuit, sans rôle de climatisation, ne comporte pas de soufflage.

Compte tenu de la dépression à maintenir, le débit d'extraction assuré est de 12 000 m<sup>3</sup>/h par tranche.

L'air est extrait à travers un dispositif d'épuration comprenant préfiltre, filtre absolu et piège à iode contournable.

L'extraction ne devant pas être interrompue, est assurée par deux ventilateurs 100 % dont un seul est maintenu en service.

#### 4.3.2. - Description sommaire du filtre absolu (figure n° 6)

Pour permettre le remplacement éventuel du filtre absolu tout en maintenant l'extraction d'air, celui-ci est composé de deux ensembles isolables capables chacun de la moitié du débit nominal.

Chaque ensemble de filtres absolus est protégé par des préfiltre de rendement 95 % à 5  $\mu$  et est disposé en mur vertical dans un plénum maçonné.

Les deux sous-ensembles, composés de 2 éléments filtrants superposés, ont une largeur de 0,6 m et une hauteur de 1,20 m. Ils sont accessibles par des portes étanches.

Le rendement contractuel des filtres absolus est de 99,97 % pour 0,3  $\mu$  ( $E = 3333$ ).

#### 4.3.3. - Implantation des prises d'essai (figure n° 5)

##### 4.3.3.1. - Prises d'injection

Sur la tranche 1, la prise d'injection est la prise n° 1 de la figure 5. L'emplacement retenu est imparfait, du fait du confluent de deux gaines entre cette prise et le filtre absolu.

Sur la tranche 2, cette difficulté disparaît car le confluent homologue est à une distance plus importante de l'ensemble de filtration, si bien que le piquage d'injection n° 5 de la figure 5 a pu être implanté sur le tronc commun.

##### 4.3.3.2. - Prises de prélèvement amont

Afin de différencier les résultats d'efficacité au niveau des sous-ensembles, et pour tenir compte de l'hétérogénéité éventuelle engendrée par le piquage cité en 4.3.3.1., le prélèvement amont se fait sur la tranche 1 par les prises n° 101 et 102, et sur la tranche 2 par les prises 106 et 107.

Le premier essai a montré des concentrations notablement différentes en 101 et 102 à cause de la dilution juste en amont de ces prises. Cette difficulté sera contournée par une modification des gaines, ou par l'adjonction d'un second point d'injection sur le second tronçon d'amenée d'air.



#### 4.3.3.3. - Prises de prélèvement aval

Elles sont constituées par les piquages 103 et 104 sur la tranche 1, et par les piquages 108 et 109 sur la tranche 2.

Ces implantations sont proches de la sortie du filtre, et peuvent éventuellement conduire à une conclusion erronée si elles sont alimentées préférentiellement par le filet d'air issu d'un élément particulier. Ce risque d'interprétation erronée est cependant faible puisque chaque file ne comporte que 2 éléments filtrants ; en outre, un doute éventuel peut être levé par un prélèvement en 3 ou 6, sur le tronç commun après filtration, ou mieux, en 4, 4 bis, 7 ou 7 bis, selon le ventilateur en fonctionnant au moment de l'essai.

#### 4.3.4. - Déroulement de l'essai

Cet essai ne demande pas de conditions particulières et son déroulement est identique à celui des filtres du circuit du bâtiment combustible (§ 4.2.4.).

#### 4.3.5. - Conclusion

Les deux difficultés rencontrées pour le choix des emplacements se situent au niveau de l'injection sur la tranche 1 et au niveau des prélèvements aval sur les deux tranches.

La première a été contournée en effectuant un prélèvement amont sur chaque file de filtration ; la possibilité d'un contrôle global permet éventuellement de lever un doute consécutif à la seconde.

De telles difficultés seront évitées à l'avenir, en tenant compte, dès l'avant-projet, des impératifs, maintenant bien répertoriés, imposés par la nécessité des tests in situ.

#### 4.4. - Circuit de ventilation de la salle de commande

Ce circuit assure d'une part, la climatisation de la salle de commande, et d'autre part, l'appoint d'air frais nécessaire aux occupants. Même en cas d'accident, cet apport d'air frais ne doit pas être interrompu, et doit alors être épuré, ce qui conduit à la mise en place de filtres et pièges à iode sur le circuit d'appoint.

#### 4.4.1. - Description du circuit (figure n° 7)

Le circuit comporte une boucle de climatisation en recirculation à travers un conditionneur, et une branche d'appoint d'air frais en provenance de l'extérieur.

Cet appoint permet le maintien :

- d'une teneur suffisante en oxygène pour le personnel occupant la salle de commande et les locaux adjacents,
- d'une légère surpression ayant pour but de neutraliser les entrées d'air parasites (bâtiment non étanche).

En cas de contamination de l'air d'appoint, il doit être filtré, d'où les deux possibilités d'appoint :

- l'appoint normal par les registres 01 et 103 dont le débit est créé par la dépression à l'aspiration des ventilateurs de recirculation,
- en cas d'accident, l'appoint à travers le registre 100, le filtre à aérosols et le piège à iode. La perte de charge de ces dispositifs d'épuration est alors compensée par l'un des ventilateurs d'appoint, les registres 01 et 103 étant fermés.

Compte tenu du faible débit d'appoint (1500 m<sup>3</sup>/h) le filtre absolu n'est constitué que d'un seul élément filtrant en casemate métallique. L'efficacité contractuelle est de E = 3333.

#### 4.4.2. - Implantation des prises d'essai (figure n° 7)

##### 4.4.2.1. - Prise d'injection et de prélèvement amont

Etant donné l'inaccessibilité de la gaine d'appoint en amont du filtre, une gaine supplémentaire a dû être mise en place (en amont de la prise d'air en toiture) pour les essais. Cette gaine, de longueur droite suffisante pour assurer une bonne homogénéité du mélange air-fluorescéine, comporte la prise d'injection n° 1 et la prise de prélèvement amont n° 3.

##### 4.4.2.2. - Prise de prélèvement aval

Afin d'éviter de contaminer la salle de commande pendant les essais (en cas d'inefficacité du dispositif d'épuration, notamment du piège à iode), une deuxième gaine supplémentaire a dû être mise en place : elle relie le refoulement des ventilateurs d'appoint à un conduit de fumées à évacuation vers l'extérieur.

Enfin, une gaine amovible permet de tester soit le filtre seul, soit le filtre en parallèle avec les registres 01 et 103.

La prise de prélèvement aval n° 5 est implantée sur ce tronçon de gaine.

L'homogénéité air-fluorescéine est alors convenable puisque la prise se situe au refoulement des ventilateurs.

#### 4.4.3. - Déroulement de l'essai

Le débit d'appoint doit être basculé de la file normale sur la file avec filtration.

L'injection peut commencer après que l'on se soit assuré que les registres 01, 103 et A, soient fermés.

L'air suit alors le circuit :

- gaine d'aspiration,
- registre 100,
- filtration,
- ventilateur d'appoint,
- registre 101, 102, B
- gaine de refoulement vers conduit de fumées,
- conduit des fumées.

Après réalisation de l'injection et des prélèvements, le circuit doit être remis dans sa configuration normale.

#### 4.4.4. - Conclusions

Afin d'essayer le dispositif de filtration du circuit de ventilation de la salle de commande, il a été nécessaire de procéder à des aménagements autres que la simple implantation de prises d'injection ou de prélèvement.

Par l'adjonction de deux gaines, les essais peuvent se faire dans de bonnes conditions de sécurité et d'accessibilité.

Les branchements et débranchements alternés d'une troisième gaine supplémentaire doivent permettre de tester l'étanchéité des registres 01 et 103.

## 5 - CONCLUSIONS

Les implantations des piquages nécessaires ont été à FESSENHEIM tantôt faciles, tantôt difficiles ; sur certains circuits, elles sont loin d'être parfaites, mais la prise en compte, dès l'avant-projet, des impératifs relatifs à ces implantations en ont simplifié et amélioré la réalisation au niveau des circuits des futures tranches nucléaires.

Lors d'un prochain séminaire, E.D.F. espère pouvoir faire part de son expérience d'exploitant de filtres, notamment sur les efficacités atteintes, les vitesses de colmatage et les traitements employés après usage.

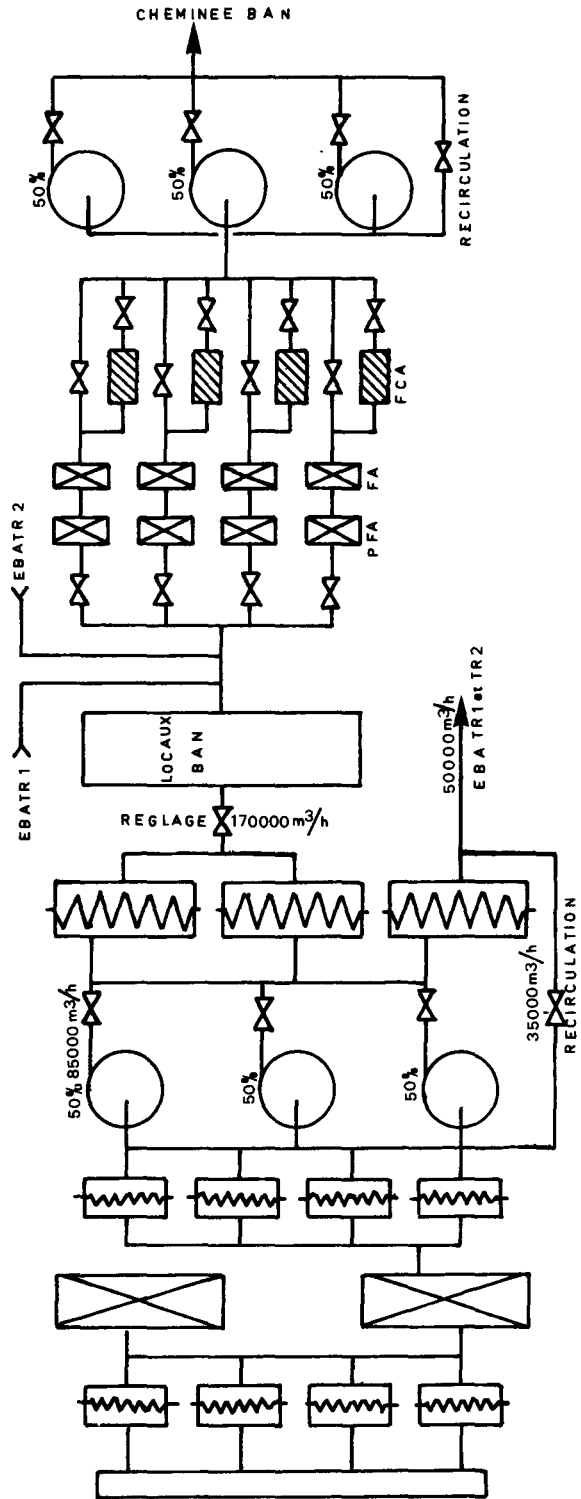


FIGURE 1

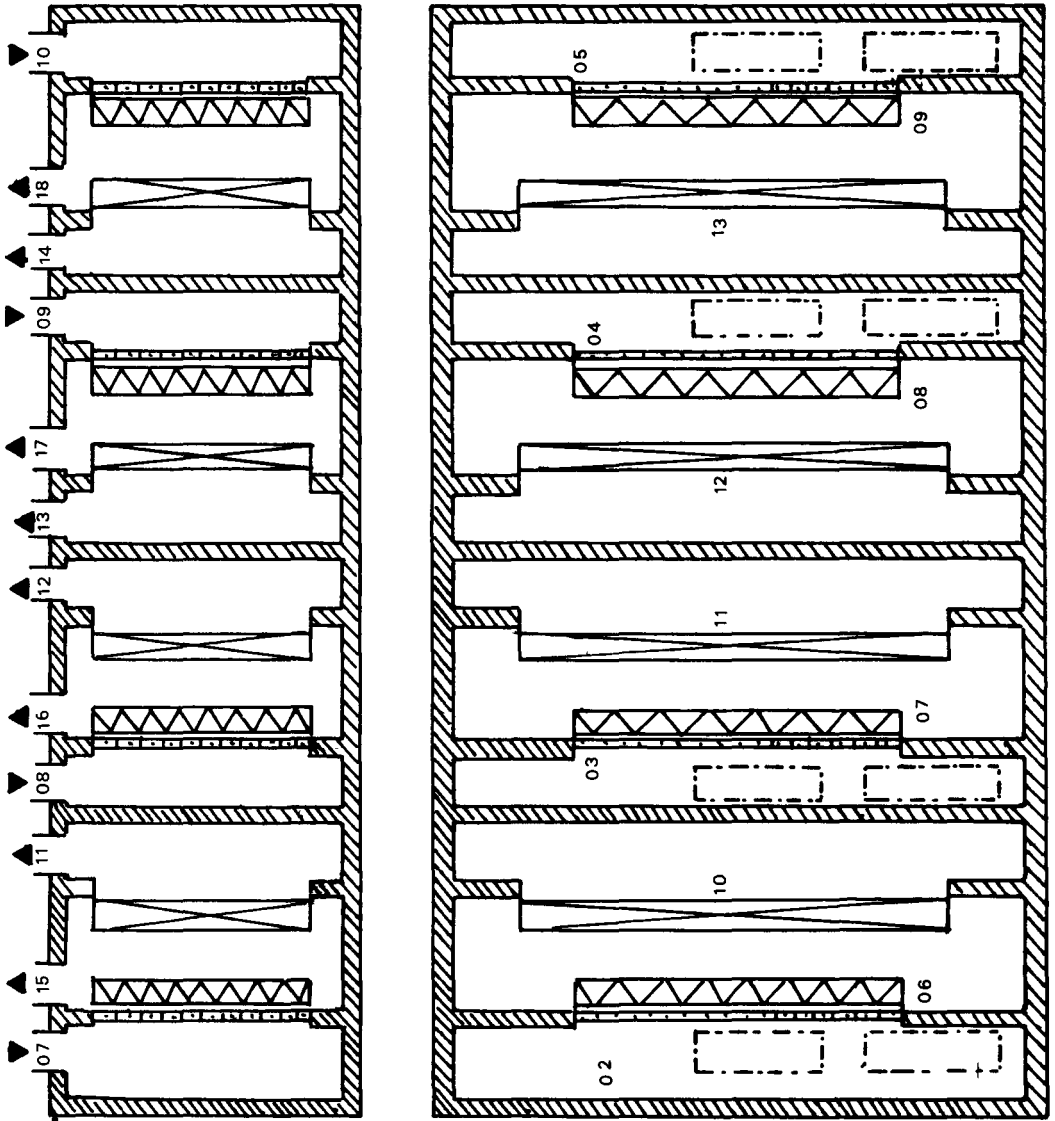


FIGURE 2

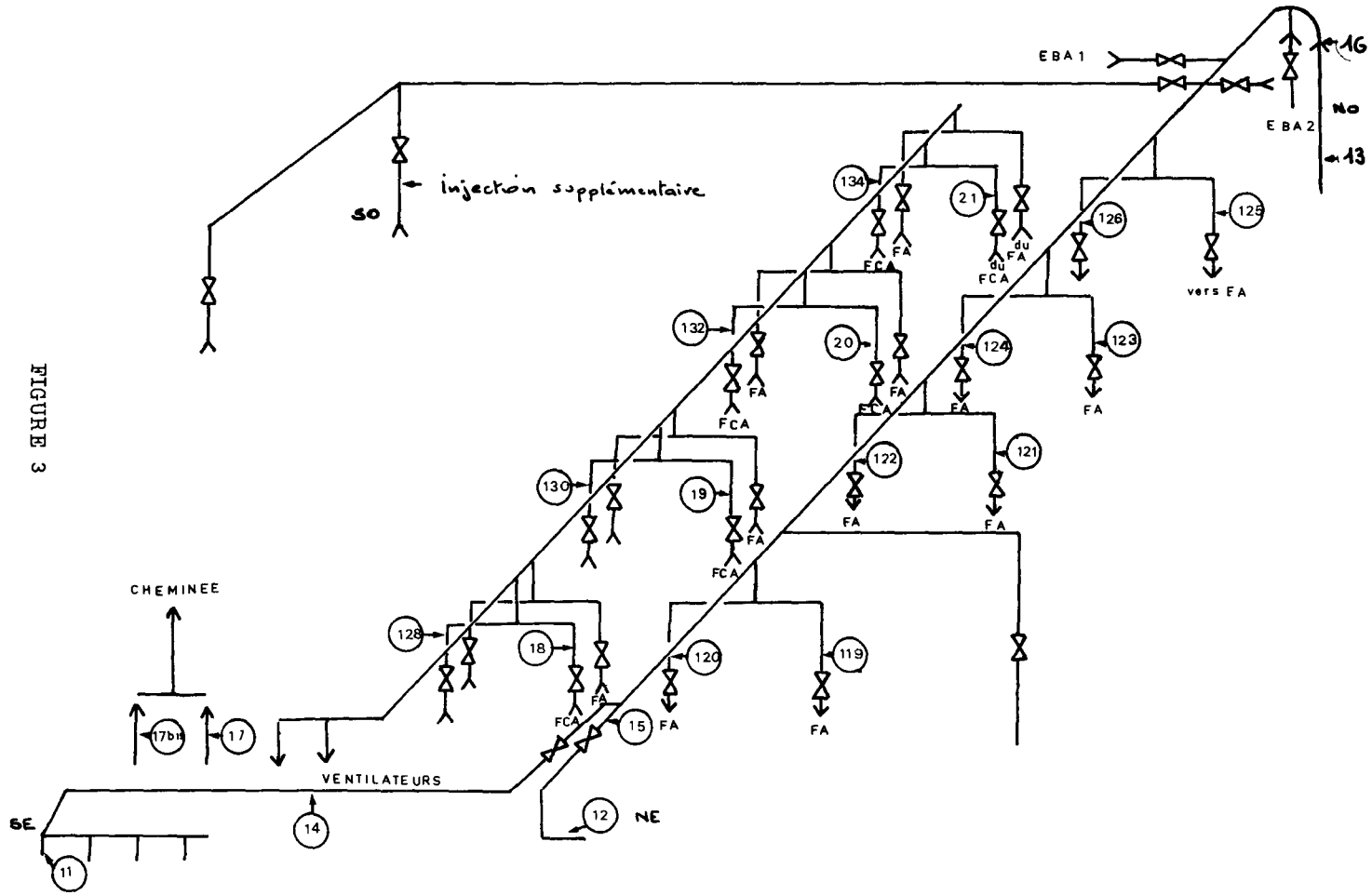


FIGURE 3

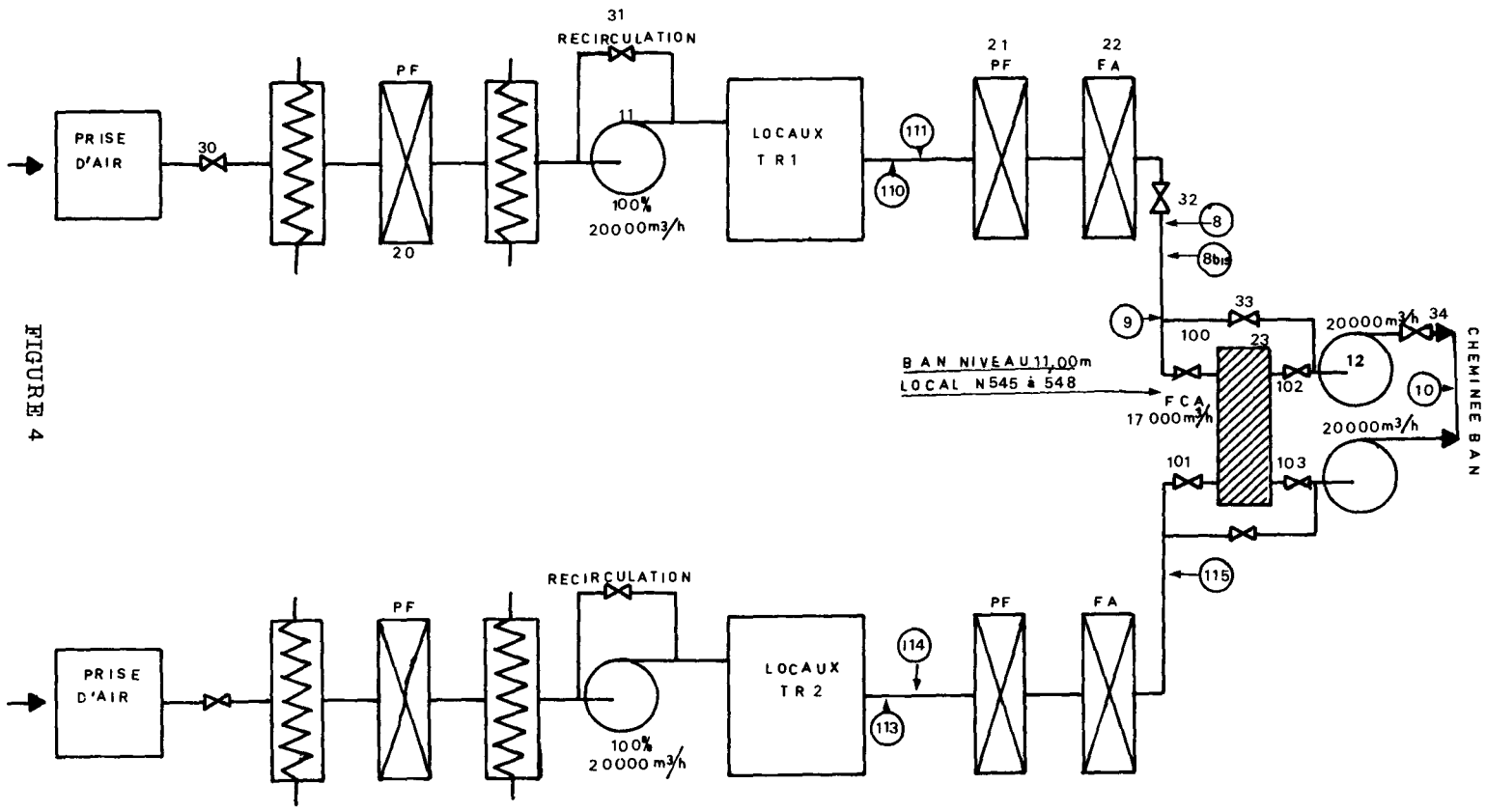
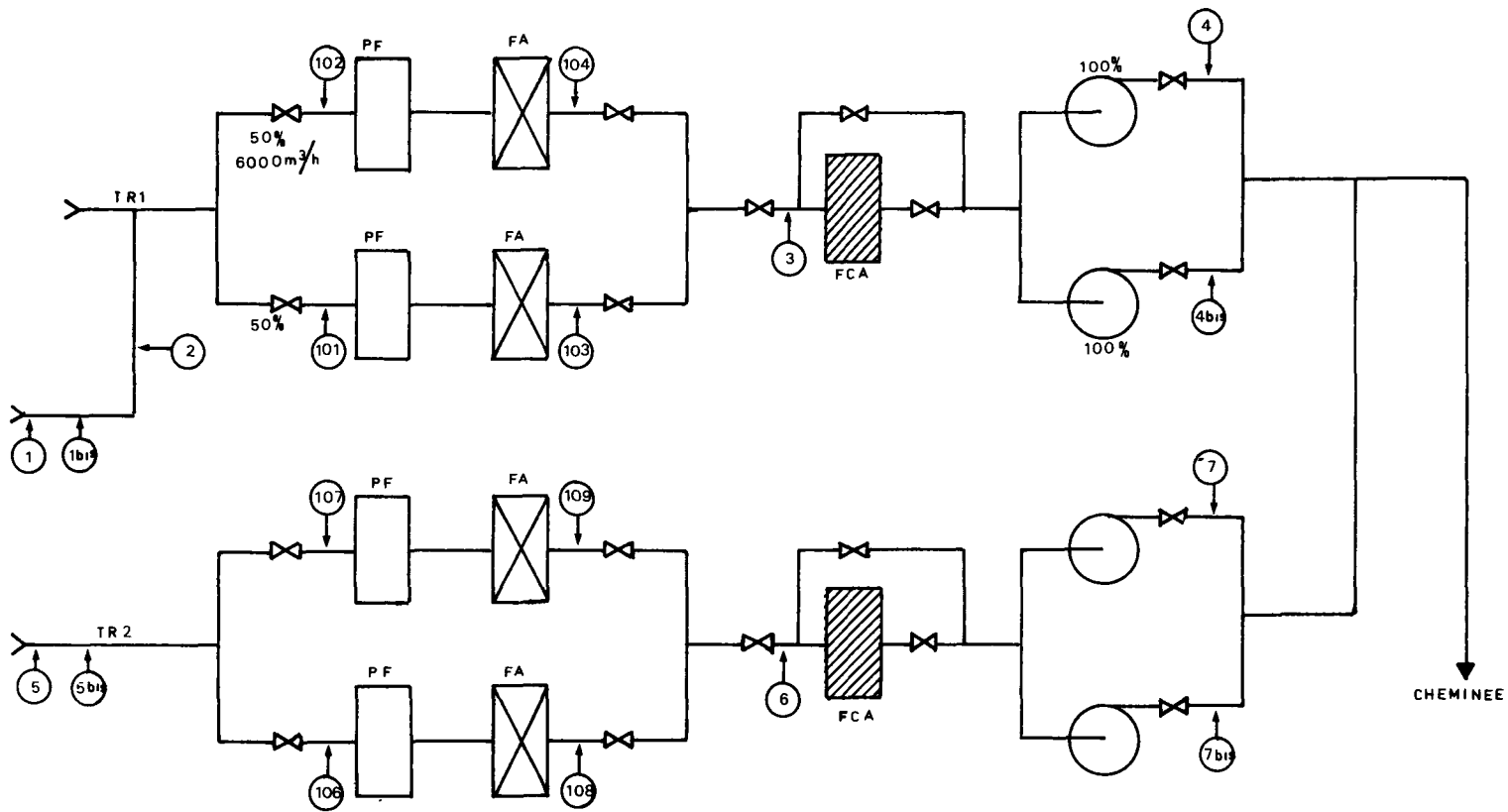


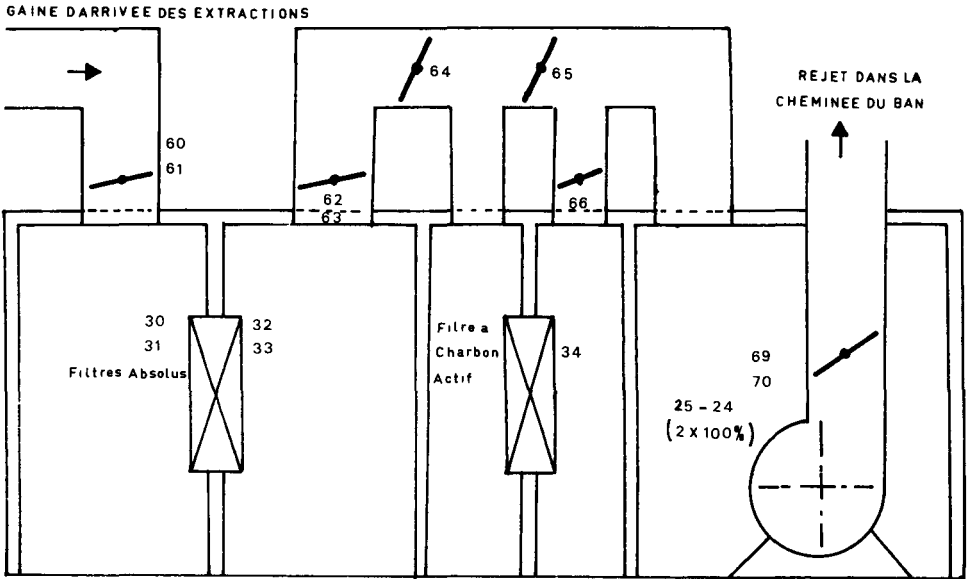
FIGURE 4



FIGURE 5



VUE DE FACE SIMPLIFIEE



VUE DE DESSUS SIMPLIFIEE

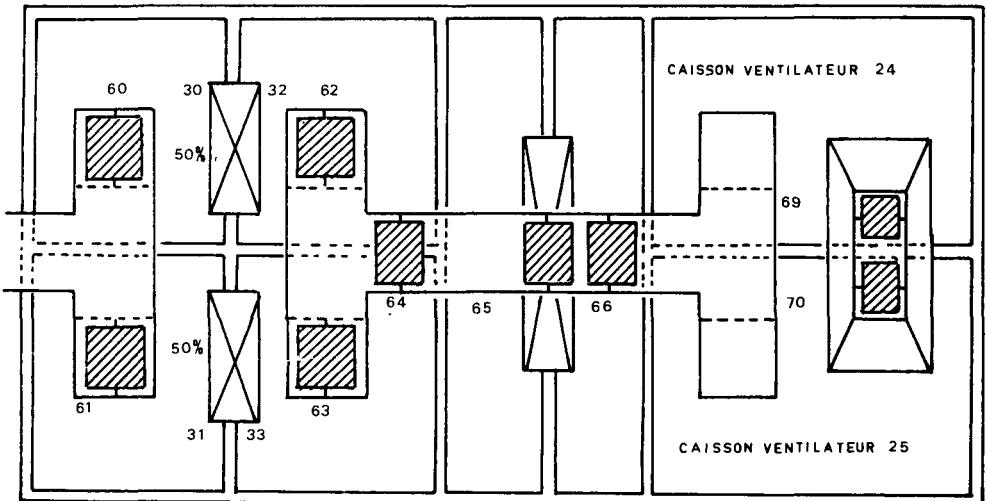
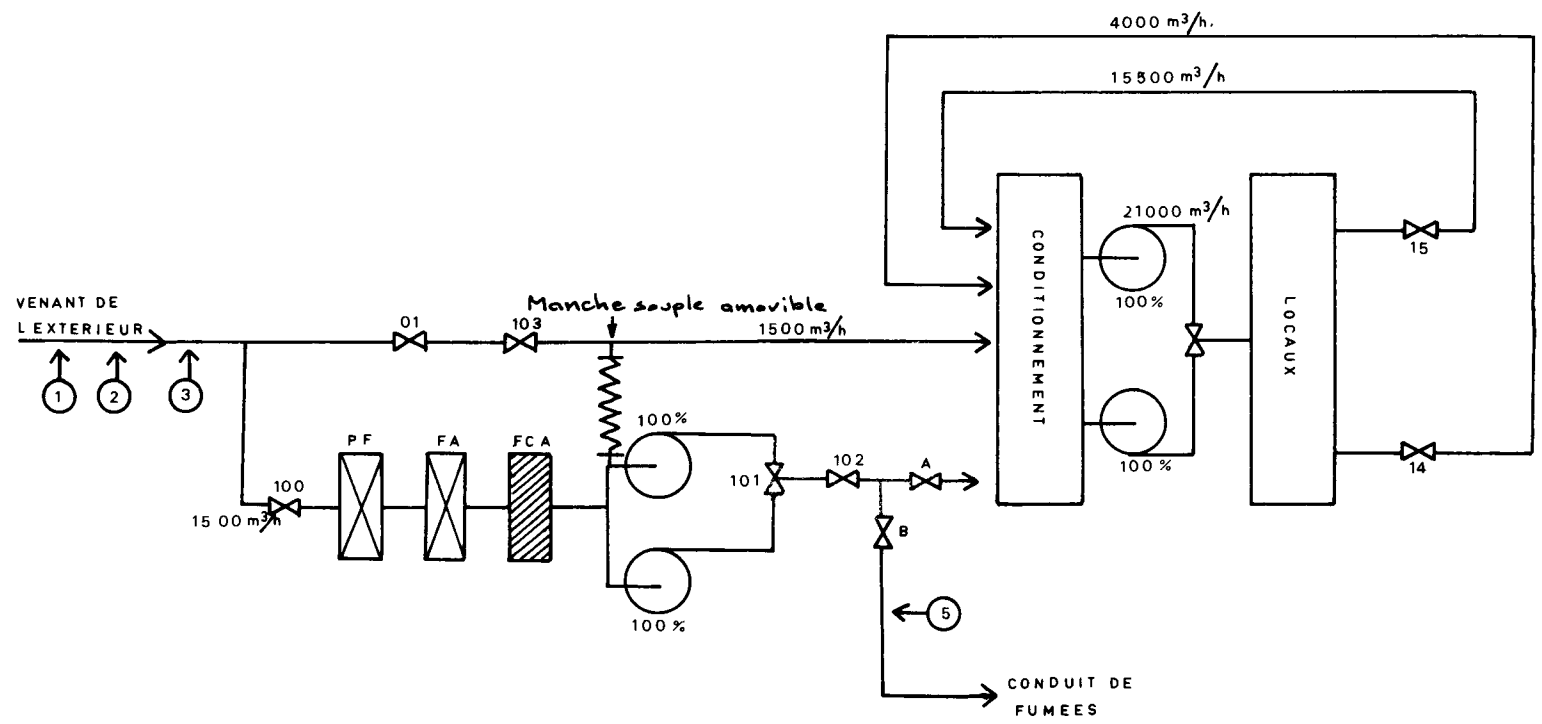


FIGURE 6

FIGURE 7





EXPERIENCE AT KEMA WITH TESTING HIGH EFFICIENCY  
AEROSOL FILTRATION SYSTEMS

L. C. Scholten and G. van der Lugt  
KEMA (\*)  
Arnhem - THE NETHERLANDS

**SUMMARY.** KEMA regularly tests the high efficiency aerosol filtration systems of its nuclear laboratories, its test reactor and the Dutch nuclear power plants. Only approved filter elements are installed, so that in-situ tests mainly check the integrity of total systems. For in-situ testing the DOP test is used because of its simplicity and direct reading. The experience obtained is described. Difficulties in the performance of tests arising from the lay-out of systems are indicated, and instructions are given for the design of new systems. Completing the test facilities, KEMA has an installation available for examining new and used filter elements.

**KURZFASSUNG.** ERFAHRUNGEN DER KEMA BEI DER PRUEFUNG VON SCHWEBSTOFFFILTERANLAGEN HOHER LEISTUNG. Die KEMA prüft in regelmässigen Zeitabständen die Schwebstofffilteranlagen hoher Leistung in ihren kerntechnischen Labors, in ihrem Versuchsreaktor und in den niederländischen Kernkraftwerken. Eingebaut werden nur geprüfte Filterelemente, so dass die In-situ-Prüfungen hauptsächlich der Funktionskontrolle der Gesamtsysteme dienen. Wegen ihrer Einfachheit und des direkten Aussagewertes wird für die In-situ-Erprobung die DOP-Prüfung verwendet. Einige Erfahrungen werden mitgeteilt. Es werden Schwierigkeiten bei der Durchführung der Prüfungen aufgrund des Systemaufbaus aufgezeigt und Anregungen für den Entwurf verbesserter Systeme gegeben. Als zusätzliche Einrichtung steht der KEMA eine Anlage zur Prüfung neuer und gebrauchter Filterelemente zur Verfügung.

**RESUME.** L'EXPERIENCE DES ESSAIS DES SYSTEMES DE FILTRATION ABSOLUE DES AEROSOLS A KEMA. Le KEMA soumet à des tests réguliers les systèmes de filtration absolue des aérosols de ses laboratoires nucléaires, de son réacteur expérimental et des centrales nucléaires néerlandaises. Seuls des éléments de filtres homologués sont installés, de sorte que, pour les essais in-situ, nous contrôlons essentiellement l'intégrité des systèmes globaux. Pour les essais in-situ, nous pratiquons le test DOP en raison de sa simplicité et de sa lecture directe. Il est fait état de l'expérience acquise. On indique les difficultés de réalisation des tests liés à l'aménagement des systèmes; des instructions sont données pour la conception de nouveaux systèmes. Pour procéder aux essais, le KEMA dispose d'une installation qui permet l'examen d'éléments de filtre nouveaux et usagés.

---

(\*) KEMA = N. V. tot Keuring van  
Elektrotechnische Materialen

## 1 Introduction

Absolute filter installations take an important place in the safety systems of nuclear laboratories and nuclear power stations. It is therefore essential that the integrity of filter installations should be checked regularly. KEMA has developed test methods also on behalf of the electricity supply companies. The experiences obtained with these test methods are described in this publication. In addition some directives are given for the design of new filter systems.

## 2 Field of operations

Absolute filter installations are composed of separate filter elements. Before leaving the factory, these elements are tested by the manufacturer so that, apart from occasional damage by transport, the filter elements usually show a good quality. The efficiency of a filter installation, however, depends not only on the filter elements used. The integrity of the whole installation shall be of the same good quality. For this reason KEMA tests complete installations each time when filters have been replaced. A survey of the installations that are regularly controlled by KEMA is given in table I. Most of the filter installations are subjected to a periodic annual test. It has appeared that in practice this test can in most cases coincide with filter replacement.

## 3 Measuring methods

The in-situ tests are carried out according to the DOP-test method. Our method complies with the American standard ANSI-N101.1-1972 [1]. The issued test certificates are also based on this standard. For small installations we use a pneumatic DOP-generator, for bigger installations one or more thermal DOP-generators. Advantages of the DOP-method are that the result can be read instantly and that the instruments are very easy to install. A disadvantage is that charcoal filters, if present in the installation, have to be put out of service.

For each installation the total penetration is measured first. If the requirement for the installation concerned is not met, the place of the leakage is located. This is done by scanning the filter surface and surroundings with an extended probe. The use of an extended probe reduces the risk of radioactive contamination of the operator, because scanning can then be done from outside the housing (fig. 1).

#### 4 Experiences with "in-situ" tests

Most of the defects we have found are due to incautious handling. This may, for instance, be careless placing of filters in the housing, but even more damage is caused by touching of the filter paper and spacers. In our experience, new employees first damage a filter before they **are** convinced of its fragility. Serious warnings before and during filter replacement have proved not to have sufficient effect. We therefore plead here to use only experienced personnel for filter replacement.

A serious mistake which we discovered in the construction of a filter housing was caused by insufficient sealing of chinks. The construction of the housing in question can be seen in fig. 2. The gasket edge had been welded into the housing; at the bottom only tack welds had been used. The flanges on the housing had been welded together. These flanges were not sufficiently pressed together and a crevice had formed between the flanges. In the corners this crevice communicated with the space which is enclosed by the profile of the gasket edge. As a result of this there was a connection, past the tack welds, between the contaminated and the clean part. This defect was remedied by cementing..

Another faulty construction detail was on a gasket leak detection groove. The principle is indicated in fig. 3a. The groove was too shallow, and the result can be seen in fig. 3b, which gives the situation after the filter gasket has been pressed. A gasket leakage test now shows only that the 8 holes are properly plugged.

Another case was connected with a neglected by-pass valve which alone showed a leakage of 0.03%. As a standard for an admissible

leakage at one single point, as e.g. a by-pass valve, we take one tenth of the total admissible leakage.

The use of pressure difference measurements on filters as a criterion for replacement may lead to difficulties. This became evident in a plant where a filter installation with air supply from one side has been installed. The installation consists of four parallel sections of prefilter, absolute filter and charcoal filter. The last section has been provided with pressure difference meters. After a complaint of the operators that ventilation was insufficient, a measurement revealed that the flow was in fact 60% of the nominal value. In spite of that the readings on the pressure difference meters were normal. On inspection of the filters the first filter proved to be clogged, the second was seriously polluted, the third slightly less so, and the fourth filter was reasonably clean. This experience taught us that:

- a) pressure difference measurements should be interpreted with some caution
- b) for optimal functioning of filter installations even air supply to the separate filter cells is essential

## 5 Filter test installation

In-situ testing is not suitable for the quality control of filters. Only the integrity of the total installation can be measured. To make it possible to test separate filters, however, KEMA has a test installation available, in which filters with maximum front dimensions of 24"x24" can be placed. The installation consists of a circuit, the principle of which is shown in fig. 4. The circuit is of an air-tight construction and is equipped with a safety filter. This makes it possible to test also used, contaminated filters. The installation can also be used for measuring charcoal filters. Before and after the test filter static mixers, made by Sulzer, have been mounted, which thoroughly mix the test gas in the main flow. The standard deviation in the concentration distribution over a section is less than 2% [2].



As an example of practical possibilities we mention the examination of fire resistant filters in this installation. In view of the required temperature resistance of these filters, ceramic bonds are used for the connection between filter paper and filter frame. In-situ tests have often led to a rejection of these filters. Inspection in the test installation revealed that there were cracks in the hardly elastic ceramic bonds. After that new filters were tested which had very carefully been transported directly from the factory to KEMA. Also in these filters we found small cracks, caused by transport.

We now advise against the use of fire resistant filters with ceramic bonds. If fire resistance is required, this has to be realized in some other way.

## 6 Layout of systems

During the construction of nuclear facilities due attention should be paid to the filter installations. These must from the very first be included in the building plans, and not, as a kind of afterthought, be placed in a corner of the building where some room still happens to be available. To make a good in-situ test possible, provisions have to be planned at an early stage. Ideally a straight tube length of at least 20 tube diameters should be mounted both before and after the filter. This is often not possible. A good mixing element, as applied for instance in our filter test installation, will have to do then. After the filter the ventilator can serve as a mixer, although in big installations with common ducts and one big ventilator this creates problems too.

Consultation about the application of test and injection points at accessible places in an early stage is most desirable. Also the possibility to scan filters inside the housing should be considered. Fig. 1 shows how the empty space of the removed charcoal filter is used for this, which gives excellent manoeuvrability. A narrow pane with a test hole under each absolute filter also gives sufficient possibilities.

A specific problem for nuclear installations is formed by the barriers that one literally runs into. Ventilation ducts frequently run through walls. Going by the roundabout way sometimes takes a quarter of an hour or more, both going and returning, if it is allowed at all to enter the room on the other side. The regulating and measuring operations required for a DOP-test then become very laborious and also give problems because of the limited duration of a DOP-injection. In practice one often has to make do with tapping signals on the ducts. A good mutual communication system within the plant remains a prerequisite.

## 7 Conclusion

It can be concluded that proper attention by experts for the filter installations in nuclear industry both during construction and during service is of very great importance for a good operation. If this attention is really given, excellent results can be obtained with the available installations.

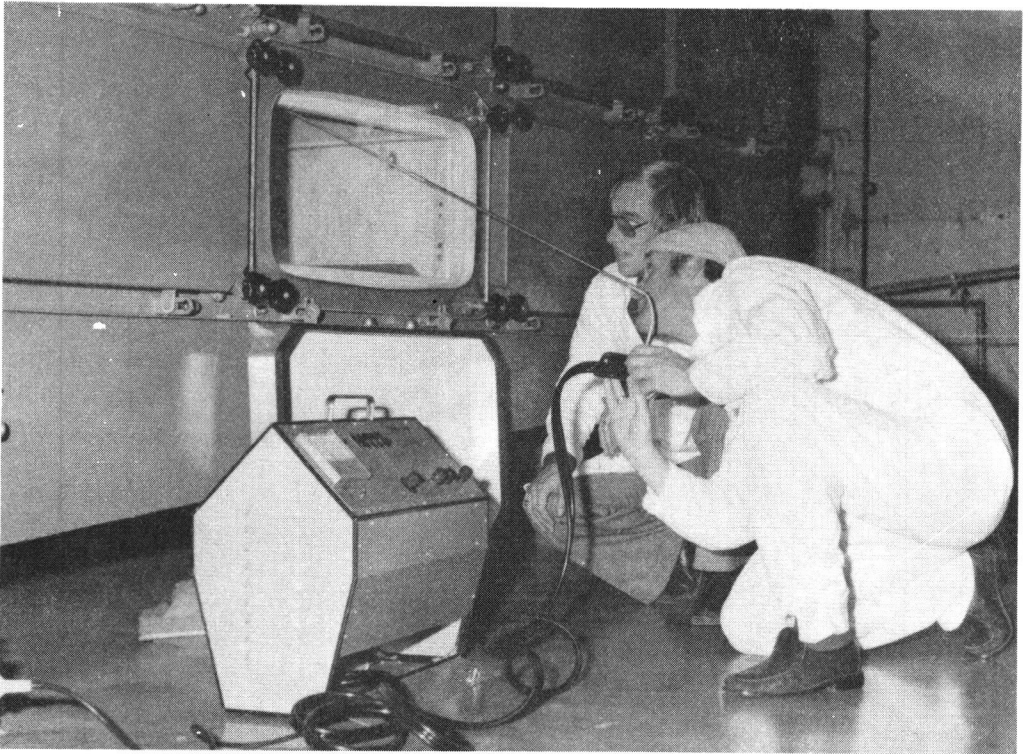
With the test methods described it is possible to determine the quality of an installation or of a filter element sufficiently accurately.

## References

- [1] Efficiency testing of air cleaning systems containing devices for removal of particles  
ANSI N 101.1-1972; Am. Inst. of Chem. Eng., New York
- [2] W.A. Tauscher; Statische menselementen; Polytechn. Tijdschr.-P no. 11 (1973) p. 458-462

Table I: Installations under control by KEMA

plant	total of installations	total of filter elements
KEMA-nuclear laboratories	30	30
KEMA Suspension Test Reactor	5	10
Dodewaard nuclear power plant	10	62
Borssele nuclear power plant	5	80



Scanning of a filter under actual conditions

FIG. 1

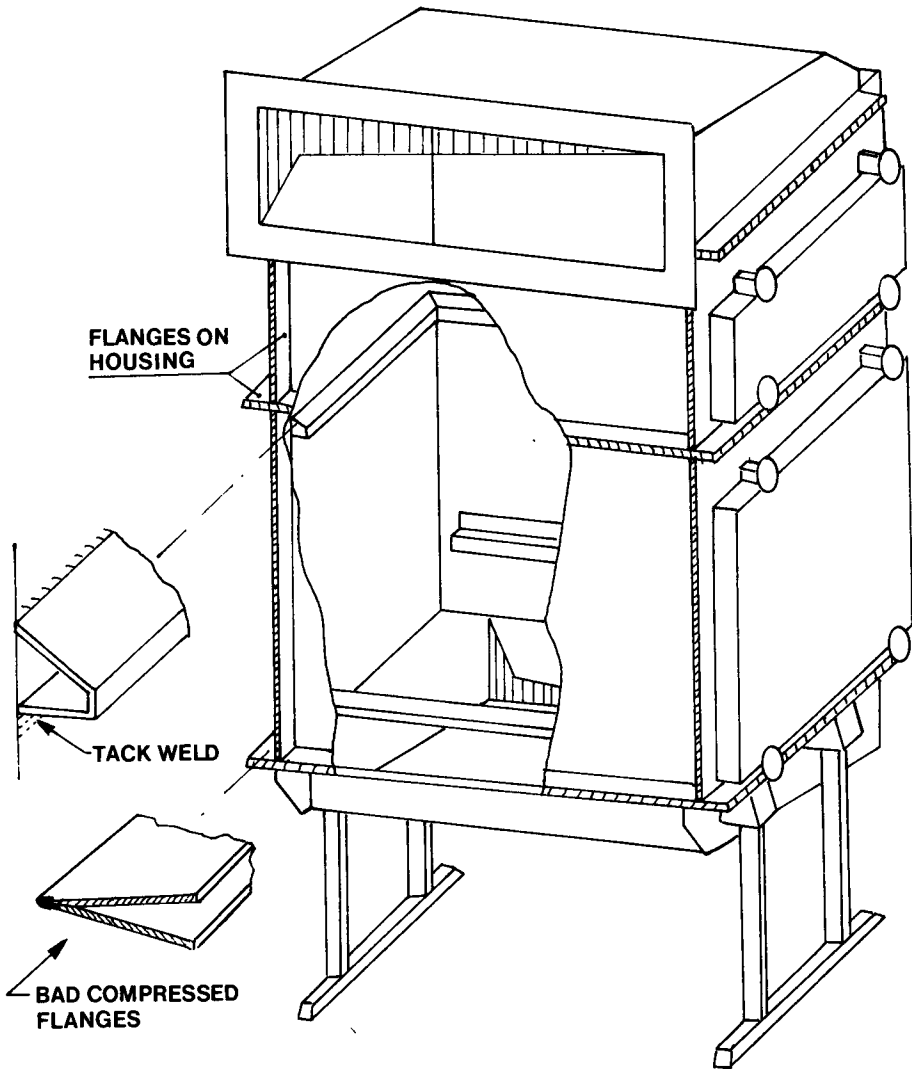


FIG.2 View on filter housing

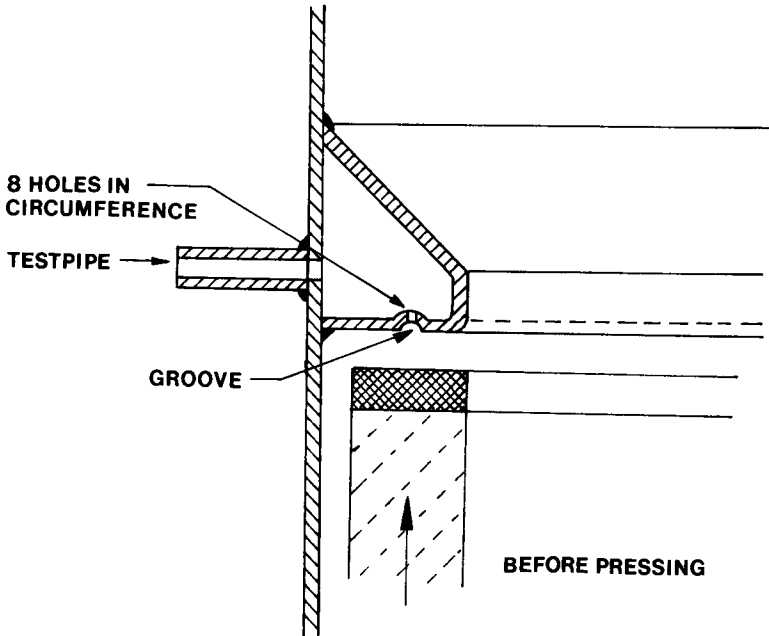


FIG. 3<sup>a</sup>

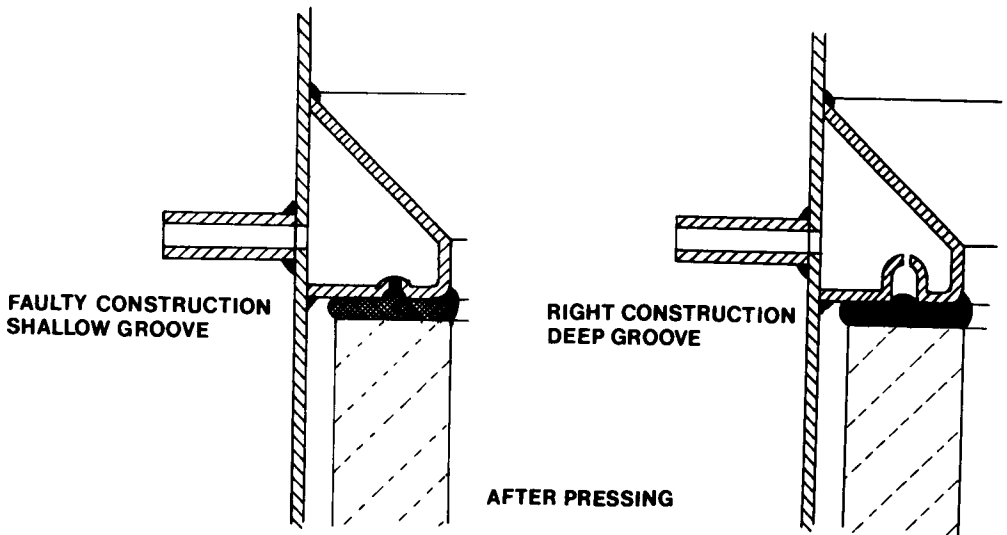
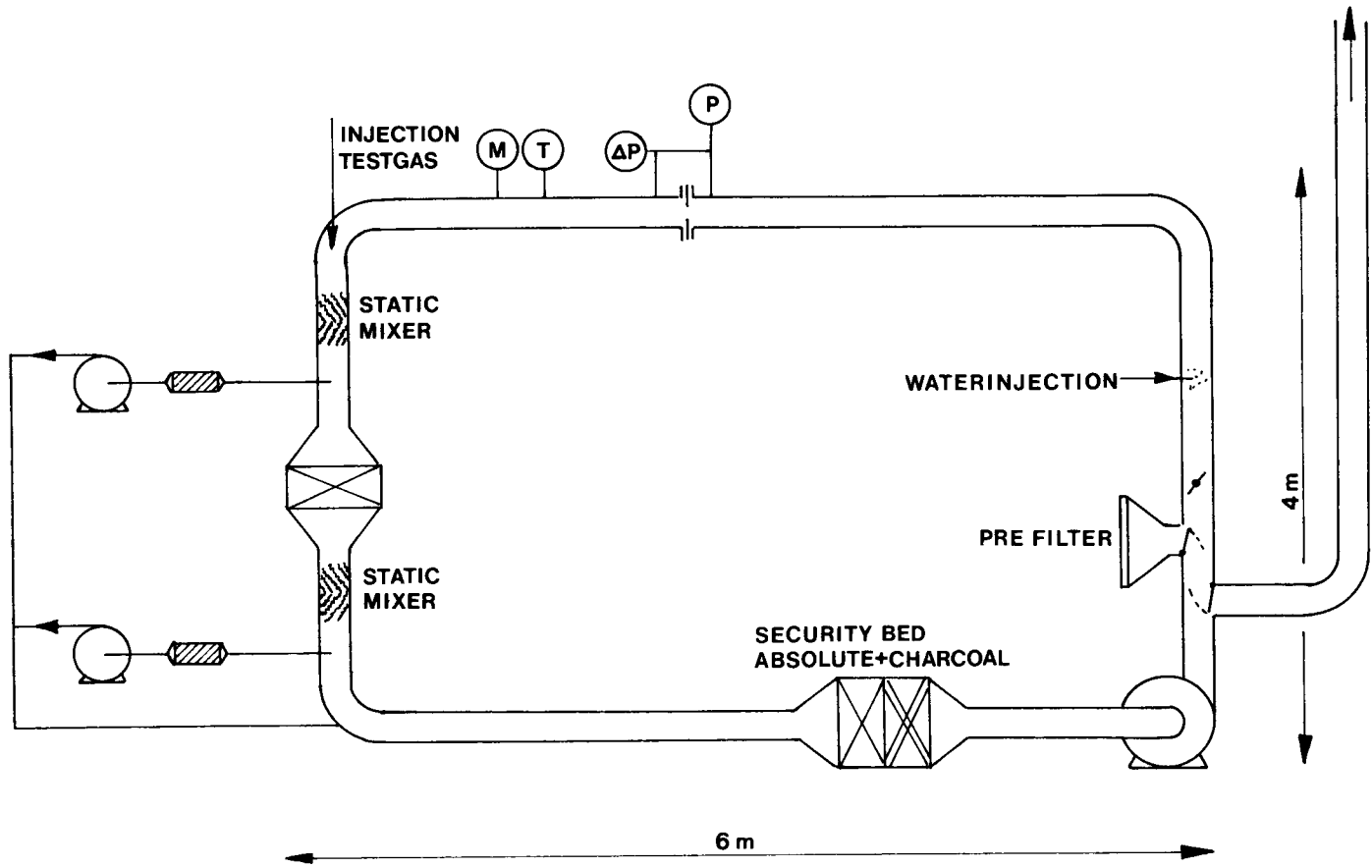


FIG. 3<sup>b</sup>

Actual construction of a wrong performed gasket leak detection



SCHEME FILTER TEST INSTALLATION

FIG.4





## UNTERSUCHUNGEN UEBER DIE RUECKHALTUNG VON AEROSOLEN IN DER WIEDERAUFARBEITUNGSANLAGE KARLSRUHE (WAK)

H. Beaujean, V. Böhmer, G. Herrmann und H.P. Wichmann  
Wiederaufarbeitungsanlage (WAK)  
Karlsruhe - B.R. DEUTSCHLAND

**KURZFASSUNG.** Bei der nasschemischen Autarbeitung von bestrahlten Kernbrennstoffen treten neben den flüchtigen Spaltprodukten, die gross- teils bei der Auflösung freigesetzt werden, in allen Prozesseinheiten Flüssigaerosole auf.

Diese enthalten bei ihrer Entstehung die in den zugehörigen Prozesslö- sungen löslichen Spaltprodukte bzw. Spaltproduktverbindungen. Nach Ab- lagerung dieser Flüssigaerosole, vor allem wenn sie aus dem ersten Con- tainment (dem Behälter- und Rohrleitungssystem) ausgetreten sind, können nach der Resuspension auch feste Aerosole auftreten.

Zur Rückhaltung dieser Aerosole werden in der Wiederaufarbeitungsanlage (WAK) hochwirksame Schwebstofffilter verwendet, an die vor allem bei den Behälterventilationssystemen besondere Anforderungen gestellt werden, weil durch verschiedene Vorgänge in den Prozessapparaten hohe Rohluft- konzentrationen auftreten können.

Der bisherige Betrieb der WAK zeigte, dass die Rückhaltung von Aerosolen bezüglich der zulässigen Ableitungen ausreichend war.

Ueber weitere Probleme und Erfahrungen beim Betrieb der WAK im Hin- blick auf die Aerosolentstehung und -rückhaltung wird berichtet.

**SUMMARY. STUDIES OF THE RETENTION OF AEROSOLS IN THE  
KARLSRUHE REPROCESSING PLANT (WAK).**

The wet processing of irradiated nuclear fuels gives rise not only to volatile fission products, which are mainly released during dissolution, but also, in all stages of the process, to liquid aerosols.

The aerosols formed contain the fission products or compounds thereof which are soluble in the solvents used. Such aerosols, especially those emitted from the primary containment (the vessels and piping system) may be de- posited and resuspended as solids.

For the retention of such aerosols high-efficiency particulate filters are used in the reprocessing plant. The vessel ventilation system impose very exacting demands on these filters, since various processes in the apparatus may give rise to high concentrations in un-filtered air.

Operation of the Karlsruhe plant to date has shown that aerosol retention has been satisfactory in relation to permissible discharge levels.

Other problems encountered and experience gained in the plant operation as regards the formation and retention of aerosols are dealt with.

**RESUME. ETUDE DE LA RETENTION D'AEROSOLS DANS L'USINE DE RE-  
TRAITEMENT DE KARLSRUHE (WAK).**

Le retraitement, par voie chi- mique humide, du combustible nucléaire irradié produit, outre des pro- duits de fission volatils, qui sont libérés surtout lors de la dissolution, un dégagement, à tous les stades du procédé, d'aérosols liquides.

Ces aérosols contiennent, lors de leur formation, les produits de fission ou des composés de ceux-ci qui sont solubles dans les solvants du procédé. Ces aérosols, surtout ceux issus du premier confinement (système de cu- ves et de canalisations), peuvent se déposer avant de repasser en suspen- sion sous forme solide.

Pour retenir ces aérosols, les usines de retraitement utilisent des filtres à aérosols de haute efficacité qui doivent satisfaire des exigences particu- lières, notamment pour les systèmes de ventilation des réservoirs puisque de fortes concentrations peuvent apparaître dans l'air des appareils lors des diverses phases du procédé.

A l'expérience, il apparaît qu'à WAK, en regard des niveaux de rejet auto- risés, la rétention des aérosols a été jusqu'ici satisfaisante,

Le rapport traité, en outre, d'autres problèmes et de l'expérience acqui- se à WAK concernant la production et la rétention d'aérosols.

## 1. Einleitung

In der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe wurde am 7. September 1971 mit der Aufarbeitung von bestrahlten Brennelementen begonnen. In den inzwischen vergangenen Jahren war der Betrieb sehr unterschiedlich. Am 25. Mai 1975 wurde mit der Aufarbeitung von KWO-Brennelementen mit einem mittleren Abbrand von 24,5 GWd/t begonnen. Diese Kampagne wurde 1975 wegen des Einbaues eines Jodfilters für etwa sechs Monate unterbrochen und am 17. Oktober 1976 unterbrechungslos mit einer KRB-Kampagne fortgesetzt.

Die zur Rückhaltung von aerosolförmigen Aktivitäten eingesetzten Einrichtungen sind seit Inbetriebnahme der WAK unverändert geblieben und haben bezüglich der zulässigen Ableitungen ausgereicht. Über die betrieblichen Erfahrungen wird im folgenden berichtet.

## 2. Filteranlagen in der WAK

Zur effektiven Einschliessung des radioaktiven Materials in den Prozessanlagen und Zellen bzw. Räumen wird in diesen ein gestaffelter Unterdruck aufrecht erhalten. Die in den dabei auftretenden Abgas- und Abluftströmen mitgeführte Aktivität wird zum Grossteil entfernt. Der verbleibende Teil kann kontrolliert in die Atmosphäre abgegeben werden. Die Abgas- und Abluftströme werden jeweils getrennt gesammelt und behandelt.

### 2.1 Fortluft

Die Fortluft setzt sich zusammen aus den Abluftströmen des Prozessgebäudes, des Lagers für hochaktive Abfälle sowie des neu errichteten Lagers für mittelaktive Abfälle.

In den Gebäuden werden die Zellen- und die Raumabluft sowie die Boxenabluft getrennt geführt und gefiltert. Jeder Strang besitzt eigene Gebläseeinheiten; die Stränge münden in eine gemeinsame Kaminzuführung (siehe Abb. 1).

In jedem Abluftstrang befindet sich eine Filteranlage, die mit

Fein- und Feinstfiltern ausgestattet ist. Die letzteren besitzen nach üblichen Spezifikationen Rückhaltegrade von 99,95 % für eine Teilchengrösse von 0,3  $\mu\text{m}$  (siehe Abb. 2). Lediglich die Boxenabluft wird ausschliesslich mit Feinstfiltern gereinigt.

Die Filter sind bei allen Abluftsträngen paarweise vorhanden, wobei eines in Betrieb ist, während das zweite in Reserve steht. Die Filter können während des Betriebes gewechselt werden.

## 2.2 Abgas

Unter Abgas wird sowohl das Prozessabgas verstanden als auch Spülluft und Entlüftungen aus Behältern und Tanks mit hoch- und mittelaktiven Lösungen.

Die Abgasströme werden nach ihrer Reinigung zusammengeführt und in einem Rohr im Kamin bis 2 m unter dessen Spitze hochgeführt. Dadurch wird das Abgas durch die Fortluft weitgehend verdünnt (siehe Abb. 3).

Die Abgasreinigungsanlagen der einzelnen Ströme sind in analoger Weise aufgebaut (siehe Abb. 4).

Füllkörperkolonnen dienen der Vorabscheidung; das Waschwasser wird umgepumpt und in bestimmten Intervallen erneuert.

Zur Aerosolabscheidung dienen Feinstfilter mit spezifizierten Rückhaltegraden von 99,95 % für Teilchen mit 0,3  $\mu\text{m}$ . Diese Filtergehäuse (Kesselluftfilter) stehen in heissen Zellen und werden fernbedient. Die Filtereinsätze passen in Strainerfässer, die für die Endlagerung bestimmt sind.

Beim Wechseln der Filtereinsätze verschliesst ein Dichtteller die Gaseintrittsöffnung, so dass eine Zellenkontamination weitgehend verhindert wird. Die Handhabung dieser Filter hat sich in der Vergangenheit bewährt, der Wechselvorgang ist zur Routinearbeit geworden.

### 3. Eigenschaften der Aerosole und der Filter

Die bei der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen in Abgas und Abluftanlagen auftretenden radioaktiven Stoffe lassen sich bezüglich ihres Aggregatzustandes im wesentlichen in folgende Gruppen einteilen: gasförmig, leicht flüchtig, flüssig und fest.

Zu den gasförmig auftretenden Stoffen zählen z.B. das Kr-85 und die Jodnuklide sowie deren Verbindungen. Zu den leicht flüchtigen gehört z.B. das Ruthenoxyd.

In den Prozessbehältern und -apparaten treten Aerosole in flüssiger Form auf. Die Nuklidzusammensetzung kann zunächst als die gleiche angenommen werden wie in der Flüssigkeit, aus der sie entstehen. Durch die Erhitzung des Abgases vor der Filteranlage werden sie in feste Aerosole umgewandelt.

Die aus den Prozessanlagen durch Undichtigkeiten austretenden radioaktiven Flüssigkeiten trocknen in der Luft oder den Oberflächen, so dass in der Abluft in erster Linie Festaerosole auftreten.

Zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen den Aerosoleigenschaften und den Filtereigenschaften eignet sich die phänomenologische Theorie der Filtration (1). Man erhält (siehe z.B. (2)) für die mittlere Massenpenetration

$$\bar{P}_M = P_M(r) \frac{f_M(r)}{\phi_M(r)}$$

Hierbei ist  $P_M(r)$  die Selektivitätsfunktion für die Massen und  $f_M(r)$  bzw.  $\phi_M(r)$  die Verteilungsdichten für Teilchenmassen vor und nach dem Filter. Ein analoger Zusammenhang besteht zwischen den entsprechenden Größen für die Teilchen. Da zwischen der mittleren Teilchenpenetration und der mittleren Massenpenetration der Zusammenhang besteht

$$\bar{P}_N = \frac{\bar{m}}{\bar{\mu}} \bar{P}_M$$

wobei  $\bar{m}$  und  $\bar{\mu}$  die mittleren Massen vor und nach dem Filter sind, kann man für die mittlere Massenpenetration auch schreiben

$$\bar{P}_M = \frac{\bar{\mu}}{\bar{m}} P_N (r) \frac{f_N (r)}{\phi_N (r)}$$

Für die mittleren Massen und für die mittlere Massenpenetration kann man annehmen, dass sie den mittleren Aktivitäten und der mittleren Aktivitätspenetration proportional sind.

Man sieht aus diesen Gleichungen, dass es ohne Kenntnis der Verteilungsdichten und der Penetrationsfunktion nicht möglich ist, direkt auf die Massen- bzw. Aktivitätspenetrationen zu schließen.

#### 4. Erfahrungen mit der Abgasfilteranlage

Die für die Überwachung der Fortluft und des Abgases auf Radioaktivität installierte Messanlage arbeitet kontinuierlich. Die Anlage erfasst Messwerte für die Gasaktivität sowie für die  $\alpha$ - und  $\beta$ -Aerosole.

Seit Inbetriebnahme der WAK im Jahre 1971 sind 51,69 t U sowie 215,70 kg Pu aufgearbeitet worden. Dabei wurden 0,010 Ci  $\alpha$ -Aerosole und 0,589 Ci  $\beta$ -Aerosole emittiert.

In den Abb. 5 und 6 sind die im Monatsmittel abgegebenen Aerosole aufgeschlüsselt nach  $\alpha$ - und  $\beta$ -Emittenten über dem Durchsatz an Uran und Plutonium aufgetragen.

Die exakte Analyse der Emissionskurven stösst auf Schwierigkeiten, da sich das Abgassystem aus drei verschiedenen Strängen zusammensetzt, deren Aktivität nicht im einzelnen registriert wird.

Dennoch ist der Zusammenhang zwischen aufgelöstem Schwermetall und Aerosolemission eindeutig nachzuweisen. Sowohl  $\alpha$ - als auch  $\beta$ -Emittenten erreichen Maximalwerte beim Betrieb des Auflösers, d.h. der Hauptaerosollieferant ist das Prozessabgas.

Demgegenüber bilden die Behälterabgassysteme mehr eine Untergrundaktivität.

Dieses zeigt sich auch an der Dosisleistung der ausgewechselten Filtereinsätze, die im Prozessabgas eine Kontaktdosisleistung von max. 400 R/h aufweisen, während Einsätze aus dem Behälterabgas nur 100 R/h erreichen.

Frisch installierte Filter weisen bei einem Durchsatz von 100 Nm<sup>3</sup>/h einen Widerstand von 20 mm WS auf, der praktisch während der Einsatzzeit eines Filters konstant bleibt. Gewechselt werden die Filter, wenn ein kurzfristiger Aktivitätsanstieg registriert worden ist, oder wenn die Filter einen Druckanstieg von über 150 mm WS verzeichnen.

Erfahrungsgemäss erfolgt dieser Druckanstieg relativ schnell. Dies lässt darauf schliessen, dass aus der vorgeschalteten Kolonne Spritzwasser mitgerissen worden ist, welches dann zu einer Befeuchtung des Filters führte. Bei der Konzeption einer neuen Abgasanlage werden daher die Waschkolonnen vermieden und durch Fasermattenfilter ersetzt.

Der Filterwechsel selbst bewirkt im allgemeinen keine messbare Reduzierung der Emission. In den Abbildungen 5 und 6 sind die Filterwechsel durch Pfeile dargestellt, wobei grössere Pfeile einen mehrfachen kurzfristigen Filterwechsel andeuten. Nur in einigen wenigen Fällen ist ein Absinken der Aktivität zu beobachten.

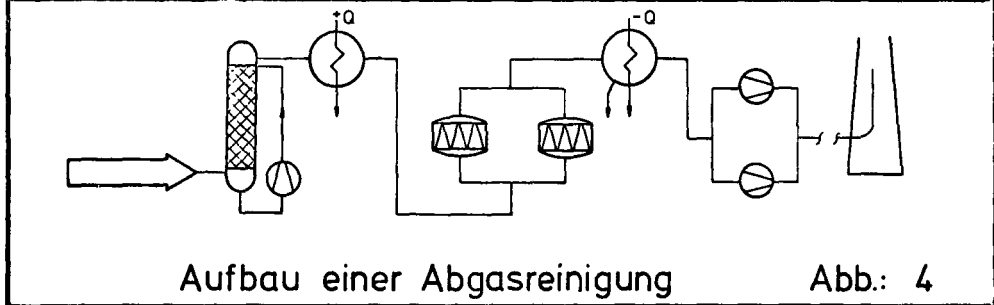
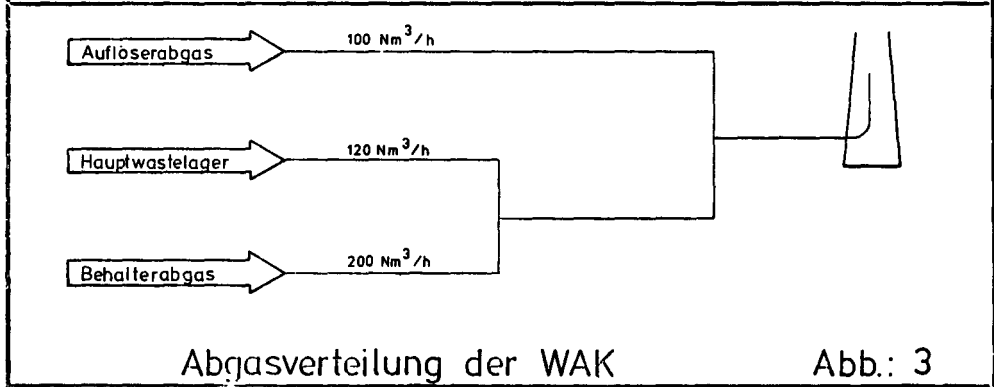
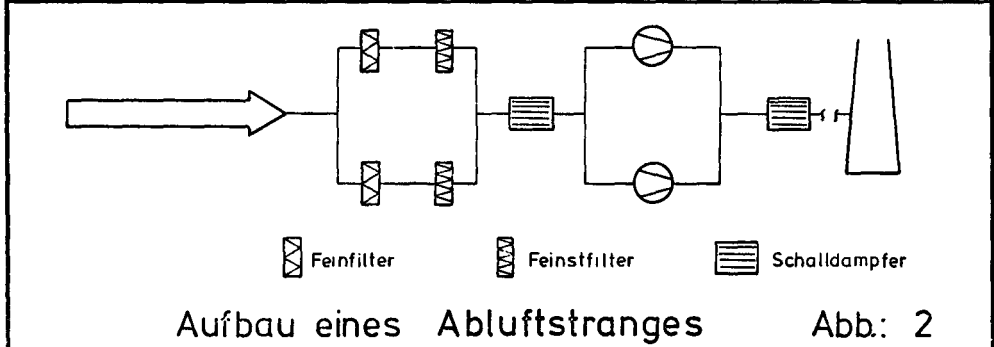
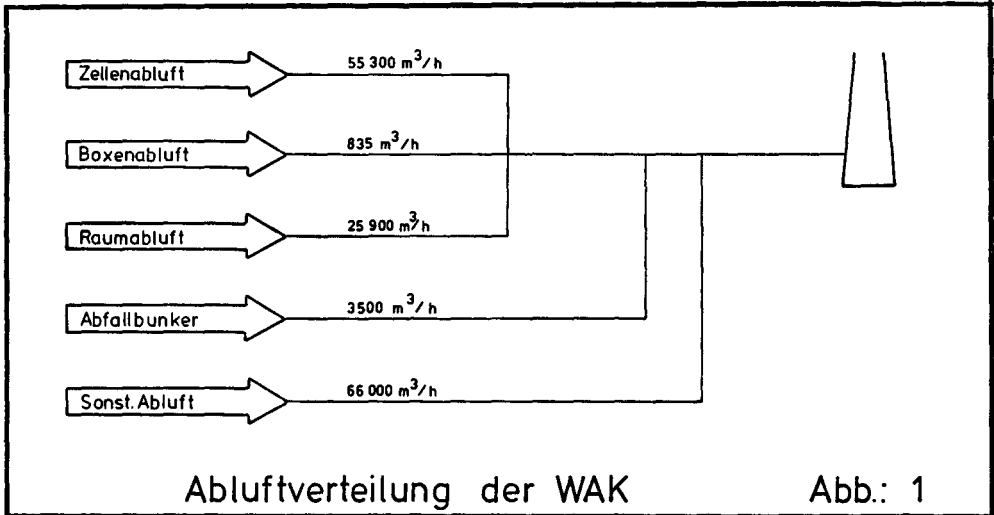
Zur Untersuchung des Aerosolverhaltens in der Auflöserabgasstrecke sind vor kurzem isokinetische Sonden vor und nach der Filterstrecke eingebaut worden.

Erste Messergebnisse lassen erkennen, dass sich das Aerosolspektrum beim Filtervorgang stark ändert. Dies gilt sowohl für  $\alpha$ - als auch für  $\beta$ -Aerosole in gleicher Weise.

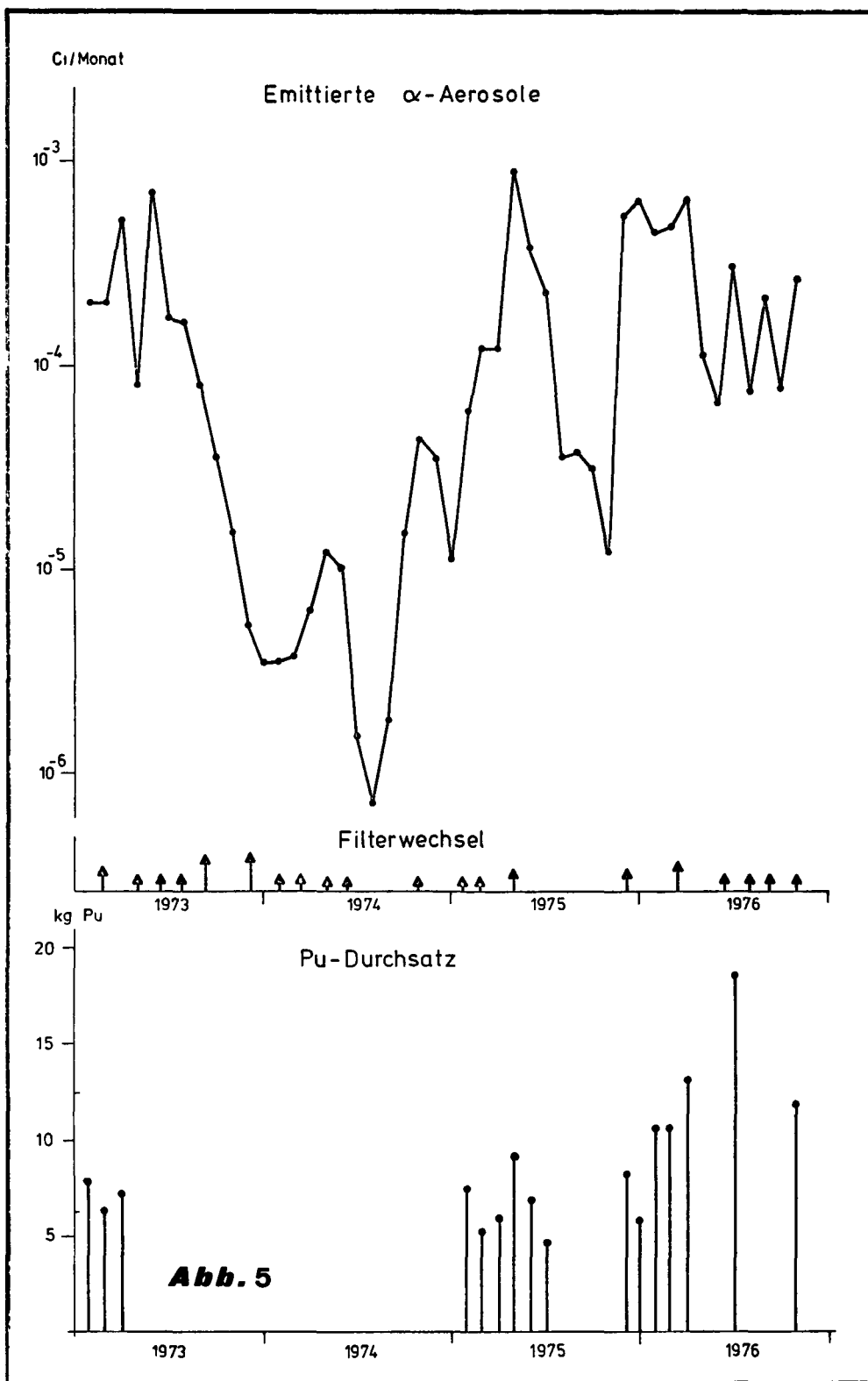
Ein Effekt von  $\alpha$ -Recoiling konnte aufgrund der kurzen Experimentierzeit noch nicht nachgewiesen werden. Die Versuche werden weitergeführt.

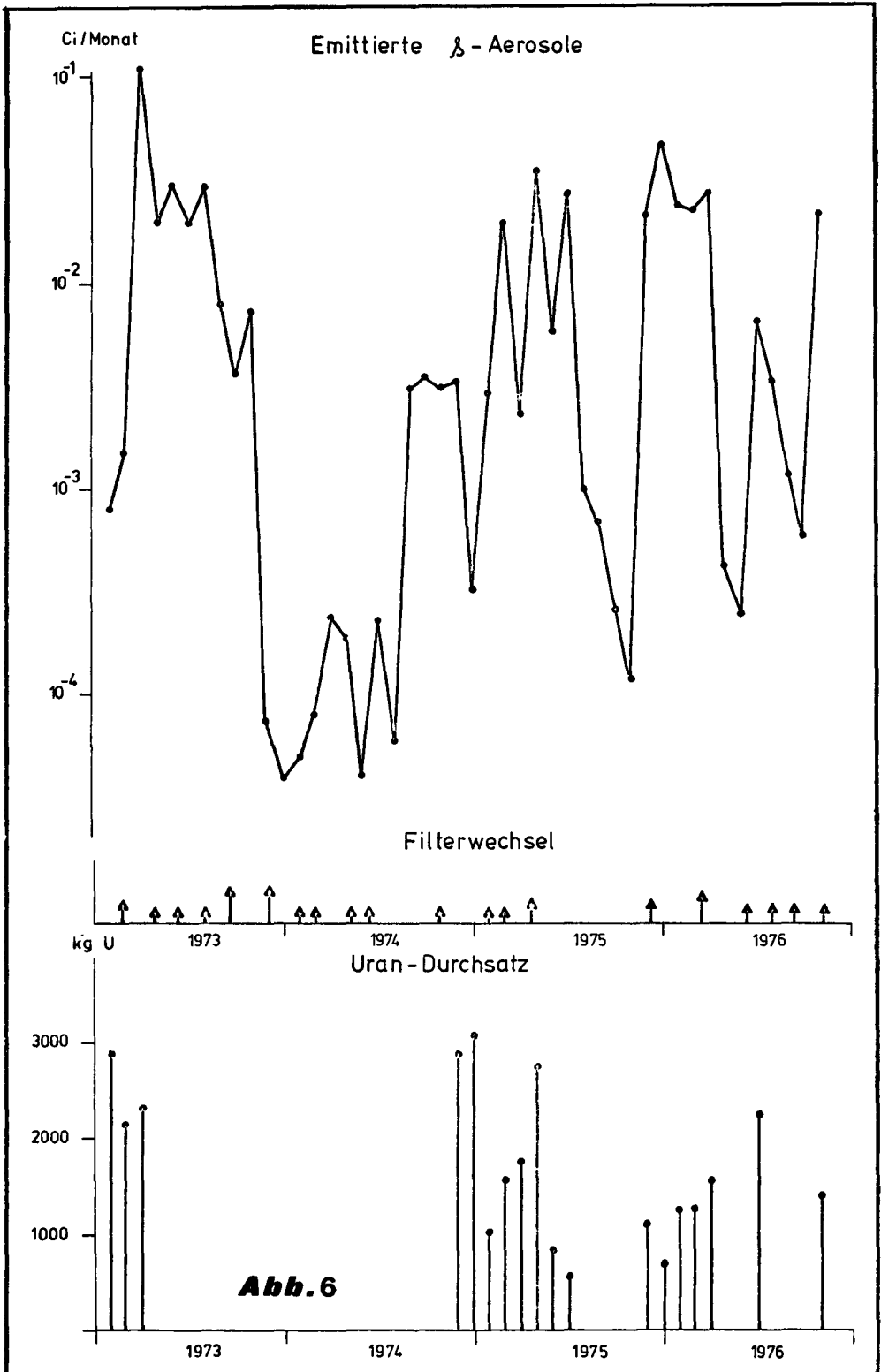
Literatur

- (1) C.N. Davies (Ed.):  
Aerosol Science, Academic Press,  
London and New York (1966)
  
- (2) G. Herrmann  
Zur Vor-Ort-Prüfung hochwirksamer Schwebstofffilter  
Reaktortagung 1971 des Deutschen Atomforums und der KTG  
in Bonn









EXPLOITATION DU SYSTEME DE FILTRATION DE L'AIR  
DANS L'INSTALLATION DE RETRAITEMENT  
DES COMBUSTIBLES IRRADIES EUREX

G. Cestaro et H. Dworschak

EUREX  
Saluggia - ITALIE

RESUME. Le système de filtration des aérosols dans l'usine de retraitement des combustibles irradiés EUREX est brièvement décrit.

L'expérience acquise pendant la période d'exploitation à chaud de l'usine est résumée.

En particulier, on discute de l'installation des filtres absolus, de leur rendement dans le temps (6 ans) et des systèmes de contrôle de leur efficacité.

KURZFASSUNG. BETRIEB DES LUFTFILTERUNGSSYSTEMS IN DER WIEDERAUFBEREITUNGSANLAGE FÜR BESTRAHLTE BRENNELEMENTE EUREX. Das Aerosolfilterungssystem in der Wiederaufarbeitungsanlage für bestrahlte Brennelemente EUREX wird kurz beschrieben.

Die während des Betriebes der Anlage erzielten Ergebnisse werden zusammengefasst.

Insbesondere werden die Absolutfilteranlagen vorgestellt, ihr Leistungsgang mit der Zeit (6 Jahre) sowie die Methode zur Kontrolle ihrer Abscheideleistung.

SUMMARY. OPERATION OF THE AIR FILTER SYSTEM AT THE EUREX IRRADIATED FUEL REPROCESSING PLANT. A brief description is given of the aerosol filter system in use at the EUREX irradiated fuel reprocessing plant.

There follows a summary of the experience acquired in the plant during high-active operation.

Particular attention is paid to the installation of absolute filters, their effectiveness over the six-year period in question and the systems for checking their efficiency.

## 1. INTRODUCTION

L'objet de ce rapport est de présenter les systèmes de ventilation et de filtration, avec leurs résultats opératifs, de l'usine pilote de retraitement des combustibles irradiés EUREX-CNEN, située à Saluggia, Italie.

Ces systèmes ont été mis en marche en février 1969 pour les essais de l'équipement et pour les expériences à froid.

En octobre 1970 l'usine a été démarrée à chaud.

Jusqu'à la fin de juillet 1974 506 éléments combustibles MTR ont été retraités pour un total d'environ 110 kg d'Uranium hautement enrichi, provenant de différents réacteurs de recherche italiens et communautaires.

Ensuite l'usine a été décontaminée à fond à fin de permettre une série de travaux de modification en prévision des campagnes de retraitement des combustibles des réacteurs de puissance, type CANDU ou LWR.

Ces travaux sont encore en cours.

## 2. PRINCIPES GENERAUX DU SYSTEME DE VENTILATION

La formation continuelle d'aérosols et de poussières à l'intérieur des équipements d'une usine de retraitement exige l'installation d'un système de ventilation capable d'éviter la diffusion de la contamination dans l'environnement.

Ce système adopte le concept des cascades des zones à dépression progressive de l'extérieur vers les enceintes à risque croissant de contamination.

La figure 1 représente le schéma général du système de ventilation de l'usine Eurex.

En conditions normales la formation des aérosols radioactifs est limitée exclusivement à l'intérieur de l'équipement du procédé, principalement due au contact intime de l'air utilisé dans les systèmes de mesure (niveau et densité), homogénéisation, échantillonnage et transfert des solutions.

Cet équipement, hermétiquement isolé vers le reste de l'usine, forme l'enceinte dynamique primaire, qui est ventilée à part. Pour des raisons opératives elle est réalisée en différentes branches plus ou moins indépendantes l'une de l'autre.

Ces branches terminent de toute façon dans le système général de ventilation, défini l'enceinte dynamique secondaire, avant la barrière des filtres absolus.

Cela permet une rationalisation des contrôles obligatoires de l'efficacité des barrières filtrantes, qui doivent être effectués de toute façon sur la dernière, étant donné que l'air provenant de la deuxième zone pourrait porter des aérosols en cas d'incident.

Les "off-gas" des circuits primaires, qui représentent 1'1% de l'air de l'usine déchargé dans l'environnement à travers la cheminée, sont soumis à une série de traitements pour réduire principalement leur contenu en aérosols actifs avant la barrière des filtres absolus.

On obtient ainsi un double avantage, soit dans la protection de l'environnement, soit dans les coûts d'exploitation, puisque le niveau d'activité et la fréquence de substitution d'un grand nombre de filtres dans la deuxième barrière peuvent être diminués sensiblement.

Les off-gas sont soumis à:

- un lavage avec eau/acid nitric dilué à fin d'éliminer principalement les gaz nitreux qui représentent un danger pour l'intégrité des filtres et de leurs supports;
- un traitement à 130°C sur un lit de zéolites argentées, limité aux courants qui pourraient retenir de l'Iode;
- une filtration à travers 2 filtres absolus (efficacité > 99,9%, méthode DOP), placés dans une cellule pourvue d'un écran biologique, soit pour les off-gas provenant des réservoirs du procédé, soit pour la section de traitement mécanique des éléments combustibles.

Pour l'air provenant des réservoirs de stockage des effluents à haute activité, qui est la source principale des aérosols radioactifs, surtout à cause de la nécessité d'agiter en continu avec air, le traitement consiste dans une préfiltration avec un filtre (95% efficacité DOP), placé dans un caisson en béton (épaisseur 15 cm) à perdre, qui est remplacé lorsque l'intensité d'exposition à contact atteint environ 200 mR/h.

### 3. VENTILATION DE L'USINE EUREX

Au dehors des enceintes primaires (DOG et VOG\*) la ventilation de l'usine est constituée par les systèmes:

- K1 - alimentation d'air conditionné dans les zones opératives contrôlées (salle des réactifs, laboratoires analytiques, galeries "chaudes", etc.)
- K3 - alimentation d'air conditionné dans la zone d'intervention des cellules du procédé et ensuite dans les cellules mêmes.
- K2 - extraction de l'air provenant des systèmes K1, K3, DOG et VOG. Les différents courants d'air sont réunis, à travers des canaux munis de vannes de régulation, dans un "plenum". En fin l'air passe à travers les barrières des filtres primaires et des filtres absolus et sort à l'atmosphère à une hauteur de 60 m.
- K8 - ventilation de la zone de stockage des déchets; ce système est aussi pourvu de filtres primaires et de filtres absolus.

### 4. INSTALLATION DES FILTRES ABSOLUS.

L'installation de filtration générale K2 a une capacité de traitement de 50.000 mc/h.

Les préfiltres (efficacité 65% DOP) e les filtres absolus (ef-

\* DOG = Dissolver Off Gas; VOG = Vessel Off Gas

ficacité  $\geq 99,97\%$  DOP) sont groupés dans 3 canaux, dont 2 sont normalement en service et le troisième de réserve.

Chaque batterie de filtres absolus est composée par 12 éléments filtrants de dimensions standard, 610x610x292 mm, qui ont un débit nominal de 3000 mc/h avec une perte de charge de 25 mm c.e. (type Air Industrie - Poelman VZX22).

Pendant les premières années d'exploitation ont été utilisées des batteries de 9 éléments filtrants standard avec un débit de 1850 mc/h (type 1H 1000 Cambridge).

Les caisses filtrantes sont fixées préalablement sur un support (voir figure 2).

L'étanchéité entre les caisses et le support est assurée par un joint de caoutchouc mousse de 10 mm.

Les groupes filtrants ainsi préparés sont mis en position par le haut dans les fosses de filtration (voir figure 3).

Le remplacement de ces batteries (voir figure 4) peut être réalisé avec étanchéité alpha, à l'aide d'un sac en PVC, épaisseur 30/100 mm, capable de contenir le groupe entier et avec étanchéité gamma, assurée par une base en béton, ouverte sur un côté pour les opérations de soudure et coupage du sac, et avec une cloche, aussi en béton, qui permet de porter les groupes dans des caissons en béton utilisés pour le stockage temporaire des filtres épuisés.

Pour le traitement de l'air de la zone déchets (K8) on dispose de 2 canaux, l'un de réserve à l'autre, en acier inox, chacun portant un préfiltre et un filtre absolu standard type Cambridge, remplaçables avec étanchéité alpha.

##### 5. MATERIAUX EMPLOYES

L'installation fixe de ventilation est réalisée en acier inox AISI 304 L ou 304.

En effet, après environ 6 ans de fonctionnement, on a dû substituer les canaux de la zone déchets, construits en acier normal,

par d'autres en acier inox.

Les filtres absolus, comme établi d'ailleurs par des prescriptions techniques, doivent avoir les caractéristiques suivantes:

- efficacité minimale 99,9%, mesurée par la méthode DOP;
- résistance aux hautes températures
- résistance à une pression statique minimale de 400 mm c.e.

Parmi les différents types disponibles en commerce, ceux qui peuvent satisfaire ces exigences ont généralement les caractéristiques suivantes:

- châssis en métal galvanisé avec Cadmium ou Zinc, ou en acier inox, ou en bois ignifuge;
- matériel filtrant verre ou verre-amiante;
- joints en caoutchouc mousse ou neoprène;
- diviseurs éventuels en aluminium ou en amiante.

Il est évident que la précision de construction des supports et le montage correct des filtres influencent l'efficacité sur tout des unités filtrantes multiples.

#### 6. EXPLOITATION CONTRÔLES ET ENTRETIEN

L'efficacité du système de filtration est surveillée en continu et contrôlée périodiquement par:

- l'enregistrement journalier de la perte de charge des préfiltres et des filtres absolus;
- le monitoring continu enregistré de l'activité alpha/beta-gamma dans l'air à la cheminée (aerosols);
- la mesure de l'efficacité des préfiltres et de l'ensemble préfiltres/filtres absolus avec la méthode DOP chaque trimestre
- le contrôle de l'activité accumulée sur les filtres avec des révélateurs gamma insérés dans les écrans biologiques.

Les valeurs limites suivantes établies par les prescriptions techniques, doivent être respectées dans ces contrôles:

- perte de charge  $\leq 100$  mm c.e.;
- efficacité  $\geq 99,9\%$  DOP;



- intensité d'exposition à l'extérieur du dispositif de remplacement des filtres  $\leq 200$  mR/h.

Les filtres doivent être remplacés dès qu'une de ces conditions n'est pas respectée.

Les essais avec la méthode DOP doivent être faits chaque fois après des événements particuliers, par exemple une chute imprévue de la perte de charge ou un niveau d'activité anormale à la cheminée, qui pourraient indiquer une rupture des barrières filtrantes.

On va exposer de suite les répercussions de tous ces facteurs sur la fréquence de remplacement des filtres à l'usine Eurex.

Pendant 8 ans d'exploitation du système K2 des groupes de pré-filtres ont été remplacés 6 fois et des groupes de filtres absolus 3 fois.

La cause était une perte de charge trop élevée (voir tableau I). L'efficacité DOP des tous les groupes employés pendant le temps d'exploitation a été  $>99,9\%$  pour l'ensemble préfiltres/filtres absolus (voir tableau II).

Le niveau d'activité  $\beta\gamma$  le plus haut enregistré au contact d'une barrière de préfiltres a été 10 mR/h.

Au dépôt des déchets les préfiltres et les filtres absolus du système K8 ont été changés 3 fois.

Dans un cas seulement la cause était la chute de l'efficacité au dessous de la valeur limite.

Cette chute, indiquée d'abord par l'augmentation de l'activité dans l'air de la cheminée, a été confirmée peu après par la mesure DOP.

Il est probable que la source de ce phénomène soit le mauvais état de conservation des canaux filtrants en acier normal, qui ensuite ont été remplacés par des autres en acier inox.

La plus haute activité  $\beta\gamma$  enregistrée au contact des filtres du K8 a été 150 mR/h.

Un tel niveau ne demande aucun écran biologique gamma, ni en

phase d'exploitation, ni en phase d'entretien.

Cela est sans doute la conséquence du prétraitement auquel les courants sont soumis, qui effectivement contiennent des aérosols radioactifs, c'est-à-dire les off-gas des réservoirs.

Il en résulte que la durée des filtres en exploitation n'est pas limitée en premier lieu par l'accumulation de l'activité ou par la perte de leur efficacité, mais par leur engorgement progressif surtout à cause des aérosols inactifs introduits de l'extérieur.

Pour cette raison chez Eurex on a équipé les systèmes K1 et K3 de conditionnement et alimentation de l'air avec des filtres d'une plus haute efficacité (65+95% DOP) et en effet on a prolongé la vie moyenne des filtres du K2.

Un examen du tableau I permet de constater qu'après les opérations de nettoyage et de démarrage de l'usine en 1970/1971 tous les groupes filtrants ont duré plus de temps et qu'une ultérieure amélioration a été obtenue par le montage des groupes à 12 filtres qui ont un débit nominal de 3000 mc/h chacun.

L'emploi de filtres de bonne efficacité dans l'alimentation de l'air constitue un avantage économique évident, parce que ces filtres peuvent être remplacés sans risque radiologique et ne donnent pas des déchets solides radioactifs à conserver.

Les filtres contaminés sont actuellement conservés chez Eurex dans l'état où ils sont enlevés de l'installation.

Compte tenu de leur bas niveau d'activité, on pense pour le future d'installer une cellule à étanchéité alpha pour un désassemblage des groupes des filtres avec le double avantage économique de récupérer les supports en inox et de réduire à 10 fois les volumes des déchets solides.

## 7. CONCLUSION

Le système de ventilation de l'usine Eurex décrit n'a jamais donné lieu à des situations particulièrement critiques en ce

qui concerne son exploitation et sa sécurité nucléaire et envi  
ronnementale.

Les critères adoptés pour la ventilation de l'Eurex sont ré-  
sultats valables compte tenu des améliorations apportées, en dépit  
de certains détails qu'il faut accepter tels quels dans une  
installation déjà construite.

Le but fondamental reste toujours le traitement de l'air d'une  
façon telle que les aérosols radioactifs soient éliminés le  
mieux possible dans une installation qu'offre la plus haute ga  
rantie pour un fonctionnement continu le plus sûr.

Les indications qui portent dans cette direction sont les sui-  
vantes:

- traitement poussé des courants d'air qui portent des aérosols  
ou de la poussière.

Etant donné que le volume d'air de ces courants est normal-  
ment assez réduit par rapport aux volumes globaux à traiter  
dans une usine de retraitement (pour des raisons de sécurité  
en cas d'incident), cela permet de réduire le nombre des fil-  
tres hautement contaminés avec tous les avantages économiques  
et d'entretien.

- traitement soigneux de l'air d'alimentation pour retarder le  
plus possible l'engorgement des barrières actives et prolonger  
ainsi leur durée. L'avantage dérive toujours de la dimi-  
nution des quantités de déchets radioactifs.

Chez Eurex ce but a été atteint en utilisant des filtres d'ef-  
ficacité >65% DGP.

- Excès de capacité des barrières filtrantes, qui joue toujours  
en faveur de leur durée.

Chez Eurex on a porté le nombre des éléments filtrants de 9  
à 12; les nouveaux filtres adoptés ont un débit nominal de  
3000 mc/h au lieu de 1850 mc/h.

Le taux de surcharge du 50% a été ainsi réduit jusqu'à une  
utilisation de 70% de leur capacité nominale.

En suivant ces indications la vie moyenne des groupes filtrants du K2 a dépassée 4 ans et leur activité est restée nettement au dessous de la valeur établie (200 mR/h à contact).

Ces résultats suggèrent d'abandonner le principe des écrans biologiques pour les barrières absolues générales, qui sont coûteux à cause de leurs dimensions et rendent difficiles les opérations d'entretien.

Une solution rationnelle est constituée par des bancs de cellules avec la possibilité de remplacer chaque filtre singulièrement à l'aide d'une simple étanchéité alpha.

La longue durée des groupes filtrants du système K2 indique implicitement que leur efficacité est restée au dessus de la valeur limite, déterminée avec la méthode DOP.

Le degré de sûreté de cette méthode, au moins en ce qui concerne la comparaison relative entre les vérifications successives, peut être considéré satisfaisant; cela a été d'ailleurs montré dans le cas de la perte d'efficacité du système K8.

Le choix de cette méthode a été fait après des études et des essais effectués près l'usine Eurex en collaboration avec les autorités de sécurité.

En particulier la méthode DOP a été comparé aux méthodes "Uranine" et Pollak à l'égard desquelles la méthode DOP s'est révélée supérieure grâce à sa précision, sa répétibilité, son taux de confiance et sa simplicité d'application .

A notre avis un jugement plus correct sur la validité du "DOP test" pourrait être suggéré si les usines pourraient disposer d'un système de contrôle de qualité de la méthode même.

TABLEAU I - Substitution filtres Primaires

DATE	Canal concerné	Groupe substitué	Nouveau groupe	Jours Exploitation	Cause de substitution
Nov. 1970	K2 - OUEST	9 cellules standard	9 cellules standard	408	Haute perte de charge
Jan. 1971	K2 - Centrale	9 " "	9 " "	431	" " " "
Fév. 1971	K2 - EST	9 " "	9 " "	253	" " " "
Oct. 1971	K2 - OUEST	9 " "	9 " "	295	" " " "
Oct. 1973	K2 - Centrale	9 " "	12 " "	972	" " " "
Sept. 1976	K2 - EST	9 " "	12 " "	1790	" " " "
Avr. 1971	K8 - Supérieur	1 cellule	1 cellule	360	Essai de substitution
Avr. 1972	K8 - Inférieur	1 " "	1 " "	360	Perte d'efficacité
Sept. 1972	K8 - Vessel	1 " "	1 " "	700	Haute intensité d'exposition à l'extérieur de l'écran en béton du filtre
Sept. 1973	K8 Vessel Vent	1 " "	1 " "	360	
Nov. 1975	K8 - Supérieur	1 " "	1 " "	995	Substitution des canaux en acier au C avec canaux en AISI 304.
	K8 - Inférieur	1 " "	1 " "	300	

continue

TABLEAU I

SUBSTITUTION FILTRES ABSOLUS

Nov. 1970	K2 - OUEST	9 cellules standard	9 cellules standard	408	Haute perte de charge
Oct. 1973	K2 - Centrale	9 " "	12 " "	1403	" " " "
Sept. 1976	K2 - EST	9 " "	12 " "	2044	" " " "
Avr. 1971	K8 - Supérieur	1 cellule	1 cellule	360	Essai de substitution
Avr. 1972	K8 - Inférieur	1 " "	1 " "	360	Perte d'efficacité (mesuré 99,85% DOP)
Nov. 1975	K8 - Supérieur	1 " "	1 " "	995	Substitution des canaux en acier au C avec canaux en AISI 304.
	K8 - Inférieur	1 " "	1 " "	300	

TABLEAU II - Efficacité % filtres K2 et K8 mesurée par la méthode DOP.

DATE	K - 2			K - 8	
	EST	CENTRALE	OUEST	SUP. <sup>re</sup>	INF. <sup>re</sup>
7-1-71	99,98	99,98	99,98		
11-1-71				99,998	99,935
13-1-71		99,99			
5-2-71		99,998			
1-3-71	99,996				
6-4-71		99,998	99,997	99,998	99,97
27-4-71				99,96	
5-5-71				99,98	99,915
6-5-71	99,998	99,998	99,998		
4-6-71	99,997	99,997	99,995		
30-6-71	99,995	99,994	99,995		
12-8-71				99,98	99,957
30-9-71	99,996	99,997	99,982	99,975	99,922
27-12-71	99,97	99,92	99,98	99,98	99,905
27-3-72				99,97	99,85 (*)
4-4-72	99,994	99,99	99,99		
2-8-72					99,99
26-6-72	99,992	99,994	99,99	99,972	99,993
29-9-72	99,995	99,975	99,96	99,997	99,996
28-12-72	99,985	99,995	99,98	99,975	99,992
16-2-73	99,98	99,975	99,975	99,98	
28-3-73					99,955
30-3-73					99,998
16-5-73	99,993	99,996	99,995		
28-6-73				99,95	99,998

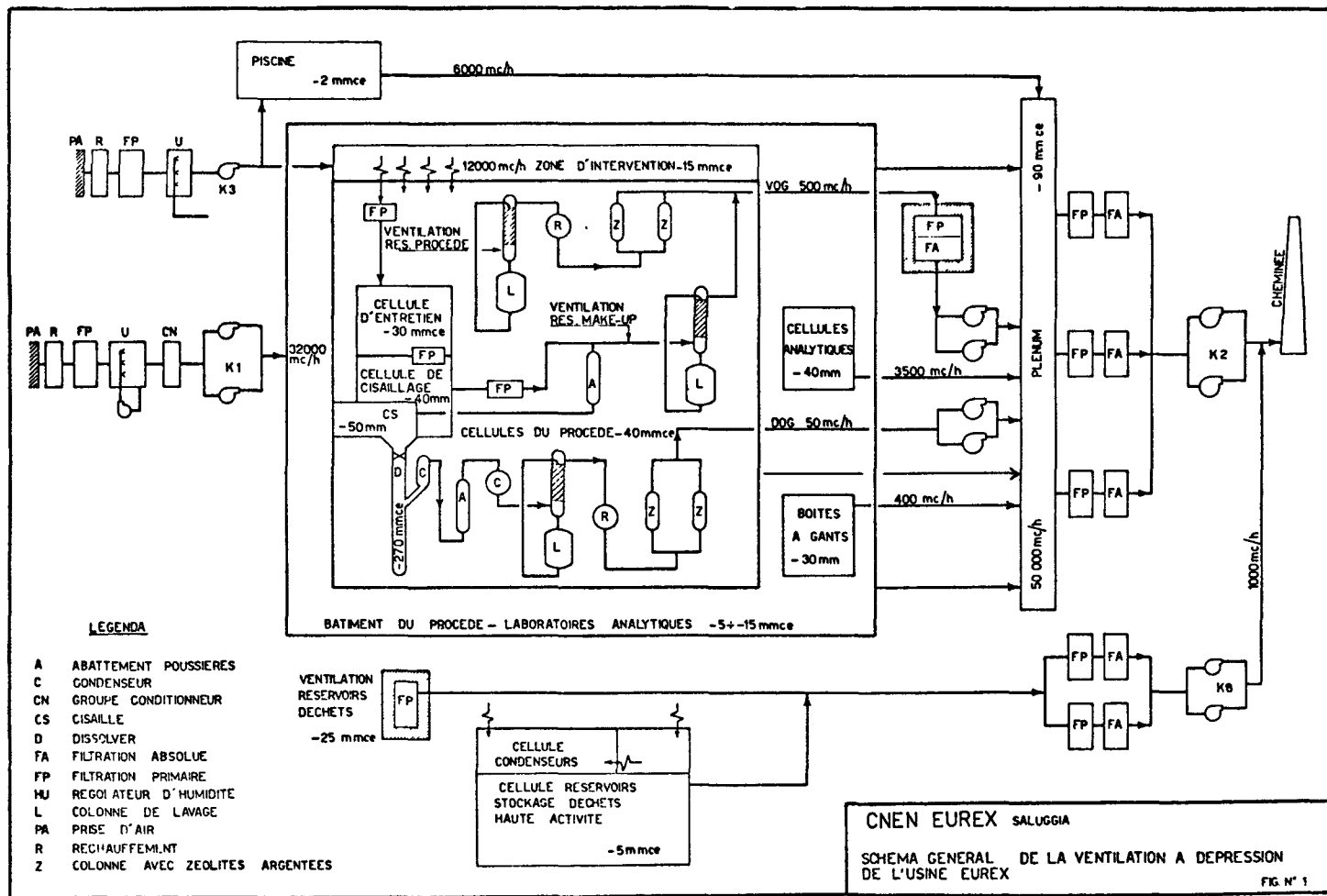
Note - (\*) Exclu canal et substitué les filtres.

continue

TABLEAU II

DATE	K - 2			K - 8	
	EST	CENTRALE	OUEST	SUP. <sup>re</sup>	INF. <sup>re</sup>
17-8-73	99,999	99,999	99,997		
17-10-73	99,995	99,997	99,995	99,92	99,998
11-1-74	99,992	99,994	99,986	99,95	99,998
10-4-74	99,996	99,997	99,995	99,935	99,998
2-7-74	99,995	99,997	99,995	99,94	99,964
6-10-74	99,996	99,994	99,996	99,910	99,997
7-1-75	99,960	99,910	99,920	99,920	99,990
7-4-75	99,980	99,990	99,990	99,960	99,990
5-7-75	99,980	99,995	99,966	99,970	99,999
octobre 1975				SUBSTITUTION CANAUX	
				OUEST	EST
6-10-75	99,996	99,994	99,996		
8-11-75				99,985	99,998
5-1-76	99,999	99,990	99,995		
6-2-76				99,985	99,998
6-4-76	99,998	99,990	99,990		
7-5-76				99,980	99,998
5-7-76	99,998	99,997	99,999		
16-8-76				99,980	99,998
29-9-76	99,998	99,998	99,998		

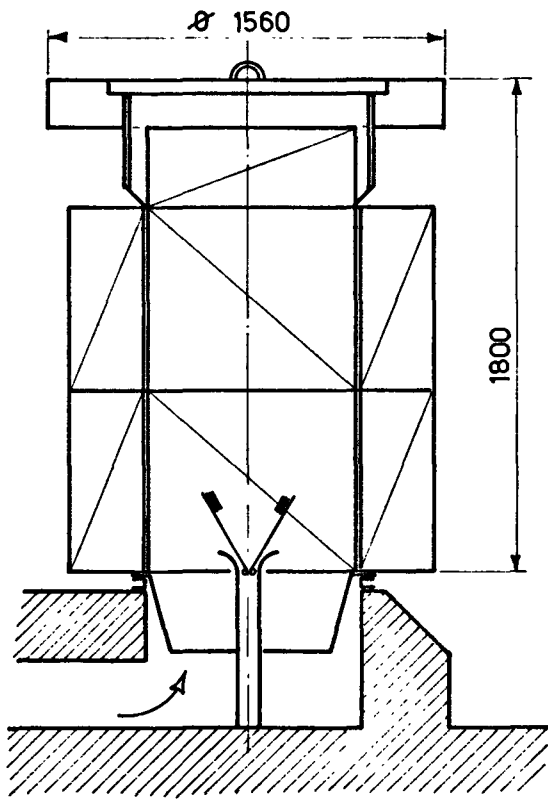




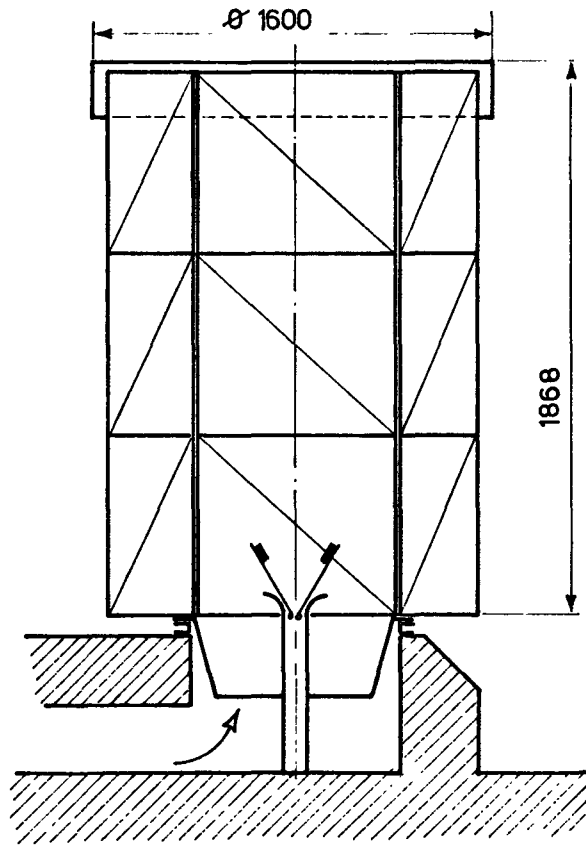
CNEN EUREX SALUGGIA  
BATTERIES AVEC 9 ET 12 CELLULES FILTRANTES STANDARD

FIG. N° 2

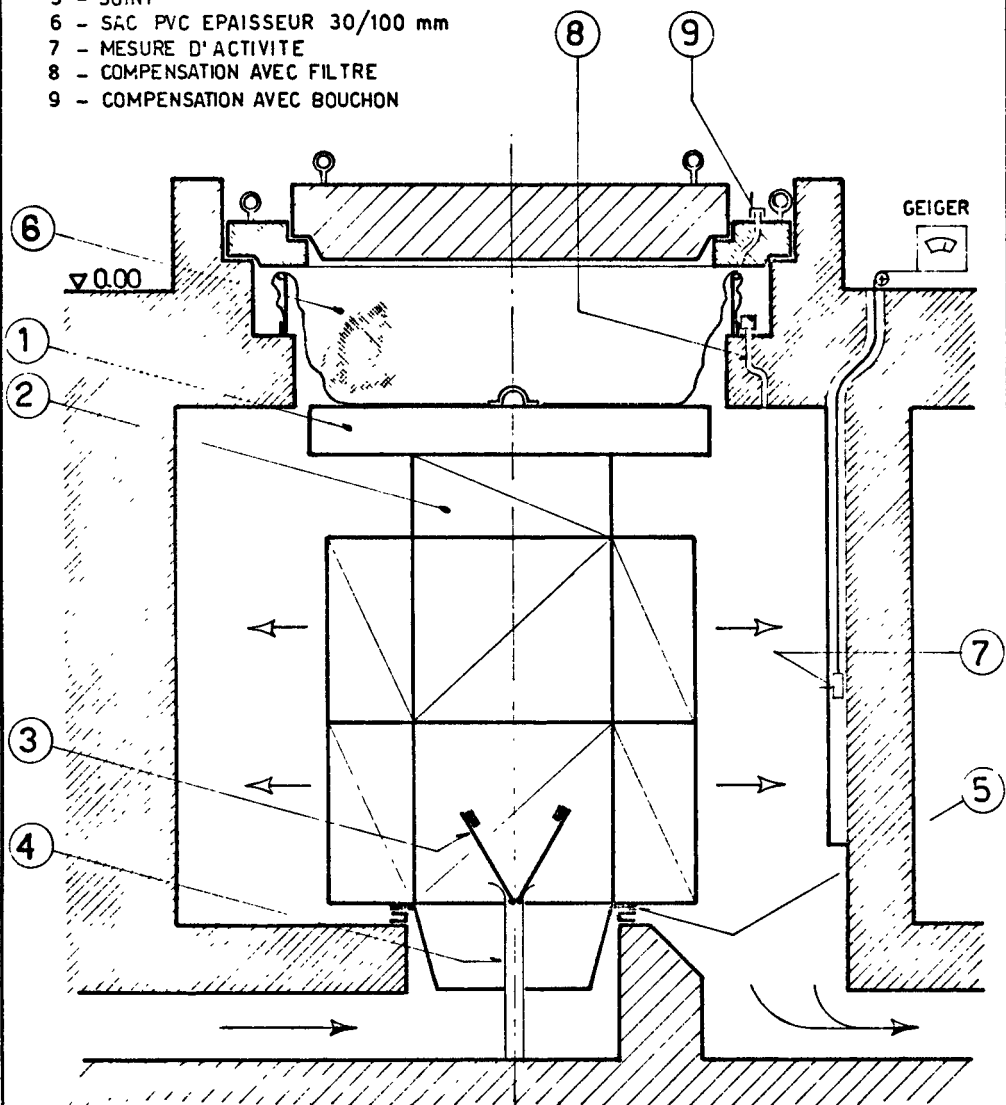
9 CELLULES 610x610x292 mm



12 CELLULES 610x610x292 mm



- 1 - CHASSIS DE SUPPORT FILTRES
- 2 - FILTRES CELLULES STANDARD 610x 610x 292 mm
- 3 - CLAPET
- 4 - FOURCHE D'OUVERTURE DES CLAPETS
- 5 - JOINT
- 6 - SAC PVC EPAISSEUR 30/100 mm
- 7 - MESURE D'ACTIVITE
- 8 - COMPENSATION AVEC FILTRE
- 9 - COMPENSATION AVEC BOUCHON



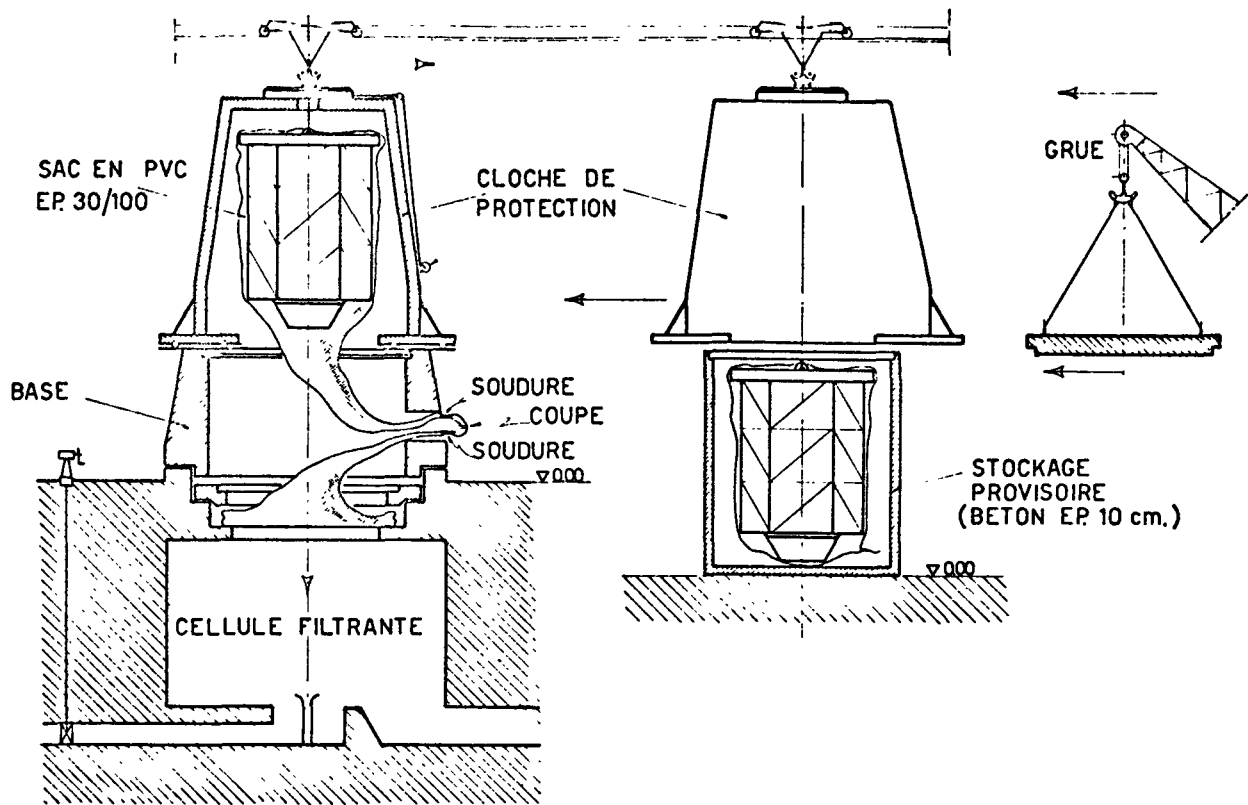
CNEN EUREX SALUGGIA

EQUIPEMENT FILTRANT D'EXTRACTION DU K-2

FIG. N° 3

CNEN EUREX SALUGGIA  
REPLACEMENT D'UNE BATTERIE FILTRANTE D'EXTRACTION DU K 2

FIG. N° 4



## PROBLEMES POSES PAR LA FILTRATION ABSOLUE DANS LES USINES DE RETRAITEMENT

C. Seau

C. E. N. (x) Marcoule  
Bagnoles-sur-Ceze - FRANCE

**RESUME.** L'usine de retraitement de Marcoule et ses annexes ont été les premières installations nucléaires industrielles réalisées en France. Au cours des premières années, les exploitants devaient rencontrer un certain nombre de difficultés dans le domaine de la filtration à haute efficacité.

Notre but est d'exposer les principaux problèmes qui se sont posés et les solutions qui ont pu leur être apportées.

Il convenait, tout d'abord, d'améliorer la fiabilité des filtres, et pour cela, de tester la tenue mécanique des filtres en présence de vapeurs acides, de solvant ou en atmosphère très humide.

A partir de ces essais, nous avons pu sélectionner un médium filtrant pour chaque application particulière.

La recherche du coût d'exploitation minimum nous a ensuite conduits à définir la capacité au colmatage des filtres disponibles sur le marché.

Le coût d'exploitation ne se limite pas aux seuls rechanges, la dépense en énergie et le conditionnement des déchets ne sauraient être négligés.

Un calcul d'optimisation permet de réduire la dépense occasionnée par la filtration.

Enfin, l'expérience acquise nous a permis de dégager quelques règles essentielles applicables aux installations de ventilation et de filtration lors de leur conception et de leur exploitation.

**KURZFASSUNG. PROBLEME DER ABSOLUT-FILTRIERUNG IN AUFBEREITUNGSANLAGEN.** Die Aufbereitungsanlage von Marcoule und deren Nebenanlagen waren die ersten in Frankreich gebauten kerntechnischen Industrieanlagen.

In den ersten Jahren sahen sich die Betreiber mit einigen Schwierigkeiten auf dem Gebiet der Hochleistungsfiltrierung konfrontiert.

Hier sollen die wichtigsten aufgetretenen Probleme und die dafür gefundenen Lösungen aufgezeigt werden.

Zunächst galt es, die Betriebssicherheit der Filter und zu diesem Zweck das mechanische Verhalten in Gegenwart von Säuredämpfen, Lösungsmitteln oder in sehr feuchter Atmosphäre zu untersuchen.

Auf Grund dieser Versuche konnten wir für jeden besonderen Anwendungszweck ein entsprechendes Filtermedium auswählen.

Bei der Ermittlung der Mindestbetriebskosten gelangten wir schliesslich zu der Definition der Verstopfung infolge Beladung bei den auf dem Markt erhältlichen Filtern.

Die Betriebskosten beschränken sich nicht nur auf die auszuwechselnden Teile; die Kosten für Energie und Aufbereitung von Abfällen sind ebenfalls nicht zu vernachlässigen.

Mit Hilfe einer Optimierungsrechnung können die Kosten für die Filtration herabgesetzt werden.

Schliesslich konnten aus den gewonnenen Erfahrungen einige wichtige Regeln für den Entwurf als auch für den Betrieb von Lüftungs- und Filteranlagen abgeleitet werden.

**SUMMARY. PROBLEMS POSED BY ABSOLUTE FILTRATION IN RE-PROCESSING PLANTS.** The Marcoule reprocessing plant and its annexes were the first industrial nuclear installations in France.

In the early years the operators had to face a number of difficulties in the field of high-efficiency filtration.

Our aim is to bring out the main problems which have arisen and the solutions applied.

First and foremost, it was necessary to improve the reliability of the filters, which involved testing the mechanical behaviour of the filters in the presence of acid vapours or solvent and at high humidities. On the basis of these tests we were able to select a filter medium for each particular application.

With a view to minimizing operating costs, we were subsequently led to establish the dust loading capacity of the various filters on the market. Operating costs are not restricted to the replacement costs; those of power supplies and waste disposal processing must not be overlooked. The expenditure incurred for filtration can be reduced by calculating the optimum conditions.

Finally, we have been able, on the basis of experience gained, to lay down a number of basic rules applicable to the design and operation of ventilation and filtration plants.

---

(\*) C. E. N. = Centre d'Etudes Nucléaires

I - INTRODUCTION -

-----

Le Centre de Production de Plutonium de MARCOULE fut le premier complexe industriel nucléaire construit en FRANCE.

La mise en service des premières installations se situe entre 1956 et 1960, à une époque où la technologie, en matière de filtration, n'avait pas encore atteint son développement actuel.

Au cours des premières années, les exploitants devaient rencontrer un certain nombre de difficultés dans le domaine de la filtration à haute efficacité.

Avant d'exposer les problèmes qui se sont posés et les solutions qui ont pu être apportées, il convient de décrire, succinctement, les premières installations de ventilation et de filtration réalisées à MARCOULE.

Pour cela, nous nous limiterons à un exemple qui nous paraît, particulièrement, intéressant : celui de l'usine de retraitement.

L'USINE DE RETRAITEMENT :

comprend, essentiellement, trois zones classées en fonction du risque radio-actif :

- . une zone inactive (zone verte)
- . une zone semi-active (zone orange)
- . une zone active (zone rouge).

Ces trois zones sont ventilées en série avec reprises par ventilateurs afin de maintenir des dépressions croissantes de l'inactif vers l'actif.

Des filtres absolus sont montés sur la prise d'air extérieur, puis entre zones orange et rouge. Enfin, avant rejet à l'extérieur, l'air extrait de la zone active subit une

double filtration absolue.

Tous les filtres employés sont des dièdres ou des cellules à double plissage qui offrent une grande surface de filtration pour un encombrement réduit. La vitesse de filtration, inférieure à 1 cm/sec. permet d'atteindre une durée d'utilisation de l'ordre de 5 ans.

Les filtres sont montés dans des caissons facilement démontables à distance, l'opération pouvant être contrôlée par des caméras de télévision.

Il s'agissait donc, on le voit, d'une installation très élaborée. A noter, cependant, que le réseau d'extraction active et sa filtration absolue étaient communs à l'origine aux locaux et aux appareils.

Cette disposition devait être la cause d'un certain nombre de difficultés.



- CONDITIONS D'UTILISATION DES FILTRES ABSOLUS

-----  
DANS LES USINES DE RETRAITEMENT -  
-----

Les conditions d'utilisation des filtres absolus sont très différentes suivant qu'il s'agit de l'air extrait des locaux ou de l'air extrait par les événements des appareils.

L'air en provenance des locaux ne pose pas de gros problèmes au point de vue filtration. Les débits sont généralement importants car ils dépendent du nombre de renouvellements qui peut, suivant le cas, varier de 5 à 10. L'humidité relative de l'air extrait ne dépasse pas 70 % et la contamination se présente sous forme de poussières radio-actives.

Les risques de condensations, dans les gaines, ou sur les filtres, sont réduits et l'utilisation des filtres peut être poussée jusqu'au colmatage.

Par contre, la ventilation des appareils actifs pose un problème difficile du fait de la présence de vésicules liquides et de vapeurs de différentes natures : acides, solvant, huile, eau.....

Des condensations se produisent dans les gaines et au contact des filtres. Ces "jus" très corrosifs attaquent les filtres et les détruisent plus ou moins rapidement.

Si la ventilation des appareils constitue un circuit totalement indépendant, le débit peut être réduit au minimum en vue d'assurer une dépression presque sans débit.

Il suffit, pour cela, que l'étanchéité des appareils soit assez poussée et, en particulier, que toutes les tuyauteries qui aboutissent à ces appareils soient équipées de gardes hydrauliques.

La réduction du débit présente un double avantage :

- . l'entraînement vésiculaire est considérablement diminué
- . de plus, il devient possible de protéger les filtres absolus par des dispositifs appropriés tels que laveurs, dévésiculateurs, condenseurs ou batteries de deshumidification.

Malheureusement, les premières installations mises en service à MARCOULE ne possédaient pas de réseau distinct pour les appareils. Les événements étaient généralement reliés à la ventilation générale et l'étanchéité des appareils était le plus souvent très insuffisante.

La tenue des filtres était compromise par les entraînements vésiculaires et les condensations qui provoquaient une fragilisation, puis le claquage du médium filtrant.

Les filtres devaient être changés bien avant leur colmatage et la fiabilité de toute la filtration active était compromise.

- AMELIORATION DE LA TENUE MECANIQUE DES FILTRES -  
-----

Tout d'abord, nous avons cherché à localiser les principales sources de pollution des circuits d'extraction active. Des prélèvements ont été effectués dans les gaines et les jus recueillis au moyen de pièges froids ont pu être analysés.

A partir de ces résultats, un certain nombre de modifications ont été réalisées :

- . amélioration de l'étanchéité des appareils
- . installation de dévésiculeurs
- . création d'un réseau particulier pour les appareils les plus polluants.

Cependant, il ne pouvait être question de généraliser l'emploi d'appareils de traitement. Avec un débit de 150 000 m<sup>3</sup>/h pour la seule usine de retraitement, une telle solution conduisait à des dépenses inacceptables.

Notre effort a donc porté sur la qualité des filtres employés et nous avons effectué une série d'essais pour comparer le comportement de différents types de filtres en présence d'humidité, d'acides ou de solvants.

ESSAIS SUR MEDIUM FILTRANTS

En premier lieu, nous avons pratiqué une série d'essais de claquage à la colonne d'eau sur disques de 100 mm.

L'appareillage comprend un châssis tubulaire qui supporte un réservoir de grand diamètre muni d'un obturateur.

Le châssis supporte, également, la colonne d'essais dont le diamètre intérieur est de 100 mm. Cette colonne est munie d'un jeu de brides à la partie inférieure pour fixer l'échantillon.

L'eau arrive du réservoir supérieur par un tube crépiné à quelques millimètres du papier filtre et l'écoulement peut être obtenu sans que l'échantillon soit exposé aux jets de liquide.

Cet appareillage assez simple nous a permis d'effectuer plusieurs essais :

- . des essais de rupture instantanée à la colonne d'eau pour connaître la résistance mécanique initiale de l'échantillon
- . des essais de rupture de l'échantillon après imprégnation plus ou moins prolongée dans de l'eau, des acides ou des solvants.

#### ESSAIS DE LONGUE DUREE SUR BOUCLE D'ESSAIS

L'essai de claquage à la colonne d'eau demande peu de temps, par contre, il ne permet pas de reproduire, exactement, les conditions réelles d'utilisation.

Il nous a paru indispensable de vérifier les résultats obtenus lors des essais de claquage à la colonne d'eau. Pour cela, nous avons été amenés à reproduire en boîte à gants des atmosphères très humides ou très acides et nous avons soumis les filtres à des essais de longue durée en circuit fermé.

## RESULTAT DE CES ESSAIS

Ces essais nous ont montré qu'il n'existe pas de filtres susceptibles de couvrir la totalité des besoins.

Après avoir défini, avec précision, les principaux cas d'utilisation, il convenait de sélectionner un type de filtre pour chacun de ces cas.

Nous avons été conduits à distinguer 3 catégories principales de filtres :

- a) - les filtres atmosphériques destinés à l'épuration poussée de l'air extérieur
- b) - les filtres généraux d'extraction des locaux accessibles au personnel
- c) - les filtres spéciaux d'extraction montés sur les événements des appareils ou sur des enceintes très actives.

Ces filtres travaillent dans des conditions difficiles : humidité élevée, présence d'acides, de vapeur ou de gaz corrosifs et nocifs, présence de solvant.

Pour la filtration atmosphérique et l'extraction des locaux accessibles au personnel, le choix repose, uniquement, sur des critères économiques : coût et capacité au colmatage.

Dans ce cas d'utilisation, nous avons retenu les dièdres ou cellules à double plissage réalisés en papier amiante.

Par contre, les mêmes critères ne sauraient être pris en compte dans le cas des filtres spéciaux d'extraction active.

Ces filtres doivent, avant toute chose, conserver leur résistance mécanique, et leur fiabilité ne doit pas être affectée par une utilisation prolongée.

Chaque cas d'utilisation doit faire l'objet d'une étude particulière suivant la nature des produits chimiques contenus dans l'air à filtrer.

Ainsi les filtres en fibre de verre résistent bien à l'humidité, l'acide nitrique et certains solvants.

De même, en présence d'acide fluorhydrique, il convient de faire appel à la cellulose, ou mieux, à certaines fibres synthétiques.

#### RESULTATS PRATIQUES

L'application des règles simples énoncées ci-dessus nous a permis de quintupler la durée d'utilisation de certains filtres, tout en améliorant la fiabilité des installations.

- OPTIMISATION DE LA DEPENSE OCCASIONNEE PAR LA FILTRATION -  
-----

Le problème de la tenue des filtres étant sensiblement résolu, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'aspect économiques de la filtration.

A MARCOULE, le débit traité en filtration absolue dépasse 1 500 000 m<sup>3</sup>/h, et le nombre d'éléments filtrants installés est supérieur à 30 000, ce qui correspond pour les seuls filtres à un investissement de l'ordre de : 300 000 F. La durée moyenne des filtres est actuellement de 6 ans et le coût des rechanges s'élève à 500 000 F/an.

Dans le cas de l'industrie nucléaire, le remplacement des filtres se traduit par une triple dépense :

au coût des rechanges s'ajoute celui de la main d'oeuvre, mais aussi le coût du conditionnement et du stockage des déchets.

Au total, le coût de l'opération représente au minimum 800 000 F/an, soit 1,6 fois le coût des rechanges.

On voit donc tout l'intérêt que revêt une utilisation prolongée des filtres, celle-ci étant conditionnée par leur capacité au colmatage.

Cependant, le coût de la filtration ne se limite pas aux seuls rechanges, et la dépense en énergie électrique ne saurait être négligée, surtout actuellement.

EXPLOITATION DES FILTRES

En général, les installations de filtration sont équipées d'un simple registre pour le réglage du débit.

A la mise en service des filtres neufs, ce registre crée une perte de charge appelée réserve de colmatage.

L'ouverture progressive du registre permet de maintenir constante la perte de charge de l'ensemble filtre + registre, le débit restant également constant.

L'ouverture complète du registre entraîne le remplacement des filtres, car il devient impossible de maintenir le débit à sa valeur normale.

Sauf exception, le colmatage ne constitue pas une caractéristique des filtres, la réserve de colmatage ne dépend, en fait, que de la pression statique des ventilateurs.

L'exploitant peut donc modifier la réserve de colmatage et donc la durée d'utilisation des filtres en augmentant la vitesse des ventilateurs.

A noter, cependant, que ce gain, dans la durée d'utilisation des filtres, se traduit par une consommation d'énergie électrique accrue.

Il convient de suivre, régulièrement, l'évolution de la perte de charge des filtres, les valeurs relevées après réajustage du débit seront portées sur un graphique.

Les courbes de colmatage présentent un intérêt considérable pour l'exploitant car, à partir de ces courbes, un calcul d'optimisation simple permet de réduire sensiblement le coût d'exploitation.

#### REDUCTION DU COUT DE LA FILTRATION

A partir des courbes de colmatage, si l'on connaît la réserve de colmatage d'une installation, il est possible de prévoir la durée d'utilisation des filtres.



L'exploitation des courbes de colmatage peut conduire, également, à modifier la réserve de colmatage et donc la puissance des ventilateurs. Ceci en vue de réduire le coût d'exploitation de la filtration. (Figure I).

Soit  $y$  le coût horaire d'exploitation

$F$  le coût total des rechanges (fourniture, main d'oeuvre, conditionnement des déchets .....)

$Pr$  la puissance absorbée par la réserve de colmatage avec  $Pr = Kt$  pour une courbe de colmatage linéaire

$f$  le prix du kWh

$t$  le temps d'utilisation des filtres.

On peut écrire :

$$Y = Pr f + \frac{F}{t} = Pr f + \frac{FK}{Pr}$$

Le coût horaire d'exploitation passe par un minimum pour :

$$Pr = \left(\frac{FK}{f}\right)^{\frac{1}{2}}$$

Cette valeur de  $Pr$  correspond à la réserve de colmatage économique et donc à la puissance optimum des ventilateurs.

A noter que la réserve de colmatage économique augmente en fonction du coefficient angulaire de la courbe de colmatage.

Ceci conduit à rechercher des filtres dont la capacité au colmatage est élevée, mais aussi à limiter le débit spécifique à des valeurs comprises entre 15 et 30 m<sup>3</sup>/h par m<sup>2</sup> de surface filtrante.

Dans ces conditions, la réserve de colmatage économique se situe, généralement, entre 70 et 110 mm CE et la durée d'utilisation des filtres entre 3 et 5 ans pour des filtres primaires. (Figure II).

- CONCLUSIONS GENERALES -

\*\*\*\*\*

Après 10 années consacrées à l'exploitation des installations de filtration du CENTRE de MARCOULE, il nous paraît utile de souligner l'importance de la filtration dans les dépenses de fonctionnement d'une usine de retraitement.

Cette dépense peut, cependant, être sensiblement réduite grâce à un choix judicieux des éléments filtrants. La recherche du filtre le mieux adapté pour chaque cas d'utilisation permet à la fois de réduire les coûts et d'améliorer la fiabilité des installations.

La recherche d'un coût d'exploitation minimum nécessite, également, le suivi du colmatage et conduit fréquemment à réajuster la vitesse des ventilateurs.

Dans ce rapport, nous nous sommes volontairement limités au cas des installations existantes.

Cependant, dès le stade du projet, il convient de respecter quelques règles essentielles :

. Ainsi la filtration ne saurait être commune pour les locaux et les appareils. Le maintien d'une dépression, dans les enceintes à forte activité et les appareils, devra être assurée avec un débit réduit pour éviter l'entraînement d'aérosols ou de vésicules liquides fortement contaminés.

De même, un sous dimensionnement des surfaces filtrantes conduit toujours à un coût d'exploitation prohibitif. La vitesse de filtration ne saurait, en aucun cas, excéder 1 cm/sec pour des filtres absolus utilisés en continu sans préfiltres.

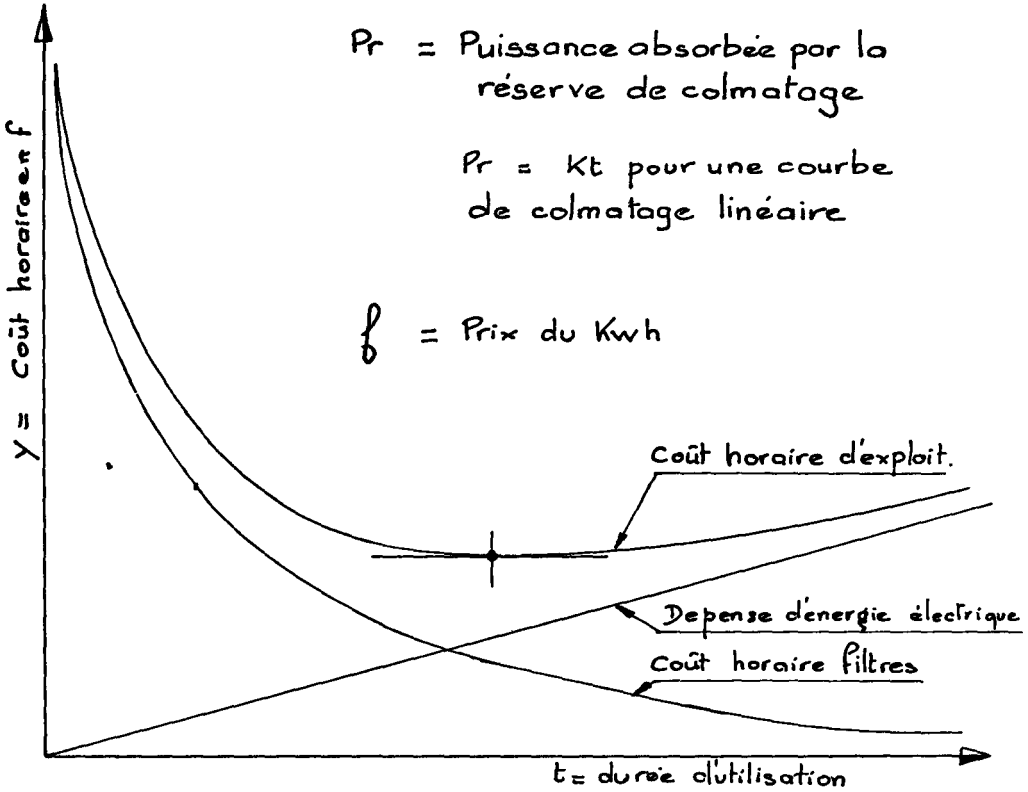
Enfin, la réserve de colmatage sera fixée à une valeur suffisante pour permettre plusieurs années d'utilisation. Une durée de 3 à 5 ans nous paraît souhaitable.

Dans le cas de fortes concentrations en poussières, la réserve de colmatage pourra atteindre 120 mm CE, mais la durée d'utilisation ne saurait, en aucun cas, être inférieure à 1 an.

-----

- FIGURE I -

## Puissance optimum des ventilateurs

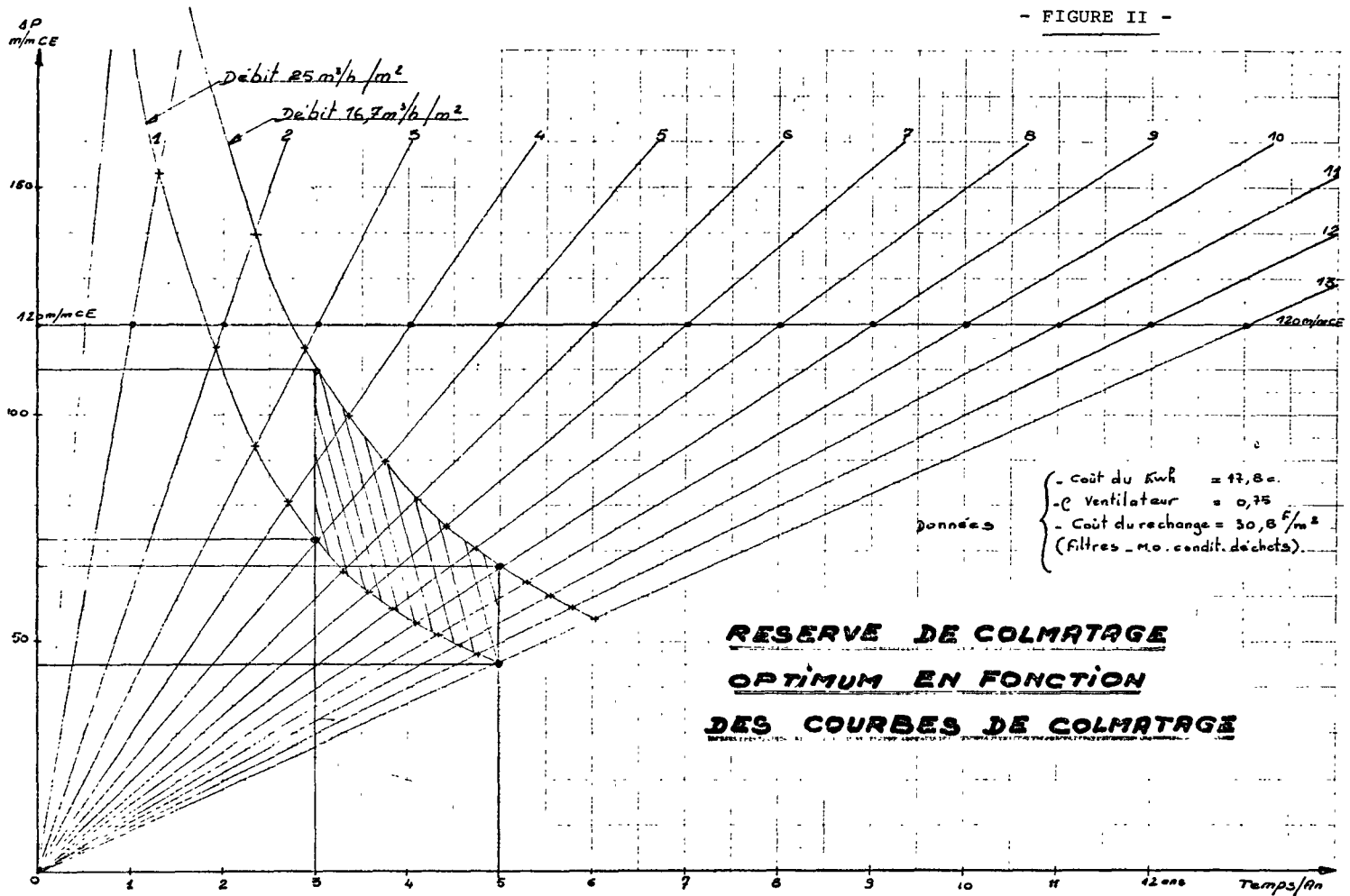


$$y = P_r f + \frac{F}{t} \quad \text{ou} \quad y = P_r f + \frac{FK}{P_r}$$

y est minimum pour

$$P_r = \left( \frac{FK}{f} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- FIGURE II -



**RESERVE DE COLMATAGE  
OPTIMUM EN FONCTION  
DES COURBES DE COLMATAGE**

## NEUARTIGE FILTER ZUM ABSCHIEDEN VON AEROSOLEN AUS DEM ABGAS VON WIEDERAUFBEREITUNGSANLAGEN

H. J. Strauss und K. Winter  
Ceagfilter und Entstaubungstechnik  
Dortmund - B. R. DEUTSCHLAND

**KURZFASSUNG.** Neben der notwendigen Forderung nach höchsten Abscheidegraden, die beispielsweise nach EUROVENT 4/4 "Flammenspektrometrische Bestimmung des Durchlassgrades von Schwebstoff-Luftfiltern mit einem Natriumchlorid-Aerosol" (eine Prüfung, die auf BS 3928 "Sodium Flame Test" zurückgeht) gemessen  $> 99,999\%$  sein müssen, müssen die in Wiederaufbereitungsanlagen eingesetzten Schwebstoff-Luftfilter auch andere Voraussetzungen erfüllen. Sie müssen eine hohe chemische Resistenz gegenüber Salpetersäure und den beim Lösen entstehenden Stickoxiden haben, sie müssen, auch feucht, eine hohe Festigkeit gegenüber Druck und Druckstößen und -damit verbunden- auch hinreichend hohe Staubspeicherfähigkeiten aufweisen. Sie sollen möglichst in jeder gewünschten Konfiguration herstellbar sein und müssen zur Endlagerung verdichtbar sein. Herkömmliche aus Glasfaserpapier gefaltete Filter erfüllen nicht alle diese Forderungen.

Eine neue Entwicklung, die auf der Verwendung von aus Glasfasern geformten Hülssen beruht, umgeht die Nachteile herkömmlicher Filter. Die Auswahl der verwendeten Materialien sichert die chemische Beständigkeit, die hohe Eigenstabilität gewährleistet ein hinreichend gutes Druckverhalten und schliesslich lassen sich derartige Filtereinheiten in nahezu allen Konfigurationen herstellen.

**SUMMARY.** NEW TYPES OF FILTER FOR AEROSOL REMOVAL FROM REPROCESSING PLANT OFF-GASES. In addition to the basic requirement of the highest possible efficiency, which according to EUROVENT 4/4 "Determination by flame spectrometry of the degree of penetration of aerosol filters by a sodium chloride aerosol" (a test based on BS 3928 "Sodium Flame Test") should be greater than  $99,999\%$ , aerosol filters used in reprocessing plants should also satisfy other requirements. They should have high chemical resistance to nitric acid and to the nitric oxides which form in dissolvers; even when wet they should be highly resistant to pressure (including shock waves) and, in addition, have adequate dust storage capacity. They should be manufactured in all required configurations and it should be possible to compress them for final storage. Conventional folded filters of glass fibre paper do not meet all these requirements.

A recent innovation based on the use of moulded glass fibre casings has made it possible to avoid the drawbacks of conventional filters. The materials used provide chemical resistance, while their inherent stability ensures that the filters react satisfactorily to pressure. Finally, filters of this kind may be manufactured in virtually all configurations.

**RESUME.** NOUVEAUX FILTRES POUR L'ELIMINATION DES AEROSOLS DES EFFLUENTS GAZEUX REJETES PAR LES USINES DE RETRAITEMENT. Outre la nécessité d'avoir des rendements très élevés - ceux-ci, mesurés par exemple par la "méthode d'essai des filtres à l'aérosol de chlorure de sodium par spectrométrie des flammes" d'EUROVENT 4/4 (contrôle basé sur la norme britannique BS 3928 "Sodium Flame Test", doivent être supérieurs à  $99,999\%$  - les filtres à air pour aérosols utilisés dans les usines de retraitement doivent encore satisfaire à d'autres conditions. Il faut qu'ils possèdent une grande résistance chimique à l'acide nitrique et aux oxydes d'azote qui se forment lors de la dissolution et qu'ils présentent, même à l'état humide, une résistance élevée à la pres-

sion et aux coups de bélier et - en plus - de suffisamment hautes capacités de rétention des poussières. Ils doivent si possible pouvoir prendre toutes les configurations souhaitées et être comprimables pour le stockage final. Les filtres plissés classiques en fibres de verre ne satisfont pas à toutes ces exigences.

Le recours, depuis peu, à des cadres en fibres de verre moulés permet d'éviter les inconvénients des filtres classiques. Le choix des matériaux utilisés garantit l'inaltérabilité chimique; la stabilité propre élevée assure une tenue à la pression satisfaisante et, enfin, de telles unités de filtrage peuvent être pratiquement fabriquées dans toutes les configurations.



Aerosole lassen sich nach dem heutigen Stand der Technik hochgradig und zuverlässig nur mit Faserfiltern trennen, wobei die luftgetragenen Kolloidteilchen durch die bekannten Mechanismen an den Fasern abgeschieden werden. Dabei hat sich weitgehend die Filterzelle (Bild 1) mit eingefaltetem papierähnlichem Glasfaservlies durchgesetzt. Das filternde Material wird nach der bei der Papierherstellung üblichen

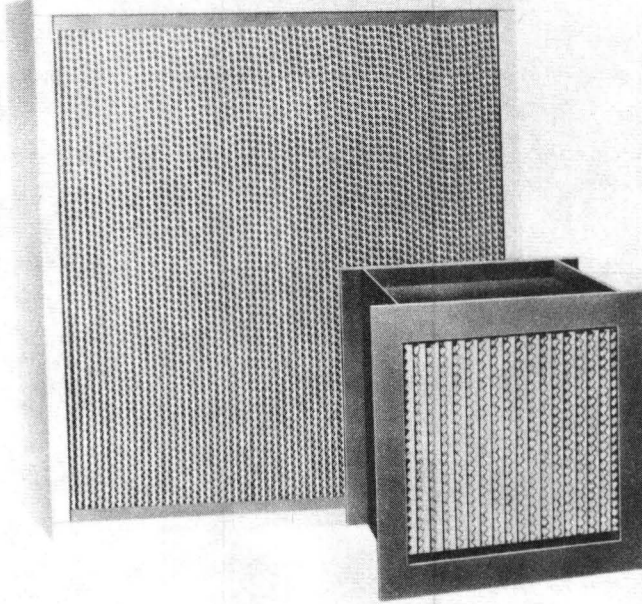
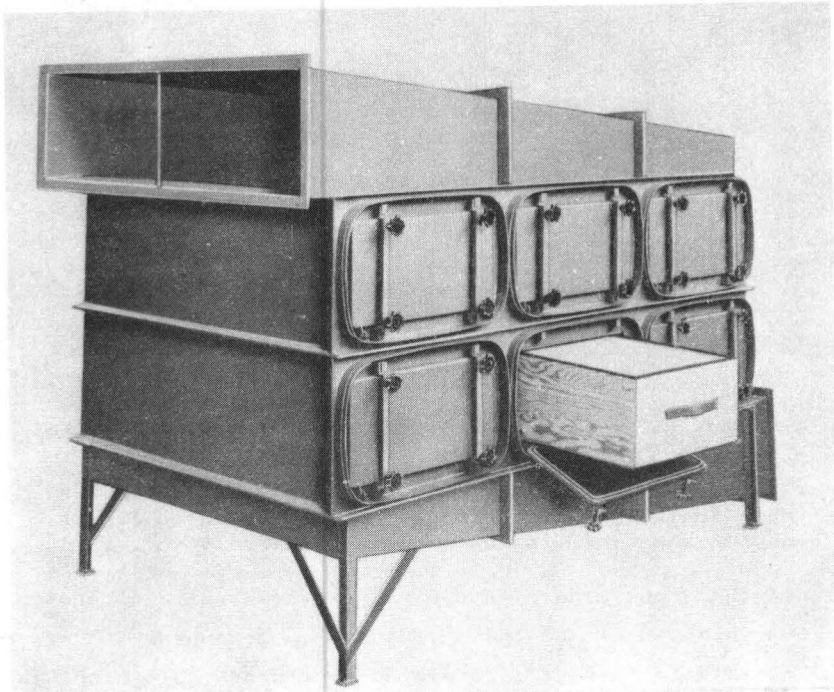


Bild 1: Filterzellen zur Abscheidung von Kolloidteilchen, bestehend aus gefaltetem Glasfasermedium mit eingelegten Separatoren im Holzrahmen (hinten) und im Stahlrahmen (vorn).

Verfahrenstechnik aus einer Faserpulpe gewonnen, auf Siebbändern entwässert und in Kalandern geglättet. Dieses so gewonnene filternde Material übertrifft im Regelfall die Anforderungen, die nach DIN 24 184 an Schwebstofffilter Güteklasse S zu stellen sind. Allerdings wird dabei vorausgesetzt, daß der notwendige Anteil feinsten Fasern in der Pulpe vorhanden gewesen ist. **Physikalisch gesehen hat das Faservlies ein relatives Porenvolumen von 92 % bis 94 % und sein Strömungswiderstand liegt so, daß eine Anströmgeschwindigkeit von  $0.025 \text{ ms}^{-1}$  eine Druckdifferenz von um 200 Pa zur Folge hat. Im Regelfall liegt die Staubspeicherfähigkeit (Erfahrungswerte aus Anlagen, die atmosphärische Verunreinigungen abscheiden) um  $100/\text{m}^2$ .**

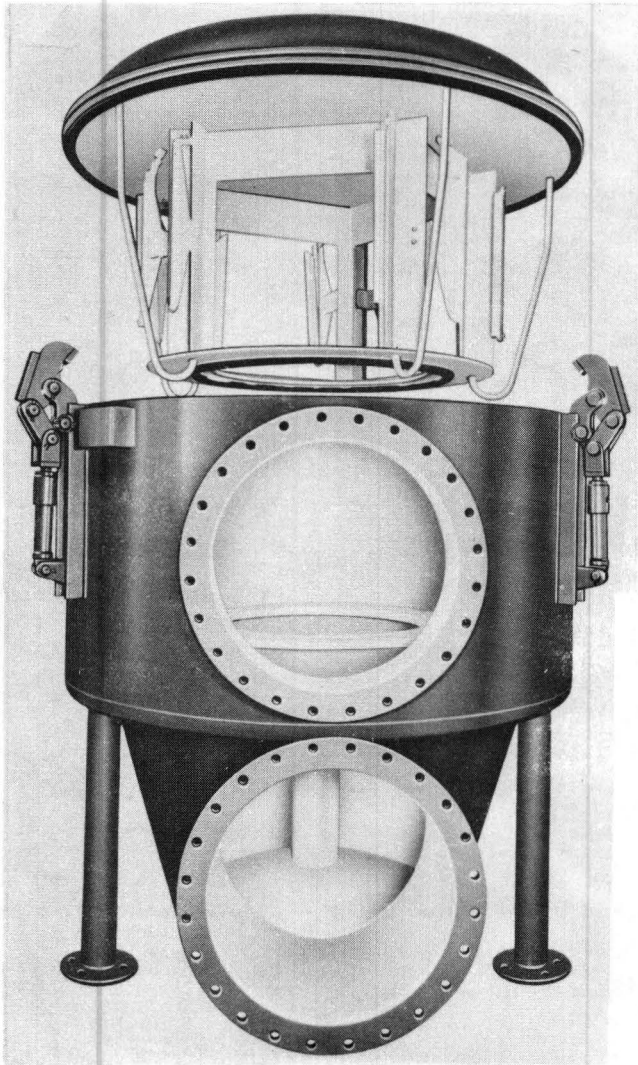
Bei einem unter derartigen Bedingungen eingesetzten Filter sind Standzeiten um 10 000 Stunden erreichbar. Die Abscheidung selbst erfolgt dabei praktisch vollständig auf der Anströmseite [1]. Deshalb können bei den besonderen Verhältnissen im Abgas bzw. in der Abluft von Wiederaufbereitungsanlagen oder aus natriumgekühlten Brütern (Konzentration und Eigenschaften des Aerosols) zu Standzeiten führen, die 100 Stunden kaum überschreiten dürften.

Die Filterelemente mit dem eingefalteten filternden Material - dabei ist es gleichgültig, ob zum Auseinanderhalten der Falten Separatoren benutzt oder ob separatorlose Elemente Verwendung finden - werden in einem Filtergehäuse eingebaut, das bei nicht zu hoher Aktivität der abzuscheidenden Stoffe als Kanalfilter gestaltet sein kann (Bild 2).



**Bild 2:** 2-stufiges Kanalfilter mit Lufteintritt (oben) und Luftaustritt (unten); in die jeweils paarigen Gehäuse für die abzuscheidenden Filterelemente lassen sich Vorfilter (oben und Hochleistungs-Schwebstoff-Luftfilter - Filter der Güteklasse S nach DIN 24 184 - einschieben

Sind höhere oder gar hohe Aktivitäten zu erwarten, werden dagegen Kesselfilter bevorzugt (Bild 3). Die chemischen Bedingungen der



**Bild 3a:** Kesselluftfilter zur Aufnahme höherer Aktivitäten. Der mit Kran heraushebbare Einsatz ist zur Aufnahme rechteckiger Hochleistungsschwebstoff-Luftfilterelemente bestimmt.

Wiederaufbereitungsanlage verlangen, daß nahezu alle Filter aus korrosionsbeständigem, im Regelfall hochlegiertem Stahl, ausgeführt werden. Dies ist insbesondere dort notwendig, wo - wie hinter dem Dissolver - Kondensat durch Taupunktunterschreitung anfallen kann. Dieses Kondensat ist stark sauer, wobei die Salpetersäure die wesentliche Ursache für den zu erwartenden Korrosionsangriff darstellt.

Schließlich müssen die Filter nach deren Auswechseln zur Endlagerung vorbereitet werden. Da hier das Volumen wesentlich ist, wurden Versuche unternommen, das Faltenpack aus dem starren Rahmen zu lösen und zu komprimieren oder die Filterelemente in ihrer Geometrie so

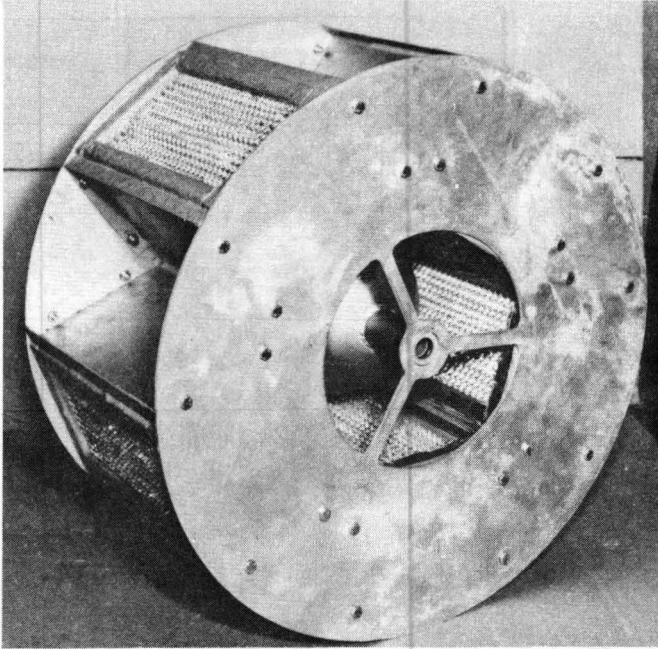


Bild 3b: Sterneinsatz für Kesselfilter mit fest eingesetzten Hochleistungs-Schwebstoff-Luftfilterelementen.

auszuführen, daß sie direkt in ein Norm-Wastefaß passen und so zur Endlagerung überstellt werden können (Bild 3b). Hierbei stört besonders die durch das gefaltete filternde Material an sich nahegelegte Rechteckform der Filterelemente.

Diese Übersicht über den Stand der Technik zeigt, daß die Schwierigkeiten des bisherigen Lösungsweges eine Neuentwicklung nahelegten, wobei ein Filtersystem zu entwickeln war, das

- hohe Abscheidegrade mit Sicherheit erreichen läßt,
- große Staubspeicherfähigkeiten auch bei Taupunktunterschreitungen aufweist,
- eine einfache Gestaltung und damit ein Anpassen an die gewünschte Geometrie zuläßt und
- eine gute Verdichtbarkeit für Endlagerung besitzt.

Da sich nach kurzer Überlegung zeigte, daß das bekannte papierähnliche Glasfaservlies keine Lösung dieser Entwicklungsaufgabe erwarten läßt, wurde auf die Pulpe zurückgegriffen und zusammen mit einem Papierhersteller eine dünne, leicht konische Filterhülse entwickelt (Bild 4). Aus diesen Filterhülsen kann nun ein Filterelement beliebiger Form hergestellt werden (Bild 5).

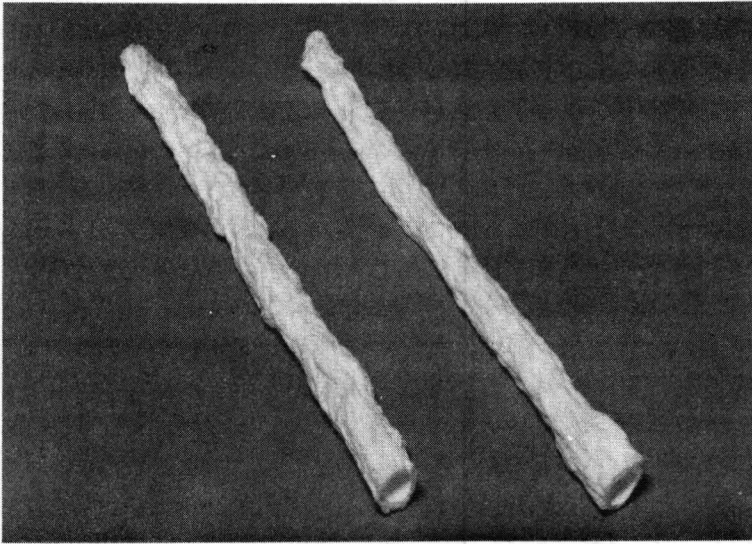
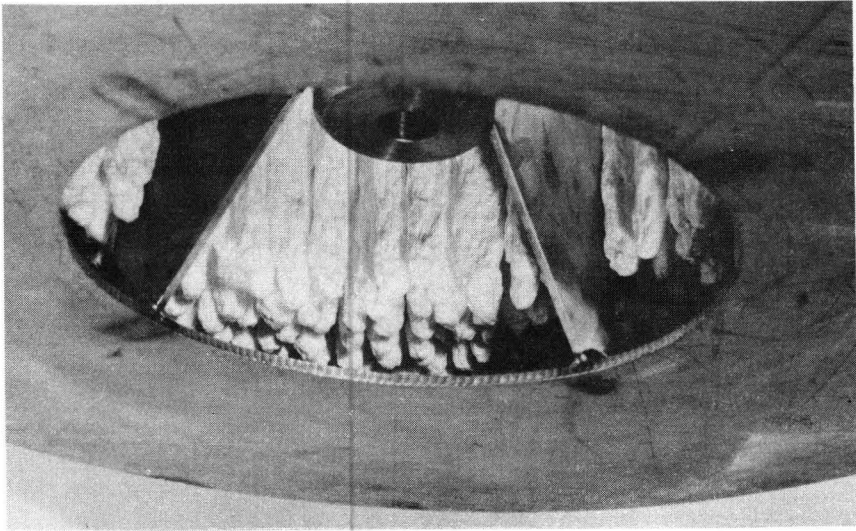
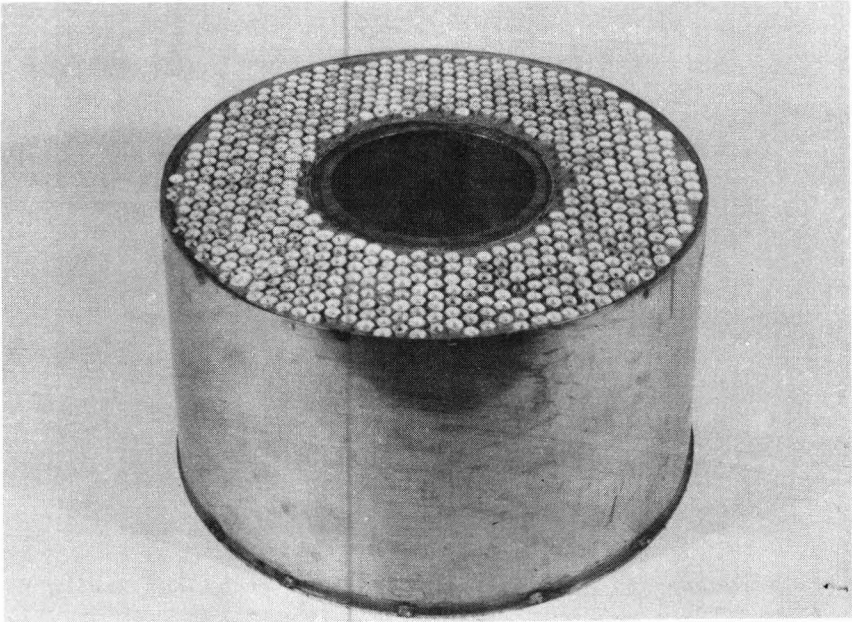


Bild 4: Filterhülsen aus mikrofeiner Glasfaser in leicht konischer Form

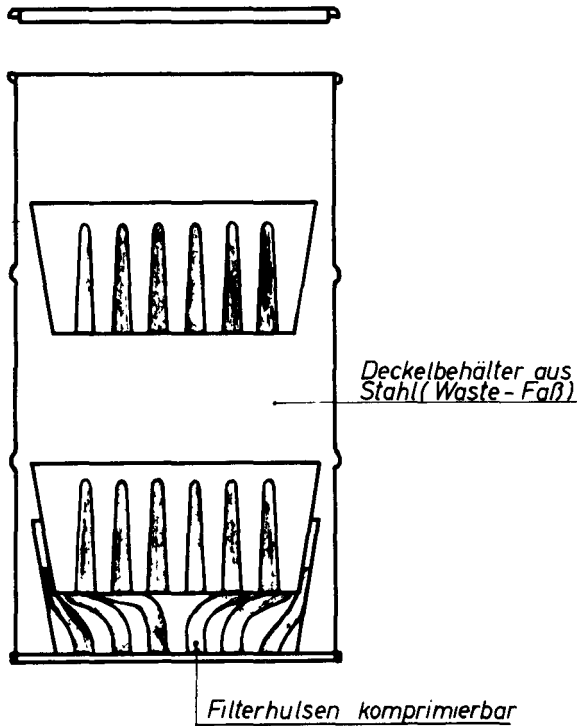
Das filternde Material ist dabei aus dem gleichen Fasergemisch mit einem hohen Anteil feinsten Fasern aus Borosilikatglas hergestellt, wie es auch zur Herstellung der papierartigen Vliese benutzt wird. Durch das Fehlen der Nachverdichtung liegt das Porenvolumen bei 98 %. Damit ist einmal eine niedrige Anfangsdruckdifferenz verbunden und zum anderen aber auch eine gegenüber dem verdichteten Papier vergrößerte Staubspeicherfähigkeit. Die mechanische Stabilität der Filterhülsen ist sehr gut. Das Fehlen von mechanisch beanspruchten Partien - beim Faltenpack die Faltkanten, besonders wenn Separatoren eingelegt sind - vergrößert die Sicherheit der Abscheidung einfach durch den Wegfall der an den Faltkanten möglichen Risse - und damit Leckbildung. In gleicher Richtung wirkt auch das Verlegen der Klebedichtung in eine Ebene: es bringt gegenüber der Verklebung des Filterpacks an allen vier das Filterelement begrenzenden Seiten eine erhebliche Vereinfachung des Überwachens der Leckfreiheit eines Filterelements. Die Hülsenform gestattet weiter, die Form der Grundplatte frei zu wählen. Damit können eckige, runde, elliptische oder beliebig anders geformte Filterelemente, wie sie gerade erforderlich sind, hergestellt werden. Das Filterelement könnte auf eine Seitenwand ganz verzichten. Wird jedoch, etwa aus Gründen eines mechanischen Schutzes, eine Seitenwand gewünscht, kann diese Seitenwand als Kegelstumpf (Bild 6) ausgebildet werden. Der Vorteil dieser Maßnahme liegt auf der Hand: Werden die Filterelemente gestapelt, greifen diese Seiten-



**Bild 5:** Kesselfiltereinsatz mit Filterhülsen; oben: Blick auf die Luftfilteraustrittsseite; unten: Lufteintrittsseite

wände ineinander und jedes Filterelement bildet beim Zusammenpressen den Stempel für das darunter befindliche (Bild 6). Mit dieser Möglichkeit des Einengens wird auch eine gute Lagermöglichkeit, z.B. in einem Wastefaß, erreicht.

Die Verwendung des unverdichteten Faservlieses hat noch einen weiteren



**Bild 6:** Hülsenfilterelemente mit kegel- (oder auch pyramiden-) stumpfförmigen Rahmen lassen sich raumsparend stapeln, da beim Ineinandersetzen die Filterhülsen zusammengedrückt werden.

erheblichen Vorteil bei der Reinigung von Abgas oder Abluft, wenn die Gefahr einer Taupunktunterschreitung vorhanden ist. Wird der Taupunkt unterschritten, wird - im Gegensatz zum verdichteten Material - die kondensierte Flüssigkeit kapillar kaum gespeichert, sie läuft vielmehr zusammen und kann abfließen. Der vom verdichteten Material her bekannte steile Anstieg der Druckdifferenz als Folge der Kondensation, der bis an (oder sogar auch über) die Grenzen der mechanischen Stabilität des nassen filternden Materials gehen kann, bleibt in vertretbaren Grenzen. Der folgende Vergleich zeigt die Eigenschaften des Filterelements auf den Basen Faltenpack und Filterhülse: Dabei fällt auf, daß der Volumenstrom bei ordnungsgemäßer Abscheidung und gleicher Anströmfläche um 50 % gesteigert werden kann. Trotzdem bleibt die Anfangsdruckdifferenz etwa bei 35 % des Anfangswertes des Faltenpackfilters. Das Porenvolumen steigt etwa um den Faktor 5.

	<u>Faltenpack</u>	<u>Filterhülse</u>
Abmessung	610 mm x 610 mm	610 mm x 610 mm
Gesamtfilterfläche	22 m <sup>2</sup>	35 m <sup>2</sup>
Porenvolumen (etwa)	16 l	80 - 100 l
Volumenstrom (Nennwert)	1 900 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>	3 000 m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Anfangsdruckdifferenz (bei Nennvolumenstrom)	240 Pa	80 Pa
Abscheidevermögen	"S" nach DIN 24 184	mindestens "S" nach DIN 24 184
zulässige Enddruck- differenz	1 500 Pa	5 000 Pa

Zur Aufnahme dieser Filterhülsen-Filterelemente können bei Bedarf (z.B. wenn hohe Aktivitäten zu erwarten sind) Kesselfilter eingesetzt werden. Der von Zeit zu Zeit notwendige Filterwechsel kann vollautomatisch erfolgen. Fernbedienungen sind möglich. Das Überführen des verbrauchten Filterelements in das WasteFaß ist problemlos. Aber auch ohne erschwerende Nebenbedingungen läßt sich das neue Filterelement einsetzen. Alte oder neue Kanalluftfiltergehäuse nehmen das in den bisherigen Standardabmessungen hergestellte Filterelement ebenso auf wie die bisherigen Filterelemente mit dem Faltenpack.

Schrifttum:

- [1] Hasenclever, D.: Neue theoretische und experimentelle Untersuchungen an Filtermaterialien zur Abscheidung von Schwebstoffen. STAUB-Reinhaltung der Luft 26 (1966) S. 288 - 298



BERICHT EINES GROSSVERBRAUCHERS VON SCHWEBSTOFFFILTERN  
KLASSE S

J. Stratmann

Kernforschungsanlage Jülich  
Jülich - B.R. DEUTSCHLAND

KURZFASSUNG. Der Vortrag befasst sich in der Hauptsache mit den Mängeln der Schwebstofffilter Klasse S. Dabei wird der gesamte Filteraufbau bezüglich Papier, Abstandhalter Dichtungen, Griffe und Rahmen im einzelnen durchgegangen.

Des weiteren wird über Tests an verschiedenen Filterarten berichtet und versucht, die dabei aufgetretenen unterschiedlichen Ergebnisse zu erklären. Ebenso wird über Filtergehäuse sowie über die Erfahrungen beim Aus- und Einbau der Filter Klasse S in der Kernforschungsanlage Jülich berichtet. Unter dem Blickwinkel des Verbrauchers wird untersucht, ob und ggf. welche Prüfungen bei den Filtern Klasse S für den Verbraucher notwendig bzw. erforderlich sind, und dies wieder in bezug auf die verschiedensten Filterarten.

SUMMARY. EXPERIENCE OF LARGE SCALE UTILISATION OF "CLASS S" AEROSOL FILTERS. The paper is mainly concerned with the defects of "class S" particulate filters. All filter components (paper, spacers, gaskets, handles and frames) are dealt with individually.

The results of tests carried out on various types of filter are also reported and an explanation of the variations in these results attempted. Experience gained with filter housings at the Jülich nuclear research Establishment and the mounting and removal of 'class S' filters will be considered.

Whether, from the users' point of view, tests by the users on "class S" filters are necessary will be discussed, and if so, which tests; a wide range of different filters will be considered.

RESUME. EXPERIENCE D'UN GROS UTILISATEUR DE FILTRES D'AEROSOLS DE LA CLASSE S. L'exposé porte essentiellement sur les défauts des filtres d'aérosols de la classe S. Il traite en détail de l'ensemble des éléments du filtre, et notamment du papier, des plaques d'écartement, des joints, des poignées et du cadre.

L'exposé présente les essais personnellement entrepris sur la base d'essais sur divers types de filtres et fournit une interprétation des résultats obtenus.

Il est fait état de l'expérience acquise au Centre de recherche nucléaire de Jülich avec les cadres de filtres ainsi que lors des essais réalisés au montage et au démontage des filtres de classe S.

On a recherché, du point de vue de l'utilisation, s'il était nécessaire, voire indispensable, de soumettre les filtres de la classe S à des essais, le cas échéant, d'en préciser le type et ce, là encore, pour les divers types de filtres.

## E i n f ü h r u n g

Ich berichte in der Hauptsache über Mängel an Schwebstofffiltern, Klasse S, Größe 610 x 610 x 292 mm. Dabei werde ich berichten über

1. Rahmen
2. Filterpapier
3. einem Test
4. Abstandshalter
5. Dichtung
6. Griffe
7. Filtergehäuse
8. Prüfung von Filtern
9. allgemeine Feststellungen

In der Kernforschungsanlage Jülich sind z.Zt. ca. 950 Schwebstofffilter Klasse S in 10 verschiedenen Abmessungen bzw. Größen installiert. Sie dienen nur zur Filterung der Abluft aus Räumen in denen mit radioaktiven Substanzen gearbeitet wird (Kontrollbereich). Alle Anlagen werden im Unterdruckbereich im 24 h Betrieb betrieben.

Zum allgemeinen Filteraufbau ist zu sagen, daß wir großen Wert auf möglichst vollkommene Veraschbarkeit legen, um das Volumen an radioaktivem Abfall möglichst zu reduzieren. Dabei ist u.a. wichtig, daß keinerlei Metallteile zur Abstützung oder als Verstärkungen vorhanden sind.

Die Rahmen der Filter sind überwiegend aus Preßspanholz oder Sperrholz gefertigt. Preßspanholz ist u.E. nach ausreichend. Man sollte aber unbedingt darauf achten, daß die Verbindungsstellen der einzelnen Teile vor dem Zusammennageln gut mit Leim eingestrichen werden, um Undichtigkeiten an den Stößen zu vermeiden. Dies ist nicht immer der Fall.

#### Filterpapier

Beim Filterpapier gibt es die verschiedensten Sorten und Arten. Der Verbraucher kann aber nicht feststellen, welches Papier in den Filtern verarbeitet ist. Man ist hier ganz auf die Angaben des Herstellers angewiesen. Dabei haben wir die schlechte Erfahrung gemacht, daß man uns Filter mit 95 % Abscheidegrad als Filter der Klasse S lieferte. Hier sollte man einen Weg suchen, der das Verwechseln unmöglich macht, z.B. durch farbiges Filterpapier.

Weiter stellten wir bei Versuchen fest, daß die einzelnen Hosch-Filter der verschiedensten Firmen sehr unterschiedlich im Verhalten gegenüber Feuchtigkeit sind. Bei einem Naßtest mit Filtern der Klasse S von neun verschiedenen Firmen, haben wir ganz erstaunliche Vergleichsergebnisse erhalten. Im Ansaugkanal einer Testanlage (Bild 1) wurde Wasser mittels Medikamentzerstäuber vernebelt und die stark wasserhaltige Luft über das Filter geleitet. Temperatur, Luftmenge und

und Wassermenge waren bei allen Versuchen gleich. Wir haben versucht, die Filter bis zu einem Widerstand von 1200 Pa mit Feuchtigkeit zu sättigen und danach die Anlage ohne Zugabe von Feuchtigkeit so lange betrieben, bis der Widerstand wieder unter 300 Pa abgesunken war. Das Ergebnis (Bild 2) ist auf dieser Graphik veranschaulicht. Auffallend ist die Aufteilung der Filter in drei Gruppen. Einmal die Filter mit kurzer Standzeit, bis ca. 12 h, dann die Filter bis ca. 38 h Standzeit und die Filter, die so gut wie keinen Widerstandsanstieg zu verzeichnen haben. Obwohl dies ein Extremtest war, sind wir der Meinung, daß man diese Werte auch auf den Widerstandsanstieg und damit die Standzeit der Filter anwenden kann, wenn Luft mit hoher Feuchtigkeit oder Nebel vorhanden sind. Man kann sagen, daß es ein Großteil von Filtern der Klasse S gibt, die bei hoher Luftfeuchtigkeit oder Nebel schnell ihren max. Endwiderstand erreichen und dann ausgewechselt werden müssen, da die erforderlichen Luftmengen nicht mehr erreicht werden. Dieser Vorgang wird sich bestimmt noch beschleunigen, wenn die Filter schon mit einer gewissen Staubmenge belastet sind. Die Filter der Gruppe 1 sind unserer Meinung nach für die Abluft in Laboratorien und Digestoren, aus denen über längere Zeit starke Verdampfungen abgesaugt werden, weniger geeignet.

Beim Filter Nr. 2 hatte sich nach 23 h die Vergußmasse (Bild 3), mit der das Filterpapier am Holz verbunden ist, gelöst. Es muß sich hier um eine wasserlösliche Vergußmasse gehandelt haben.

Ein weiteres Filter, u.z. die Nr. 13, zeigte erst nach dem Test (Bild 4), etwa 48 h später, ein Lösen der Vergußmasse vom Holz.

Im allgemeinen kann man sagen, daß die meisten Filter doch empfindlich gegen Feuchtigkeit sind, obwohl in den Prospekten "100 % Feuchtigkeitsbeständig" angegeben wird.

## Abstandshalter

Auch mit Abstandshaltern haben wir die unterschiedlichsten Erfahrungen gemacht. Bei Abluft aus Laboratorien haben sich Abstandshalter aus Alu nicht bewährt (Bild 5), da diese nach wenigen Monaten durch Korrosion zerstört werden. Ferner wurde festgestellt, daß sie bei unachtsamer Behandlung der Filter (Bild 6) leicht verbogen werden und dadurch an der Biegestelle scharfe Kanten entstehen, die das Filterpapier beschädigen können.

Dagegen werden mit Papp- und Kunststoff-Abstandshalter verhältnismäßig gute Erfahrungen gemacht. In Fällen hoher Feuchtigkeit sind dabei Kunststoff-Abstandshalter vorzuziehen, weil bei längerer Beaufschlagung mit hoher Feuchtigkeit (Bild 7) die Pappe sich streckt. Allerdings liegt die Temperaturbeständigkeit bei Kunststoff-Abstandshalter etwas niedriger. Wenn man aber berücksichtigt, daß die Feuerschutzklappen in den Abluftanlagen bei 70° C auslösen, kann die Temperaturbeständigkeit vernachlässigt werden. Ein Nachteil ist allerdings die Entstehung giftiger Gase bei der Veraschung der Kunststoff-Abstandshalter. Die neuerdings auf dem Markt gebrachten Hosch-Filter Klasse S mit Faden-Abstandshalterung stellen in bezug auf die Abstandshalter eine fast ideale Lösung dar. Leider hat aber auch dieses Verfahren seine Nachteile.

Wir haben uns die Mühe gemacht und mehrere Filter bei verschiedenen Druckdifferenzen auseinandergeschnitten und aufgefaltet. Dabei haben wir die erstaunliche Feststellung gemacht, daß diese Filter nicht 100 %ig ausgenutzt werden.

Die folgenden Bilder zeigen Ihnen eindeutig, daß bei diesen Filtern nur 70 % - 80 % der Filterfläche beaufschlag werden. Die ersten Bilder (Bild 8 - 10) zeigen Ihnen Filter bei einem Widerstand von 500 Pa, des weiteren Filter (Bild 11 -13) bei einem Widerstand von 800 Pa und Filter (Bild 14 - 16) bei einem Widerstand von 1000 Pa.

Ob nach dieser Erkenntnis noch die Aussage aufrechterhalten werden kann, daß durch die großen Oberflächen der Fadenpaks eine enorm längere Standzeit gegenüber den Filterpaks mit gefalteten Abstandshaltern vorhanden ist, ist zumindest in Frage gestellt.

#### Dichtung

Bei den Dichtungen haben wir die Erfahrung gemacht, daß ummantelte endlose Moosgummidichtungen die beste Gewähr für den Dichtsitz geben. Allerdings bereitet es den Herstellern scheinbar Schwierigkeiten, diese Dichtungen so mit dem Rahmen zu verbinden, daß nicht schon bei der Handhabung ein Ablösen erfolgt. Man bedenke, daß oft nur 1 mm und weniger Spiel zwischen entspanntem Filter und Aufnahmegehäuse besteht.

#### Griffe

Alle Filter sollten - je nach Größe mit 1 bzw. 2 versenk-  
baren Koffergriffen versehen sein (Bild 17), damit eine vernünftige Handhabung gewährleistet wird. Viele Hersteller liefern ihre Filter heute noch ohne jeglichen Handgriff. Die Griffe müssen aber so angebracht sein, daß sie nicht bei starker Belastung abreißen.

#### Filtergehäuse bzw. Filteraufnahmekästen

Die Ausführungen der Filteraufnahmekästen sind sehr unterschiedlich. Ich bin der Meinung, man sollte statt der zahlreichen kleinen Filterabmessungen, mindestens Gehäuse mit den Maßen 610 x 610 x 292 mm einbauen. Desgleichen sollte man von den Vorfiltergehäusen für Filtergrößen 610 x 610 x 46 mm<sup>mm</sup> abgehen, da es nicht sinnvoll ist, vor einem Schwebstofffilter Größe 610 x 610 x 292 mm mit einer effektiven Filterfläche von ca. 22 m<sup>2</sup>, ein Vorfilter mit einer effektiven Filterfläche von ca. 0,36 m<sup>2</sup> einzubauen.

Wenn man nicht ganz auf das Vorfilter verzichten will, das ist letztlich eine Frage der Zuluftfilterung bzw. der im Labor erzeugten Staubmenge, sollte die Größe dem Hoschfilter angepaßt sein.

Wichtigster Punkt bei den Aufnahmekästen ist die Anpreßvorrichtung und die Dichtfläche. Am besten haben sich Anpreßmechanismen bewährt, die über eine Feder spannen. Dabei sollten alle innenliegenden Teile aus nichtrostendem Stahl gefertigt sein. Die Betätigung der Anpreßvorrichtung muß außerhalb des Abschlußdeckels liegen und nicht, wie oft beobachtet, innerhalb des Schutzsackes. Für die Aufnahme der Schutzsäcke muß der Aufnahmekasten mit einer Vorrichtung ausgerüstet sein, die das Wechseln nach der Doppelsackwechseltechnik ohne Schwierigkeiten gewährleistet. Die Nuten müssen so ausgebildet sein, daß ein unvorhergesehenes Abreißen des Schutzsackes nicht geschehen kann. Der abschließende Deckel muß außerhalb der Schutzsäcke liegen und muß dicht gegen das Gehäuse abschließen.

#### Prüfung der Filter

Über die Prüfung von Filtern könnte man einen tagesfüllenden Vortrag halten. Ich will mich nur auf unsere Erfahrungen beschränken. Wir prüfen die Filter nach Lieferung mit einem Ölfadentest, um Reklamationen sofort nachgehen zu können. Dabei haben wir die Erfahrung gemacht, daß der Ölfadentest ausreicht, wenn das Öl ausreichend fein zerstäubt wird und die Filter den DIN-Normen entsprechen. Unsere Prüfanlage (Bild 18) ist mit 4 Medikamentenzerstäubern ausgerüstet, bei denen Korngrößen von unter  $0,3 \mu\text{m}$  bis  $6 \mu\text{m}$  erzeugt werden, mit einem Maximum bei  $2,8 \mu\text{m}$  (Bild 19). Die Filter werden beim Test mit  $12 \text{ m}^3$  Luft/h und  $0,0229 \text{ L}$  Öl/h ohne Nachwirkungen beaufschlagt.

Von Vor-Ort-Prüfungen haben wir bisher abgesehen, denn wenn die Filteranpreßfläche im Filtergehäuse und die Filterdichtung in einem einwandfreien sauberen Zustand sind, das Filter ölfadengetestet ist und vorsichtig eingebaut wird, kann nach menschlichem Ermessen an diesen Stellen keine Undichtigkeit auftreten.

Wir haben in mehreren Versuchen mit blinden Filtern, nach Abdrücken der Gehäuse nie Undichtigkeiten an den Dichtungen feststellen können.

Die einzige Unsicherheit besteht m.E. darin, daß Undichtigkeiten am Filterrahmen vorhanden sind, die sich mit den bisherigen Methoden sehr schlecht nachweisen lassen. Undichtigkeiten am Filterrahmen ließen sich im eingebauten Zustand leicht nachweisen, indem man das Filtergehäuse mit dem Kanalsystem dicht verbindet. Durch den im Kanal und Filter herrschenden Unterdruck müßten Rahmen und Gehäusebeschädigungen über einen einfachen Strömungsanzeiger nachgewiesen werden können.

#### Allgemeines

Generell wird von den Filterherstellern zu wenig auf dem Gebiet des Berührungsschutzes getan. Vor allem bei den in der letzten Zeit produzierten Filtern mit Faden-Abstandshaltern und geringen Spaltbreiten. Diese Filter sind besonders empfindlich gegen Berührung und es kommt leicht zu Ausfällen beim Wechseln der Filter. Bei uns werden die Filter zu 98 % mit der Doppelsackwechseltechnik, unter Benutzung von Vollschrutzkleidung mit Schutzmasken, gewechselt und das oft in sehr beengten Raumverhältnissen. Daher ist es sehr schwer Filter zu wechseln, ohne daß die Filterflächen berührt werden.

Die gleichen Schwierigkeiten und dabei verhältnismäßig hohe Ausfallraten durch Beschädigungen beim Einbau bestehen beim



Filterwechsel in abgeschlossenen Boxen, mit Manipulatoren, wenn das Filter durch enge Versuchsaufbauten bewegt werden muß.

Allgemein wäre mit einem gewissen Berührungsschutz Abhilfe zu schaffen. In einigen Fällen (Bild 20) haben wir selbst Schutzabdeckungen in Form von Stahlgewebe nachträglich auf die Filter gebracht und danach keine Ausfälle mehr gehabt.

Unvorteilhaft ist es für den Verbraucher, daß er zum Beispiel bei Schwebstofffiltern Größe 610 x 610 x 292 bei verschiedenen Fabrikaten unterschiedliche Luftdurchsätze vorfindet. Es gibt eine Gruppe Filter mit Nennluftmenge von 1600 m<sup>3</sup>/h, 1650 m<sup>3</sup>/h und 1700 m<sup>3</sup>/h oder auch eine Gruppe mit 1850 m<sup>3</sup>/h, 1870 m<sup>3</sup>/h und 1900 m<sup>3</sup>/h.

Wir meinen, hier sollten sich die Hersteller auf eine Norm einigen, z.B. 1600 m<sup>3</sup>/h und 1900 m<sup>3</sup>/h.

Diese geringen Unterschiede in der Sollluftmenge tragen nur zur Verunsicherung der Verbraucher bei.

In der letzten Zeit werden von verschiedenen Herstellern Filter Klasse S Größe 610 x 610 x 292 mm für eine Sollluftmenge von 3000 m<sup>3</sup>/h hergestellt. Ich stehe diesen Filtern sehr skeptisch gegenüber, weil sie nicht mängelfrei sind. Ein großer Nachteil ist bei einigen Filtern auf jeden Fall die geringe freie Eintrittsfläche. Bei den gezeigten Filtern haben wir eine freie Eintrittsfläche von 0,1 m<sup>2</sup>, das ergibt bei einer Luftmenge von 3000 m<sup>3</sup>/h eine Strömungsgeschwindigkeit am Filtereintritt von ca. 8,33 m/s.

Ob bei dieser Geschwindigkeit noch nach den einschlägigen Erkenntnissen der Filtertechnik die Aerosole von 0,3 µm und kleiner abgeschieden werden, ist sehr fraglich. Ich möchte dies nur einmal in den Raum stellen und nicht näher darauf eingehen.

Bei den verschiedensten Versuchen mit den 3000 er habe ich weiter festgestellt, daß diese Filter schon bei einer Belastung mit 500 Pa, bei Nennluftmenge, instabil werden (Bild 21). Die einzelnen Filterelemente im Filterpak beulen sich stark aus und knicken (Bild 22), so daß sie auf der Reinluftseite, bis zur Mitte etwa, gegeneinanderstoßen. D.h., daß nur noch etwa 80% der effektiven Filterfläche zur Verfügung stehen.

Weiterhin zeigte sich, daß einige dieser Filter den angegebenen Belastungen nicht standhalten. Bei dem vorhin erwähnten Naßtest brach ein Filter Nr. 11 schon bei einem Widerstand von 600 Pa (Bild 23) durch. Ein weiteres (Bild 24) bei einem Widerstand von 1000 Pa, Nr. 13. Bei weiterer Belastung des 1. Filters war eine ganze Seite durchgebrochen und zwar genau an der Stelle, an der die Fäden aufgelegt sind.

Ein weiterer Mangel bei diesen Filtern mit schrägeingesetzten Fadeneinheiten ist, daß sie nur schlecht mit dem einfachen normalen Ölfadentest getestet werden können, weil der Ölfaden, ehe er das Filter verläßt, abreißt. Die defekte Stelle läßt sich somit nur sehr schwer lokalisieren.

Soweit der Bericht über Schwebstofffilter Sonderstufe S und über die von mir aufgezeigten Probleme mit diesen Filtern. Die Probleme und Mängel sind m.E. nicht so groß, daß sie von Filterherstellern nicht bewältigt werden könnten.

Ich danke Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit.

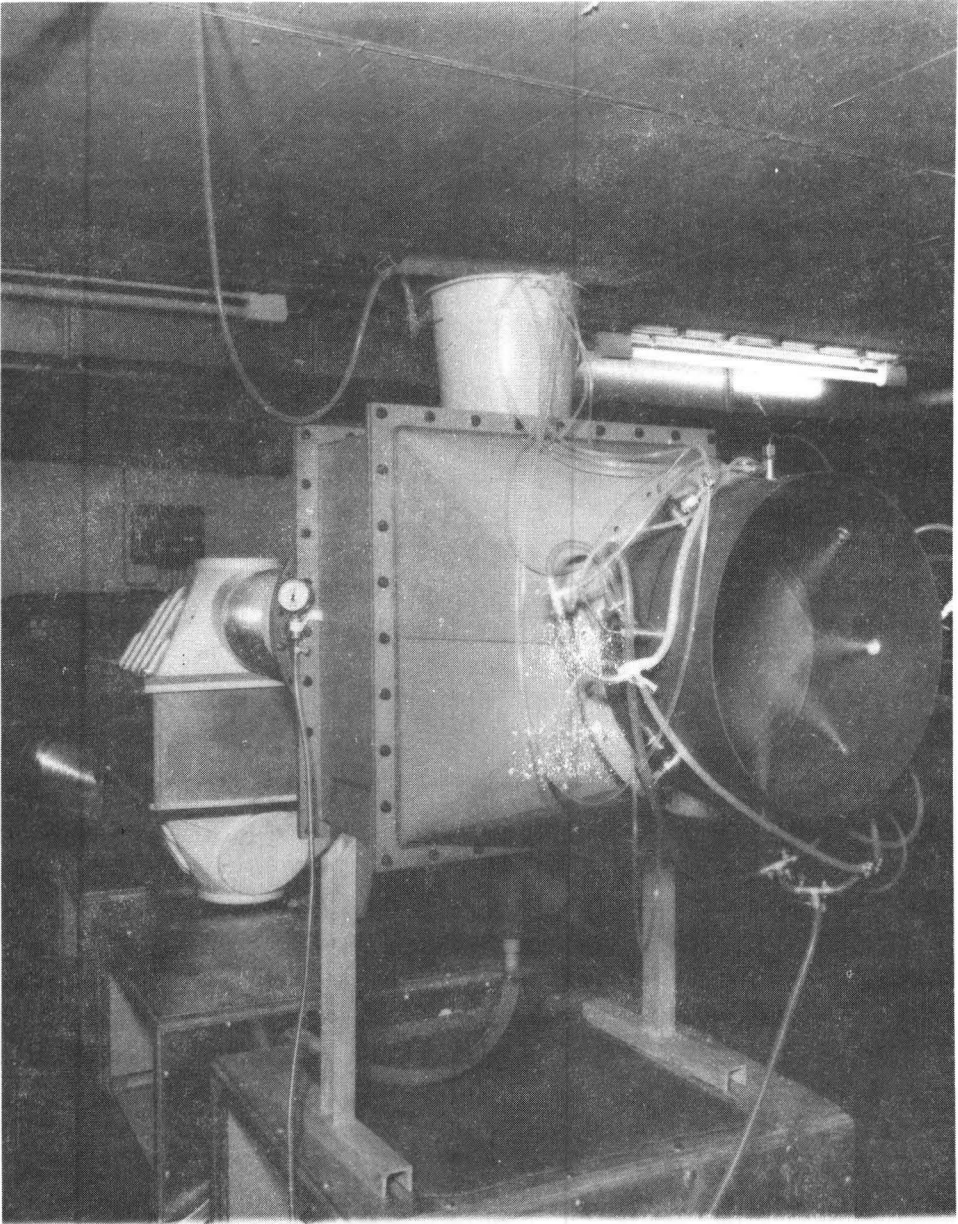
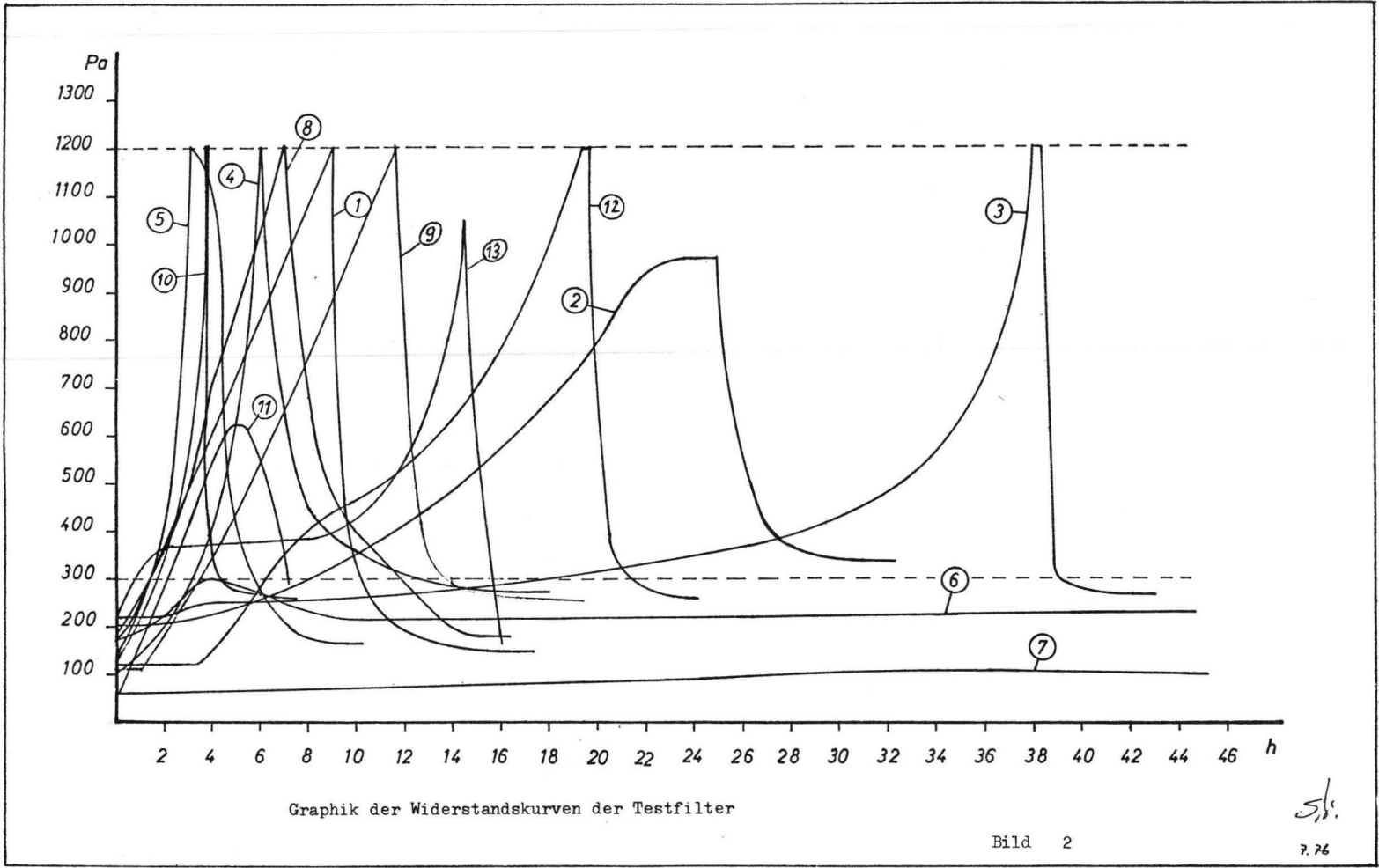


Bild 1      Testanlage mit Düsenstock,  
Tropfenabscheider, Filter  
und Ventilator



Graphik der Widerstandskurven der Testfilter

Bild 2

*S.B.*  
7.76

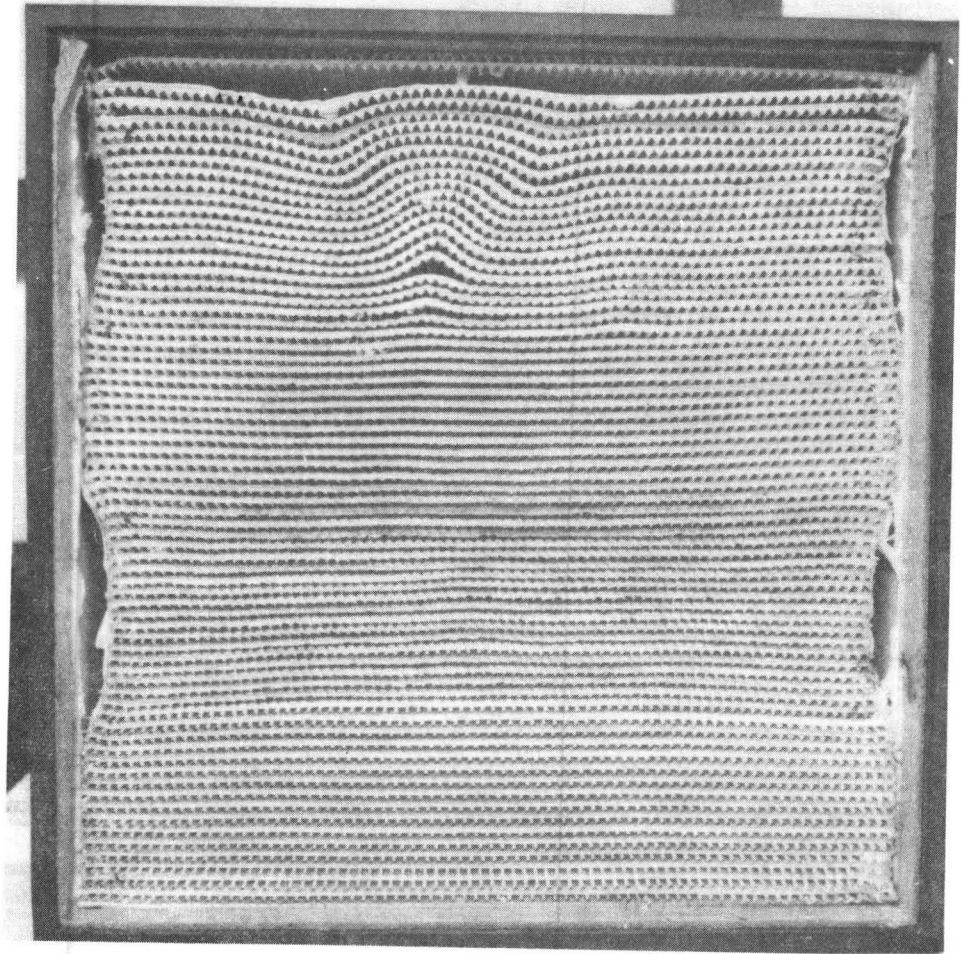


Bild 3      Hosch-Filter, Klasse S, mit  
aufgelöster Vergußmasse

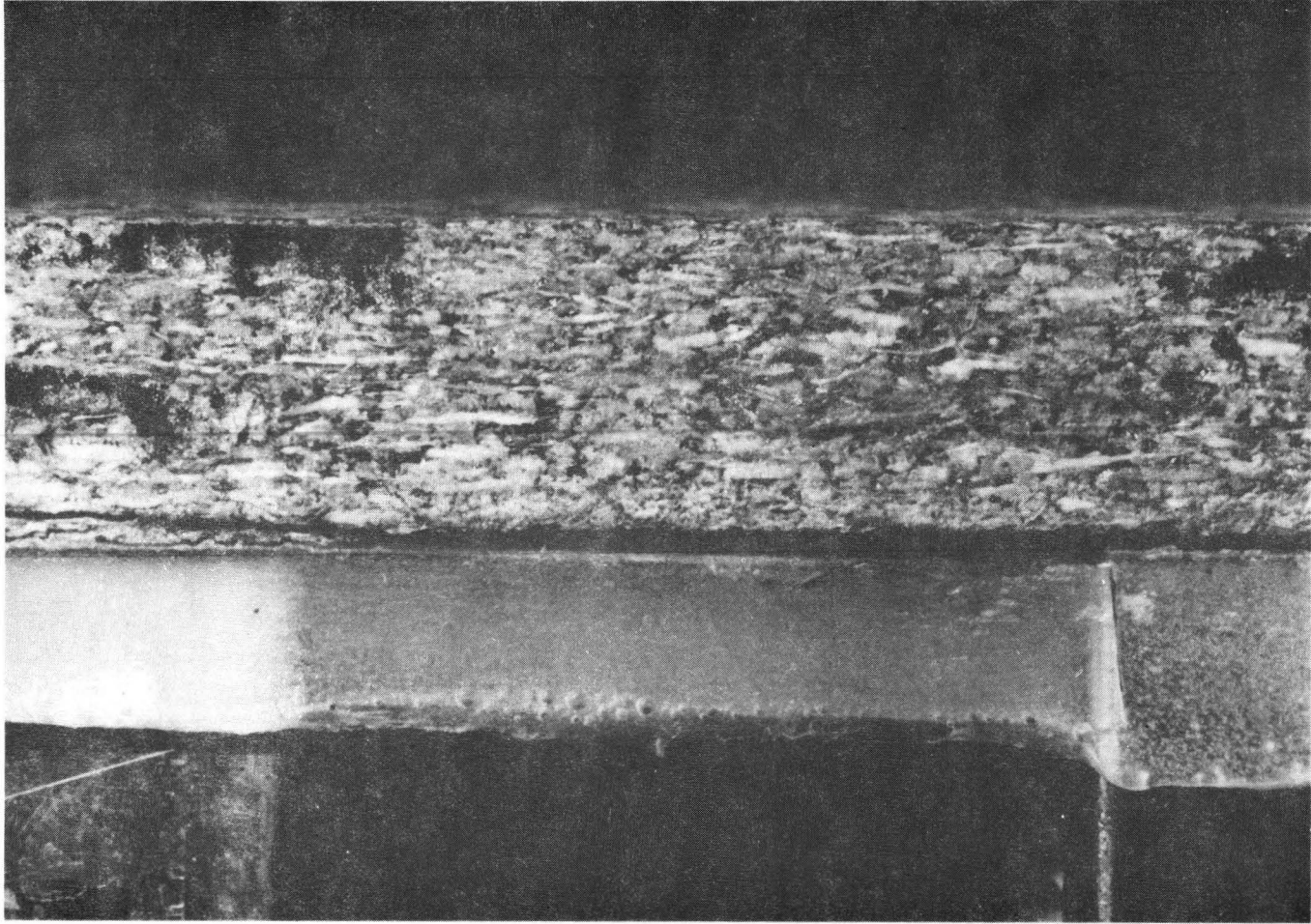


Bild 4      Hosch-Filter, Klasse S, mit  
abgelöster Vergußmasse

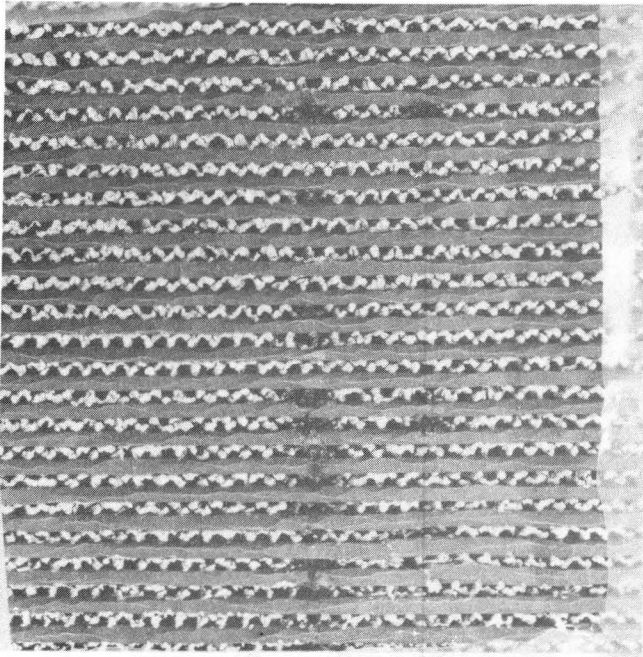


Bild 5      Hosch-Filter, Klasse S, mit  
              zersetztem Alu-Abstandshalter

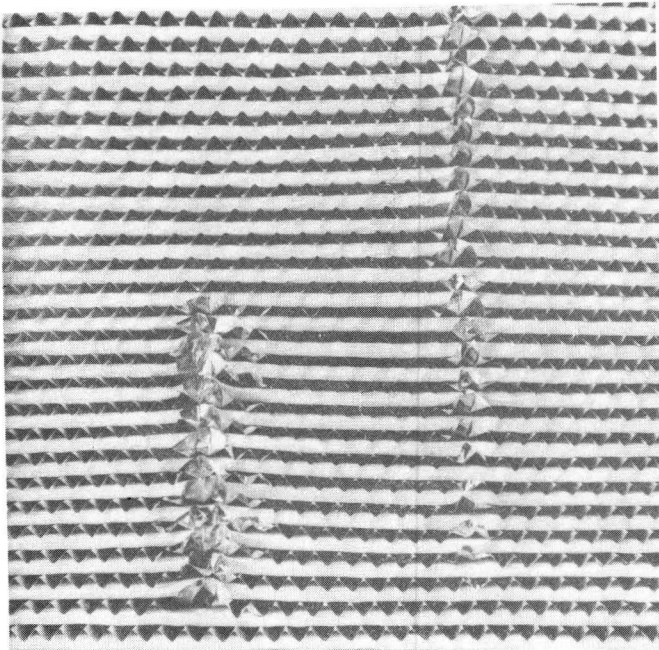


Bild 6      Hosch-Filter, Klasse S, mit  
              geknicktem Alu-Abstandshalter

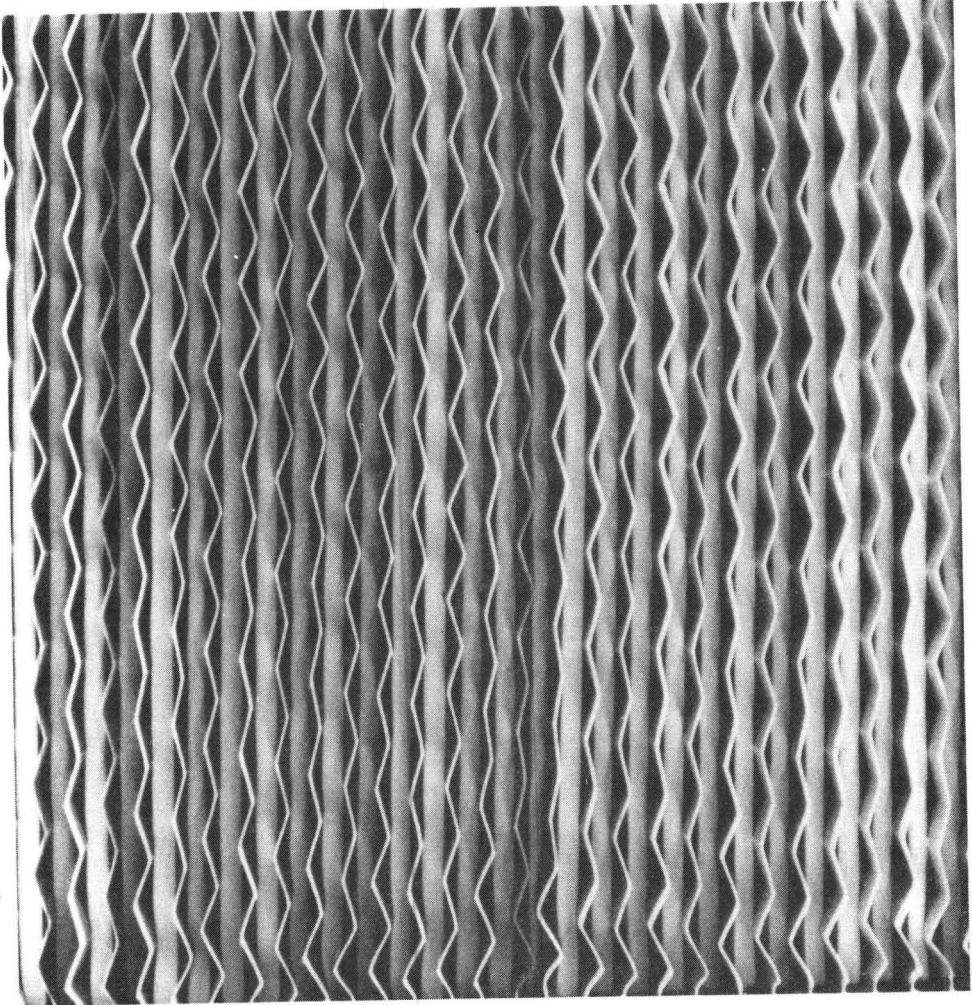


Bild 7

Hosch-Filter, Klasse S, mit  
teilweise gestrecktem Abstands-  
halter aus Pappe



50 MM WS ECKSTÜCK

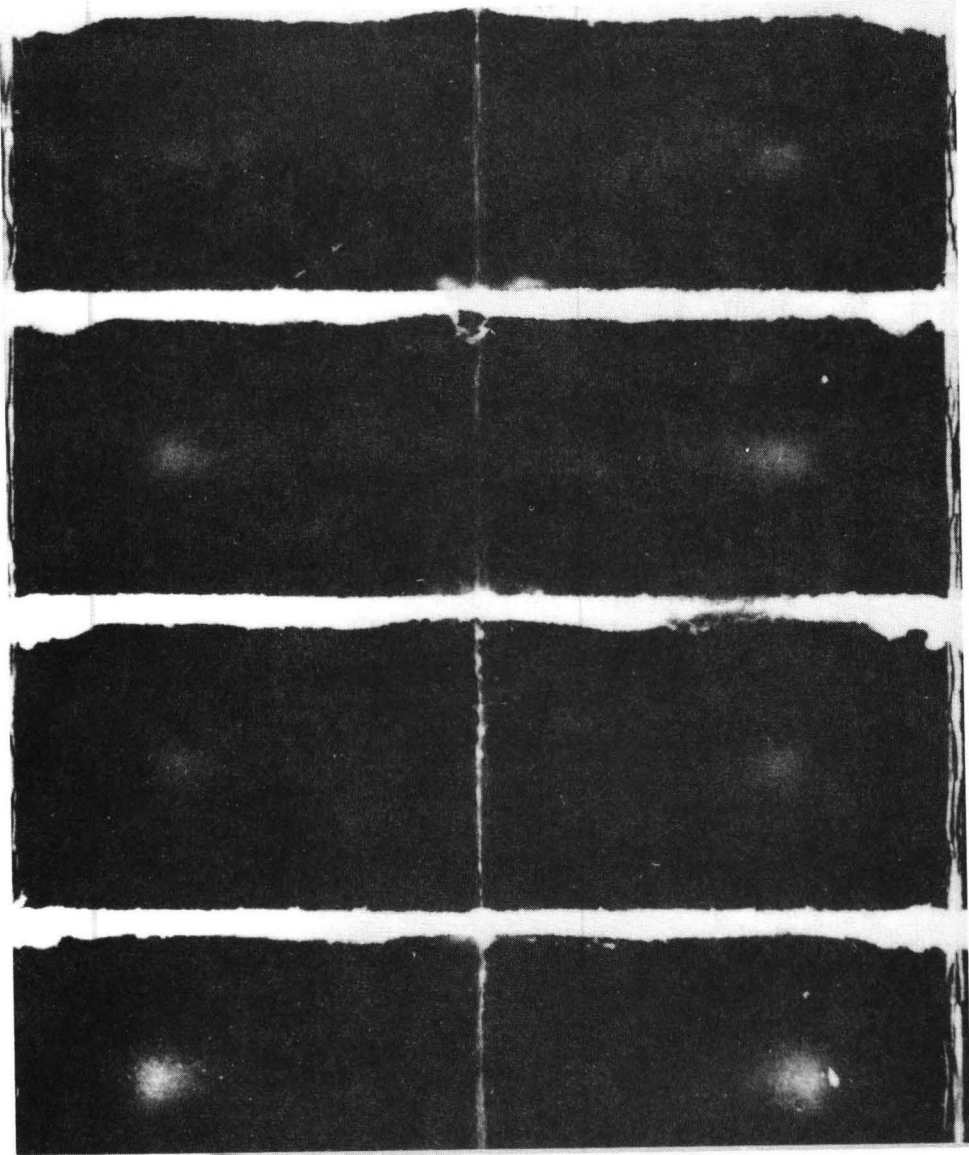


Bild 8 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks

50 MM WS AUSSENSTÜCK

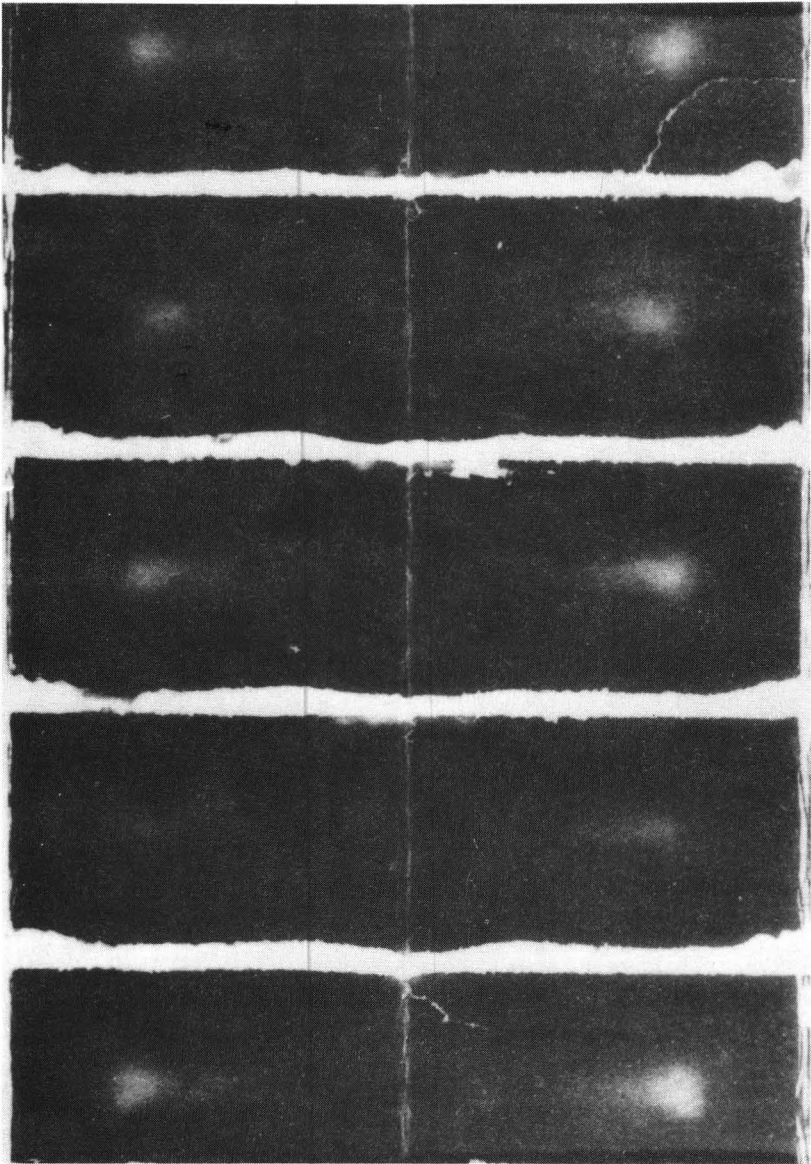


Bild 9 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks

50 11 WS MITTELSTÜCK

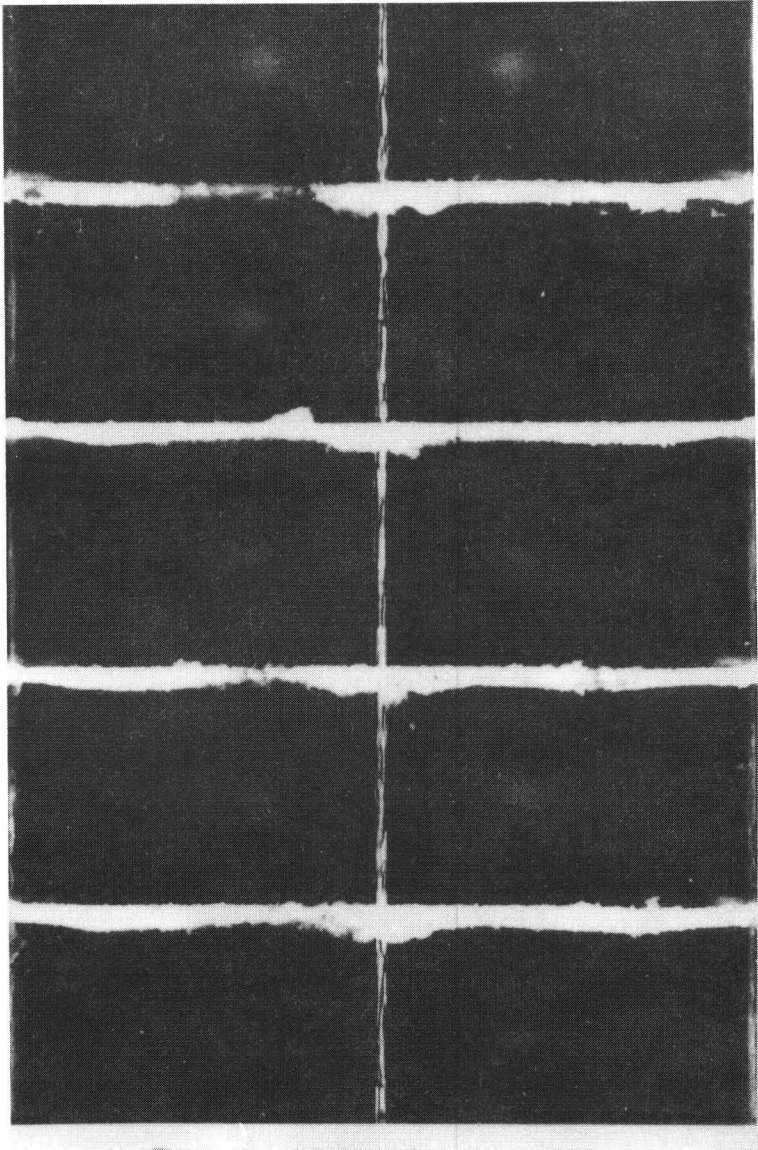


Bild 10 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks

80 MM WS AUSSEN

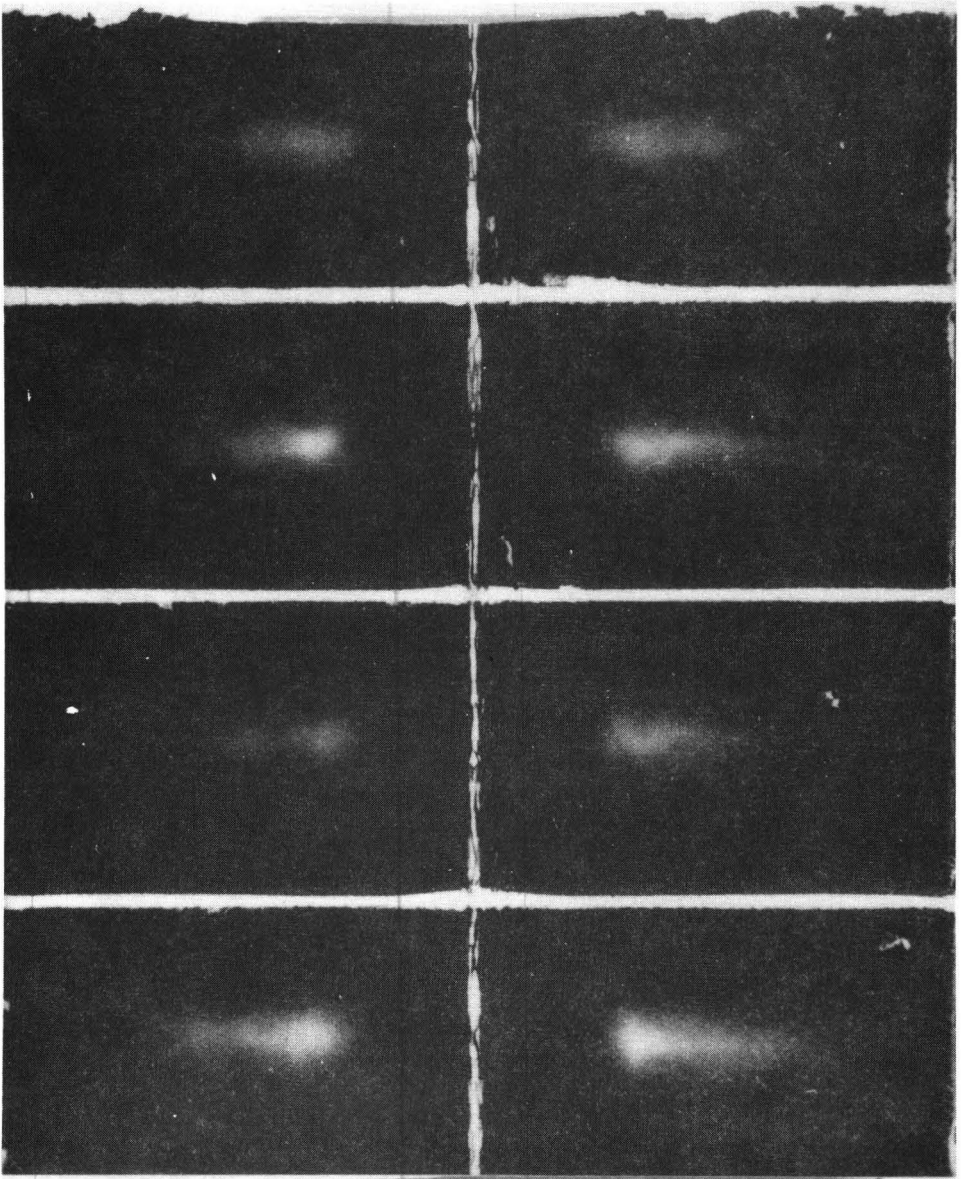


Bild 11 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks

80 MM WS MITTE

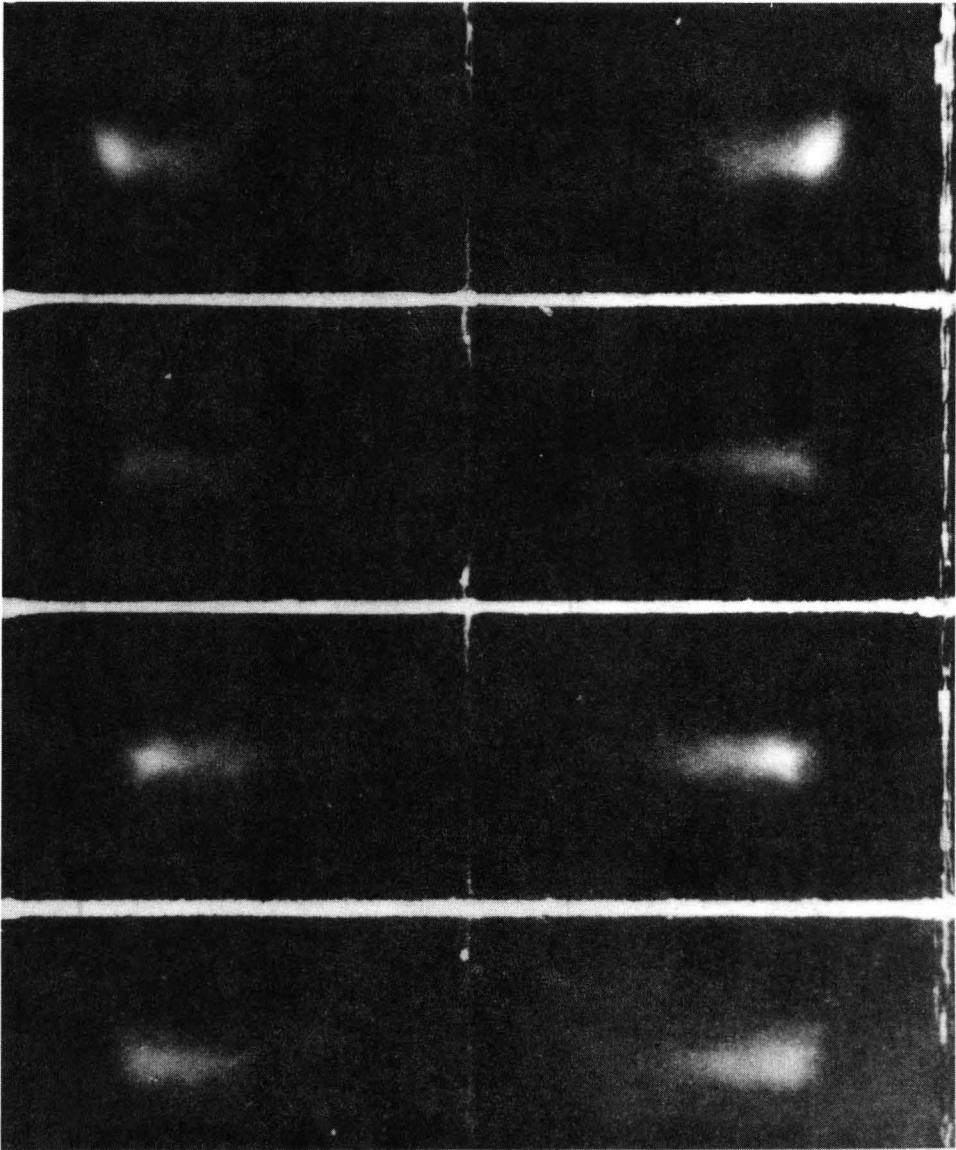


Bild 12 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks

80 ECKE

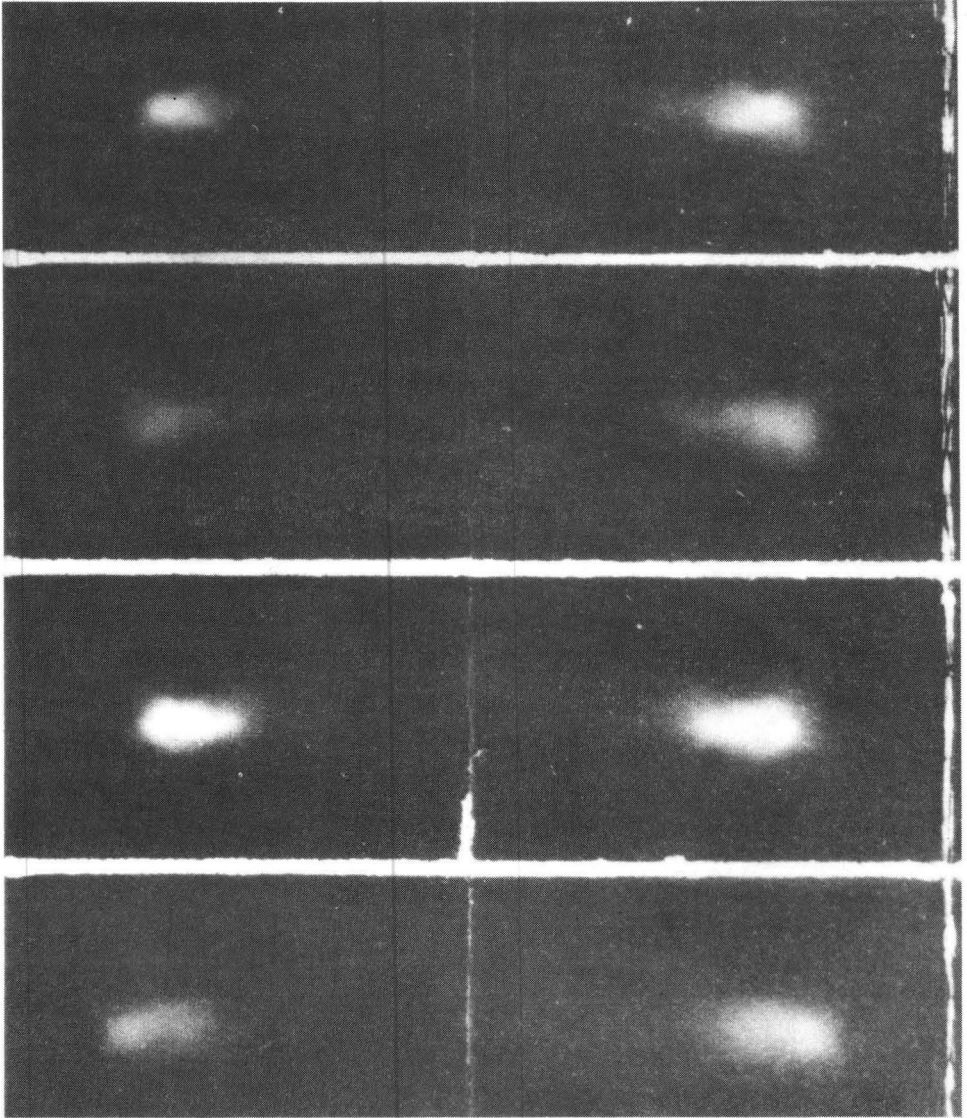


Bild 13 Teile eines aufgefalteten Fadens-  
paks

100 MM WS ECKE

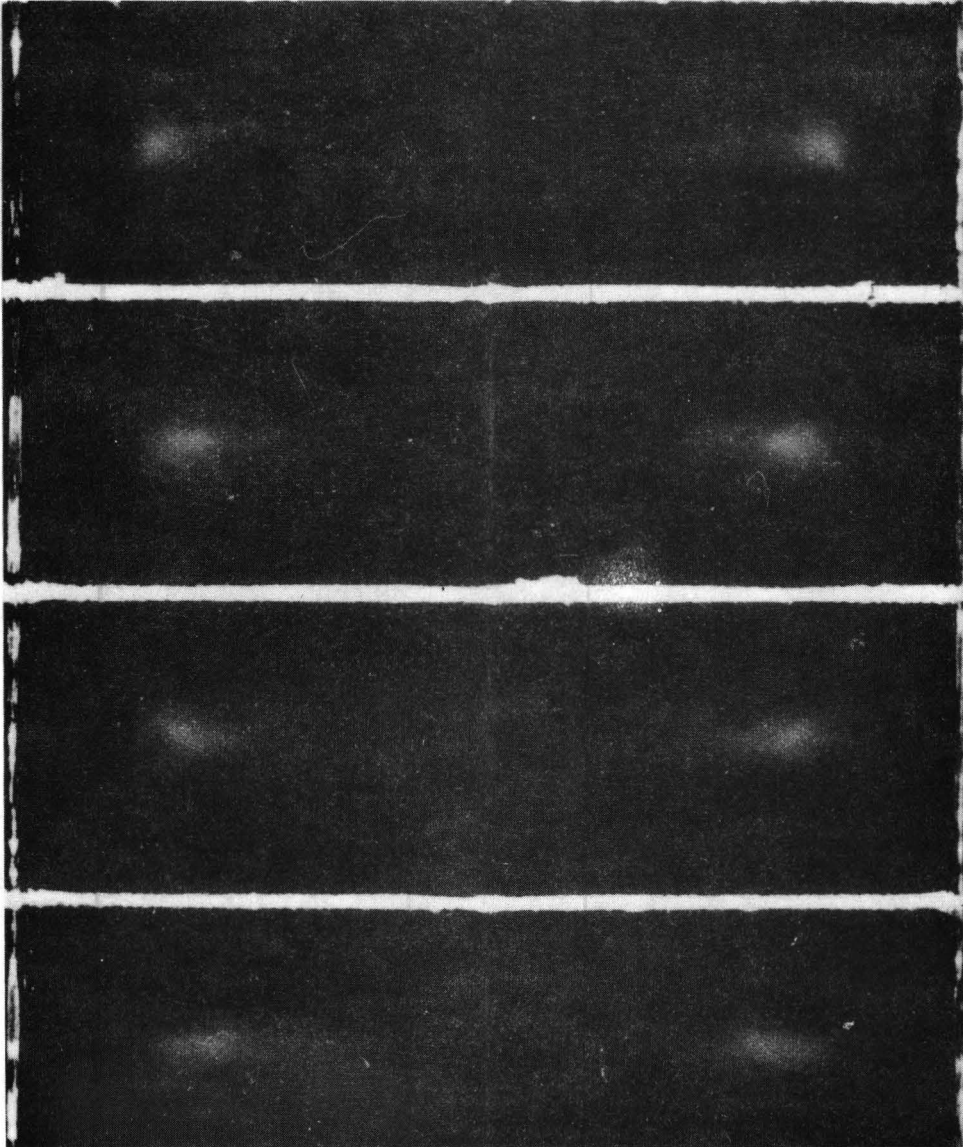


Bild 14 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks

100 MM WS MITTE

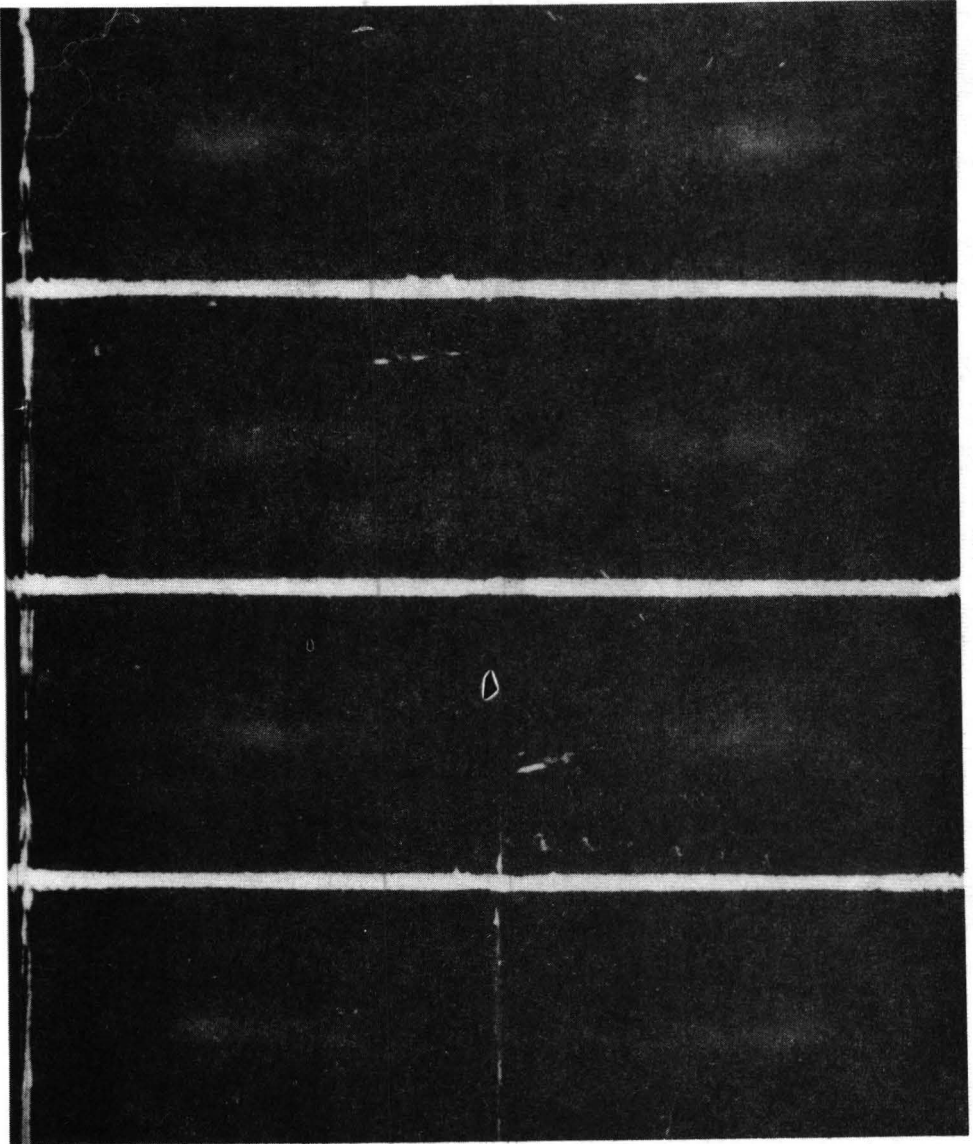


Bild 15 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks



100 MM WS AUSSEN

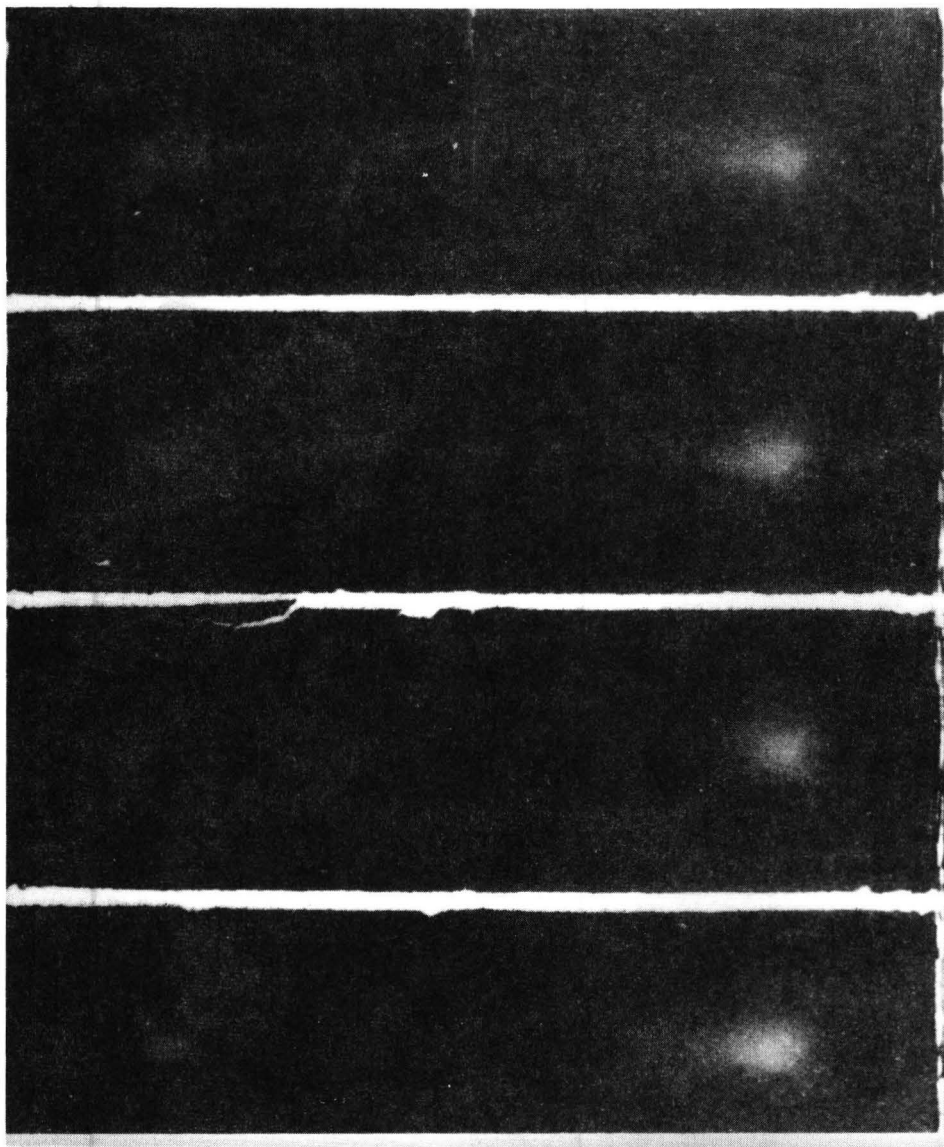


Bild 16 Teile eines aufgefalteten Fadenpaks

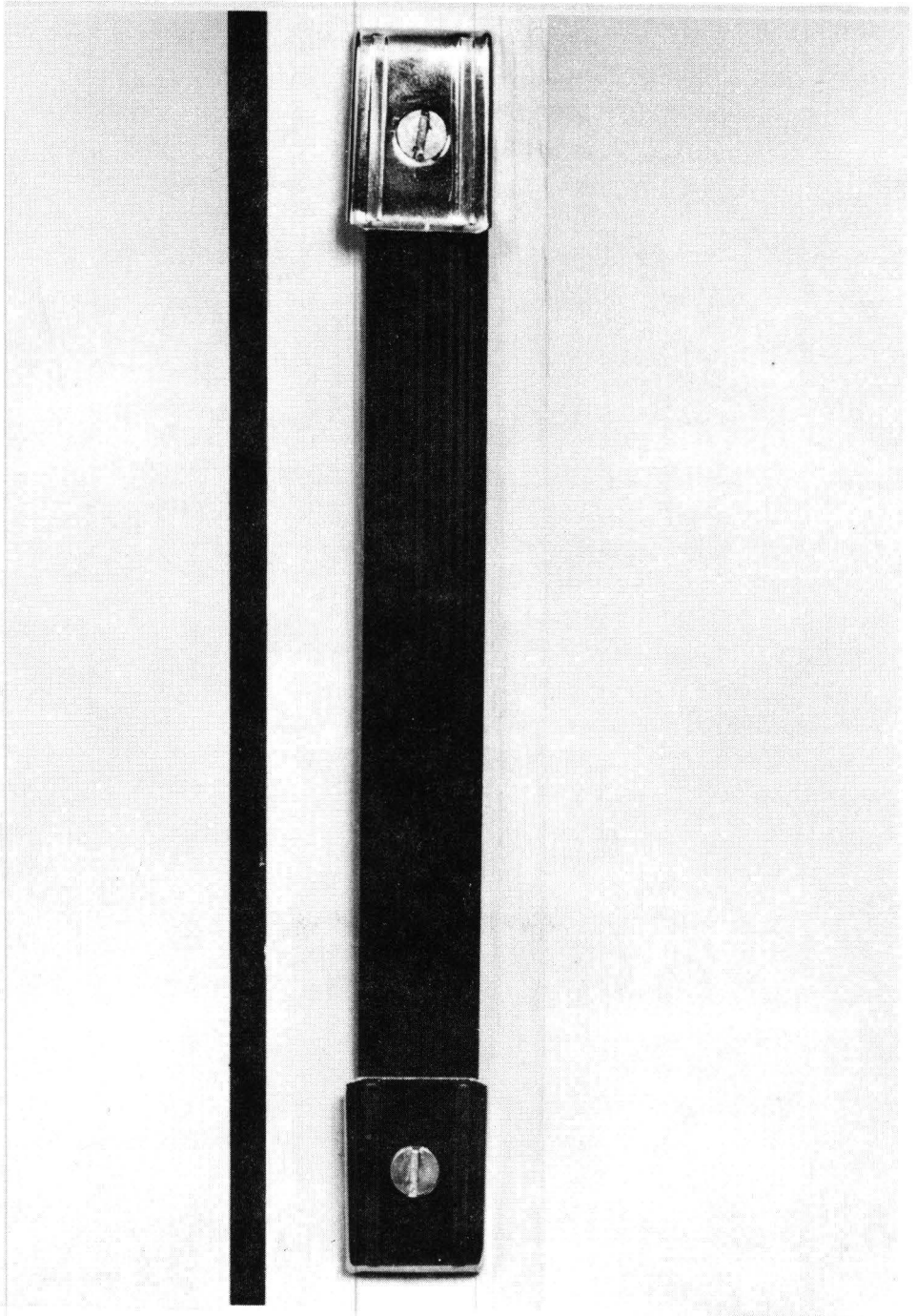


Bild 17

Handgriff für Filterpaks

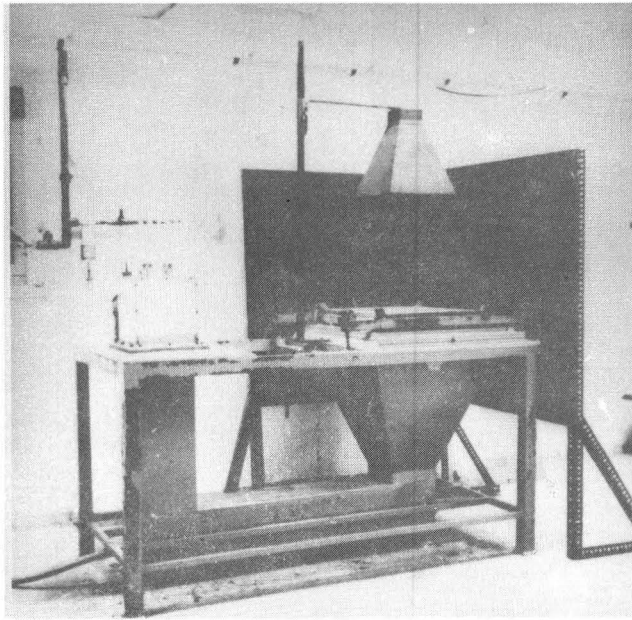


Bild 18 Anlage für Ölfadentest

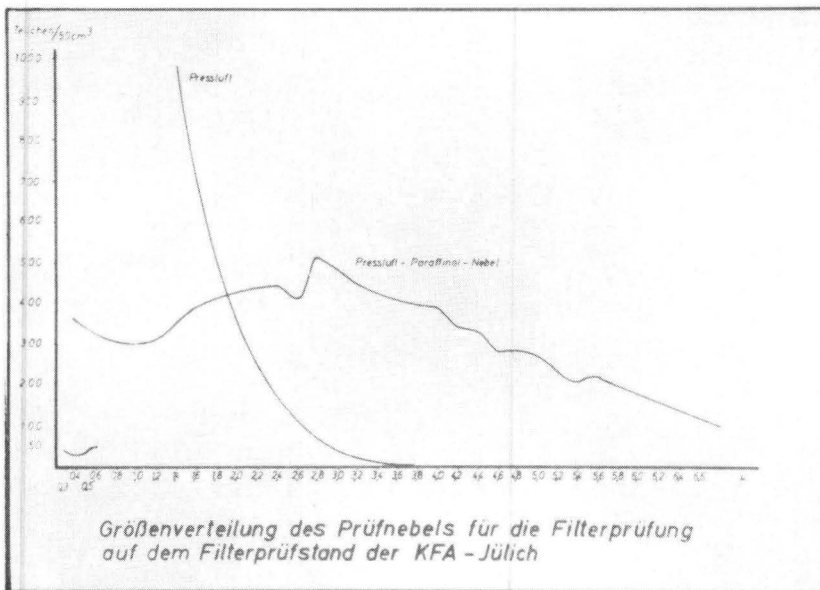


Bild 19

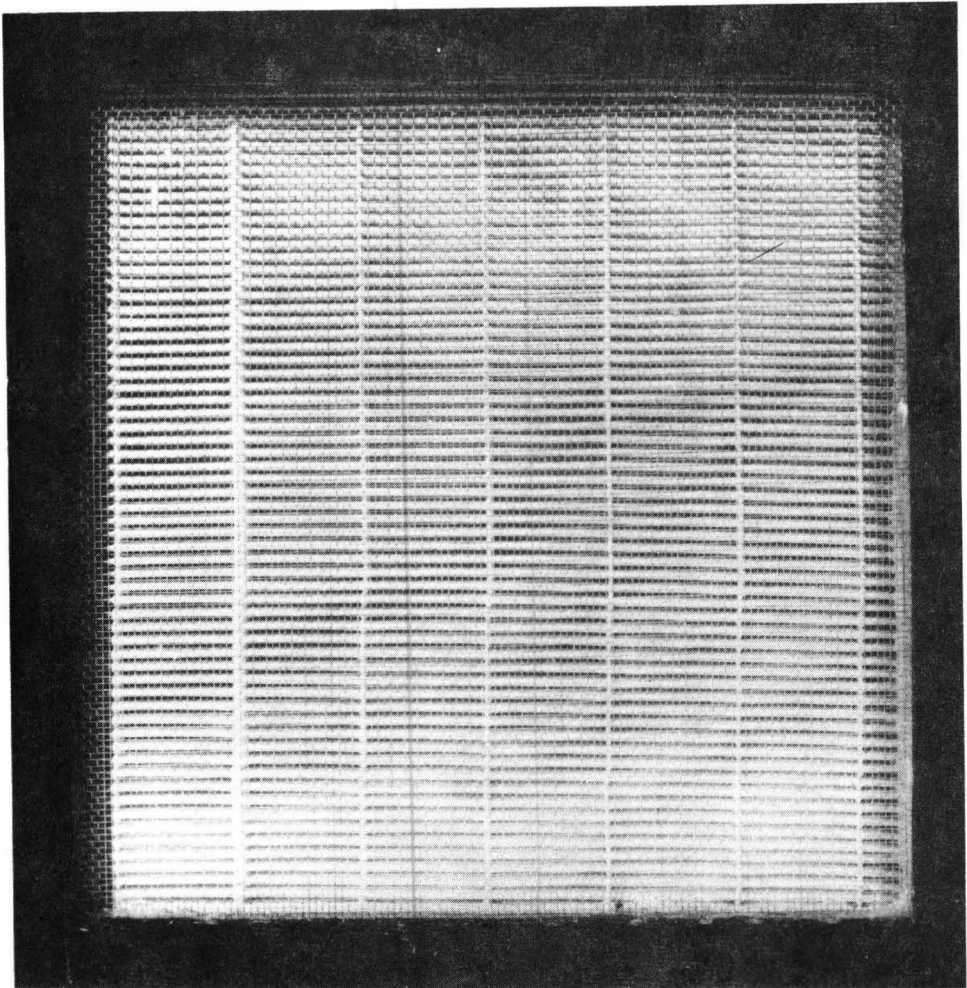


Bild 20

Hosch-Filter mit Drahtgitterschutz

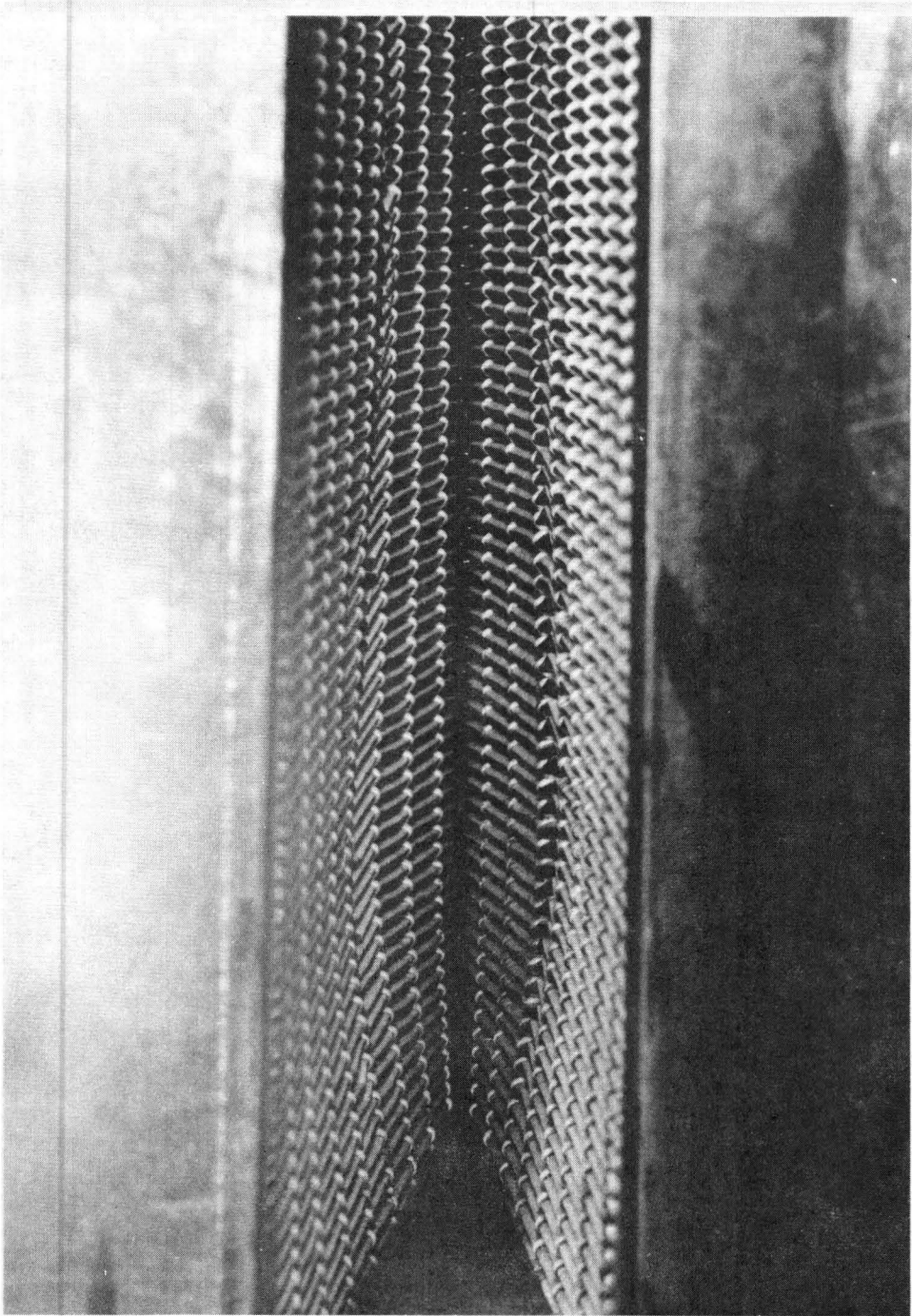


Bild 21

Hosch-Filter, Klasse S, für  
3000 m<sup>3</sup>/h ausgebeult

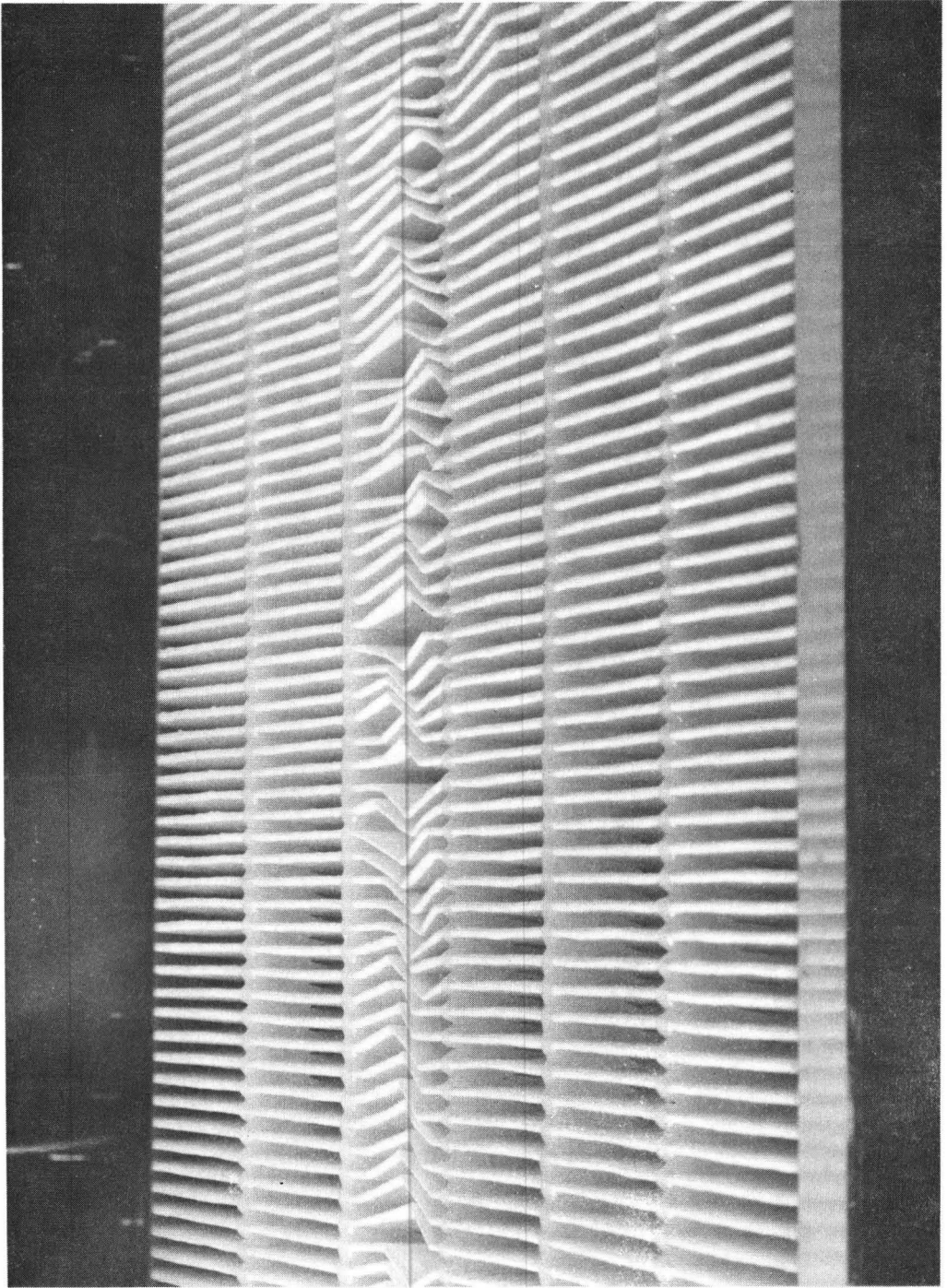


Bild 22

Hosch-Filter, Klasse S, für  
3000 m<sup>3</sup>/h geknickt

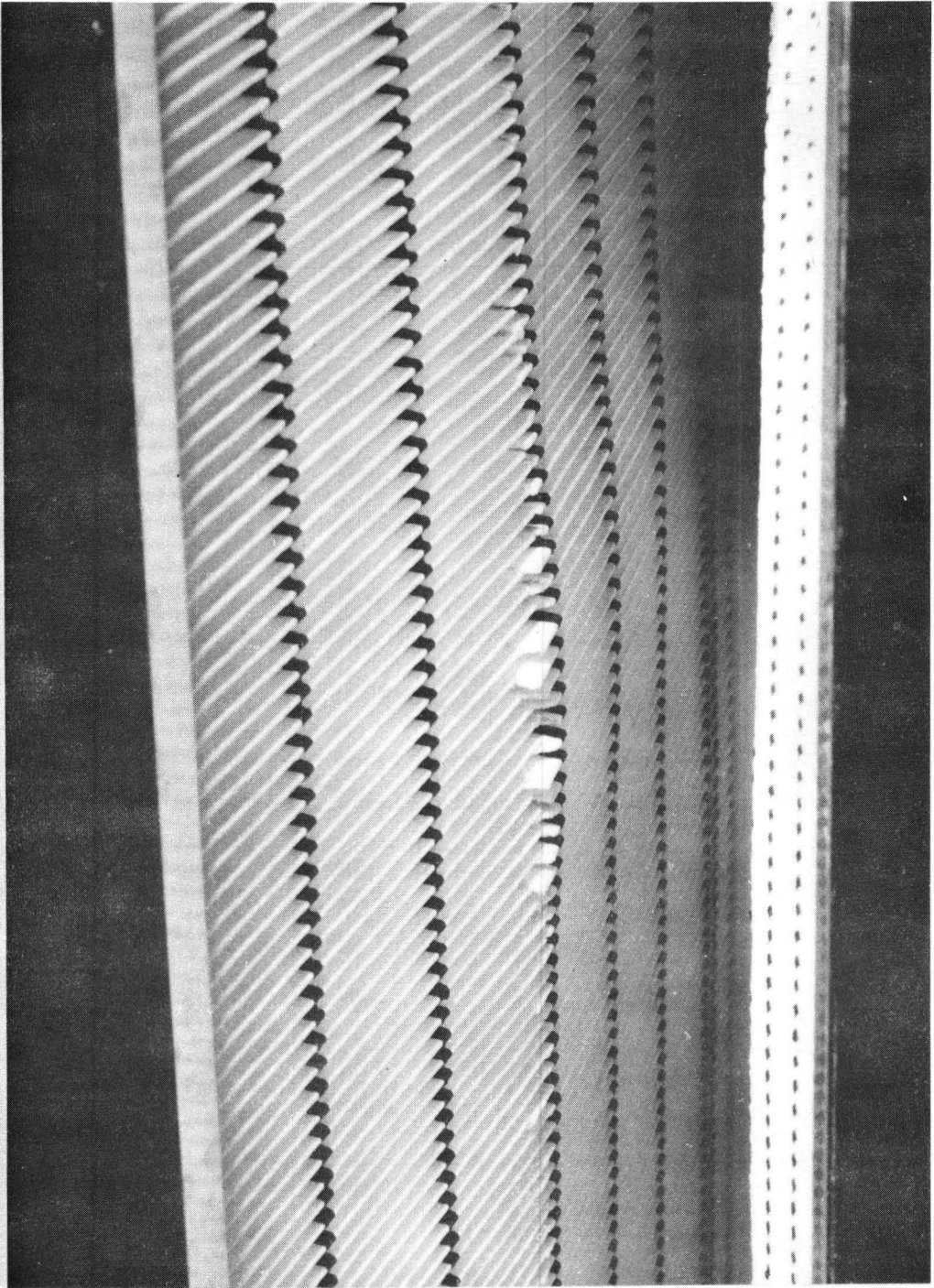


Bild 23

Hosch-Filter, Klasse S, für  
3000 m<sup>3</sup>/h durchgebrochen

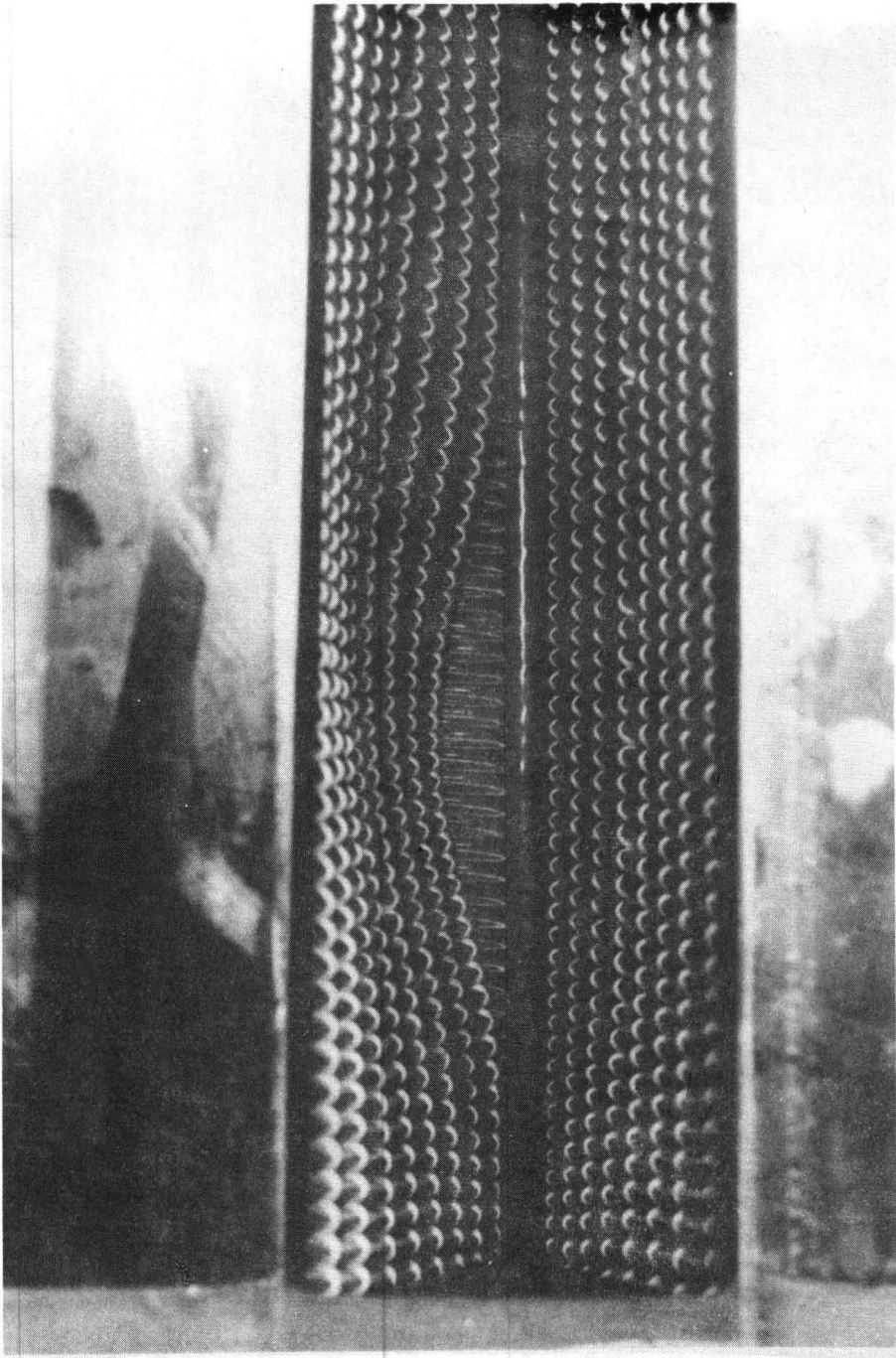


Bild 24

Hosch-Filter, Klasse S, für  
3000 m<sup>3</sup>/h durchgebrochen



12 JAHRE BETRIEBSERFAHRUNG MIT AEROSOLFILTERN  
HOHER ABSCHIEDELEISTUNG  
IM EUROPÄISCHEN INSTITUT FÜR TRANSURANE, KARLSRUHE

H. Günther und G. Tscheepe  
Europäisches Institut für Transurane  
Karlsruhe - B. R. DEUTSCHLAND

KURZFASSUNG.

1. Aufbau der Luftfilterkette

Das TU-Institut wird im Frischluftbetrieb stündlich mit ca. 600 000 m<sup>3</sup>/h belüftet, wobei die Zuluft über Rollbandfilter und Taschenfilter in die verschiedenen Gebäudeflügel gelangt und die Abluft über mindestens 2 in Serie geschaltete Aerosolfilter (Schwebstofffilter der Sonderstufe S) zu den Abluftkaminen geführt wird.

Insgesamt sind ca. 3 100 Schwebstofffilter eingesetzt; die Mehrzahl hiervon entsprechen der Sonderstufe S.

Vor dem ersten Schwebstofffilter in den Heissen Labors und Heissen Zellen sind grundsätzlich Vorfilter angebracht.

Vor diesen Vorfiltern sind zusätzlich noch engmaschige und mehrlagige Metallgitter angeordnet, die im Brandfalle vor der unmittelbaren Einwirkung der Flammen auf die Luftfilter schützen sollen.

In bestimmten exponierten Anlageteilen, z. B. in N<sub>2</sub>-Reinigungsanlagen, kommen säurebeständige Schwebstofffilter zum Einsatz.

2. Verbesserungen und neue Prüfmethoden

Durch den zeitlich gestaffelten Auf- und Ausbau des Transurane-Institutes in den Jahren 1963-67 war es möglich, in den Lüftungsanlagen der zuletzt erstellten Gebäudeflügel Verbesserungen vorzunehmen, die aus schlechten Erfahrungen mit den zuerst in Betrieb genommenen Anlagen resultierten. Diese bezogen sich insbesondere auf die Handschuhkastenbelüftung und die Dichtheit der Filtergehäuse.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die besten Aerosolfilter mit dem höchsten Abscheidegrad letztlich wirkungslos sind, wenn sie nicht mit zweckmässig dimensionierten und alterungsbeständigen Filterdichtungen versehen und absolut dicht in den Filtergehäusen angeordnet sind.

In diesem Punkt mussten sämtliche im Institut befindlichen Filtergehäuse ausgebaut werden.

Ausserdem wurden die Filterdichtungen in bezug auf Material und Form grundlegend geändert.

Mit einem sogenannten "Tuschiertest" kann der einwandfreie Sitz der Filterdichtung im Filtergehäuse nachgewiesen werden.

Sämtliche Schwebstofffilter der Sonderstufe S werden vor dem Einbau in die Filtergehäuse mittels einer Paraffin-Oelnebel-Prüfapparatur auf Dichtheit überprüft. Der Durchmesser der Oeltröpfchen ist  $< 1 \mu\text{m}$ , mit einem häufigsten Durchmesser zwischen 0,3 und 0,5  $\mu\text{m}$ .

Filter, die bei dieser Ueberprüfung nur vereinzelt Oelfäden zeigen, werden im nicht aktiven Bereich verwendet.

Filter, die breite Fäden, sogenannte Bänder zeigen, insbesondere im Bereich der Rahmenbefestigung, werden nicht als Schwebstofffilter der Sonderstufe S akzeptiert und zurückgewiesen.

Bei der Entwicklung einer neuen Filterdichtungssitzprüfeinrichtung stand das Institut in engem Kontakt mit den Herstellerfirmen und konnte aufgrund eigener Betriebserfahrungen wesentliche Argumente für die Verbesserung dieses Prüfsystems liefern.

Bei diesem Verfahren wird mittels eines "Blubbers" die eventuell über die Filterdichtung in die Reinluftseite des Filtergehäuses gelangende Leckluft sichtbar gemacht.

Mehrere Filtergehäuse mit einer derartigen Dichtungsprüfeinrichtung sind

seit Jahren im Institut störungsfrei in Betrieb. Es zeigte sich hierbei, dass das Mass der Dichtheit der Filterdichtung im Laufe der Zeit nicht abgenommen hat, vielmehr teilweise sogar noch gestiegen ist.

### 3. Filterstandzeiten

Die Standzeit der Schwebstofffilter an den Handschuhkästen ist praktisch gleichzusetzen mit der Lebensdauer der Handschuhkästen selbst, d. h. sehr viele Schwebstofffilter an Handschuhkästen im Institut haben eine Standzeit von über 12 Jahren und sind noch im Betrieb.

Die Schwebstofffilter in den Wandeinbaugehäusen in Heissen Labors (Filterstufe 1) haben eine Standzeit von ca. 5 Jahren. Die vor diesen Schwebstofffiltern angeordneten Vorfilter werden dagegen jedes Jahr gewechselt. Die Schwebstofffilter in den Standfiltergehäusen im Keller (Filterstufe 2) für den Laborbereich werden alle 5 Jahre gewechselt.

Im Bereich der Werkstätten und Umkleieräume liegt die Standzeit bei 4 Jahren.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass der Zeitpunkt des Wechsels der Schwebstofffilter im TU-Institut nicht durch eine eventuell zu hohe Staubbelastung bestimmt wird, sondern durch die Grenzen des Regelbereiches der Abluftventilatoren gegeben ist.

## SUMMARY. 12 YEARS EXPERIENCE OF OPERATING HIGH-EFFICIENCY FILTERS AT THE EUROPEAN INSTITUTE FOR TRANSURANIC ELEMENTS, KARLSRUHE.

### 1. The air filtration sequence

The TU Institute utilises fresh air ventilation, with approx. 600 000 m<sup>3</sup>/h of fresh air passing through roller filters and bag filters before reaching the various wings of the building; spent air passes through at least two coupled high-efficiency aerosol filters (S-type aerosol filters) before reaching the stacks.

In all, approx. 3 100 aerosol filters are in use, mostly Class "S" filters. Prefilters are invariably provided upstream of the aerosol filters in the hot laboratories and hot cells.

In addition, upstream of the prefilters there are several layers of fine mesh metal gauze designed to protect the filters from immediate flame contact in the event of fire.

In certain exposed areas of the installation, e. g. in the N<sub>2</sub> purification plants, acid-resistant aerosol filters are in use.

### 2. Improvements and new test methods

Since there were several stages of construction and expansion of the Institute in the period 1963 to 1967 the ventilation equipment installed in the most recently built parts of the building was improved following disappointing experience with the original equipment. This applied in particular to glove box ventilation, and the leak-tightness of the filter housing. Experience has shown that even the best aerosol filters of the highest efficiency eventually lose their effectiveness if they are not fitted with specially dimensioned age-resistant seals and mounted in filter housings in such a way as to provide absolute leak-tightness.

Every filter housing in use at the Institute had to be improved in this respect. In addition, fundamental changes were made to the material and shape of the filter seals.

An assured fit between the filter seal and the filter housing can be established with the aid of a "colour transfer contact test" ("Tuschieretest"). The sealing of every Class "S" aerosol filter is tested before insertion into the filter housings by means of the oil fog test. The diameter of the oil droplets is < 1 μm, the most frequent diameter being between 0.3 and 0.5 μm.

Any filter which shows any sign of oil-streaming is not used in the active area.

Any filter which shows considerable oil stream-streaming, particularly around the frame, is not accepted as a Class "S" aerosol filter and is rejected.

During the development of a new filter seal fit test rig the Institute cooperated closely with manufacturers and in the light of its own operational experience was in a position to make a major contribution to improving this test. This process involves a "bubble test" ("Blubbertest") which shows up any air leaking past the filter seal to the downstream side of the filter housing.

A number of filter housings fitted with a seal test device of this type have been in use at the Institute for many years without trouble. Over this period of time it has become clear that the degree of tightness of the filter seal does not deteriorate, but rather than in some instances it even improved.

### 3. Length of service of the filters

The length of service of the aerosol filters in the glove boxes is practically the same as that of the lifespan of the glove boxes themselves, i. e. a considerable number of aerosol filters in glove boxes at the Institute have been in use for 12 years and are still in use.

The aerosol filters in the walls mounted in the chambers of the hot laboratories (filtration stage 1) last about five years. The prefilters upstream of these aerosol filters are replaced annually, however.

The aerosol filters in the filtration installation in the basement (filtration stage 2) serving the laboratory area are changed every five years.

In the workshop area and changing rooms the filters are in service for four years.

It should be pointed out that replacement of aerosol filters at the TU Institute is not governed by a possible excessive dust loading but by the limits of the exhaust fans, regulation.

## RESUME. EXPERIENCE ACQUISE EN 12 ANS D'UTILISATION DE FILTRES D'AEROSOLS A HAUTE EFFICACITE A L'INSTITUT EUROPEEN DES TRANSURANIENS DE KARLSRUHE.

### 1. Structure du dispositif de filtration de l'air

L'Institut des Transuraniens utilise un système de ventilation à l'air frais assurant un débit d'air de 600 000 m<sup>3</sup>/h. L'air frais parvient dans les diverses ailes du bâtiment en passant par des filtres à déroulement et des filtres à manche tandis que l'air extrait, refoulé vers les cheminées d'évacuation, traverse au moins 2 filtres à aérosols montés en série (filtres d'aérosols de la catégorie spéciale S).

Au total 3 100 filtres d'aérosols environ sont en service, la plupart appartenant à la catégorie spéciale S.

En principe on monte, dans les laboratoires de haute activité et les cellules chaudes, des préfiltres avant le premier filtre.

Devant ces préfiltres on place en outre plusieurs épaisseurs de grillage métallique à mailles fines afin de protéger le filtre à l'air de l'action directe des flammes en cas d'incendie.

Dans certaines zones exposées, par exemple dans les installations d'épuration de N<sub>2</sub>, on utilise des filtres d'aérosols résistant aux acides.

### 2. Améliorations et nouvelles méthodes de contrôle

L'Institut des Transuraniens ayant été construit et aménagé en plusieurs phases, au cours des années 1963-1967, il a été possible d'apporter des améliorations aux installations de ventilation des ailes de bâtiment réalisées en dernier lieu, en tirant la leçon des difficultés rencontrées dans les premières installations. Ces améliorations portent en particulier sur la ventilation des boîtes à gants et l'étanchéité des caissons.

L'expérience a montré que les meilleurs filtres d'aérosols, au rendement le plus élevé, sont en fin de compte inefficaces s'ils ne sont pas munis de

joints d'étanchéité bien dimensionnés, résistant à l'usure, et montés dans les caissons de manière absolument étanche.

Sur ce point, il a fallu revoir tous les caissons existant dans l'Institut. De plus, les joints ont été complètement revus en ce qui concerne leur matériau et leur forme.

Un test, dit "test du toucher" ("Tuschiertest"), permet de s'assurer du montage impeccable du joint dans le caisson.

Avant de les monter dans le caisson, on vérifie l'étanchéité de tous les filtres d'aérosols de la catégorie spéciale S, à l'aide d'un appareillage de contrôle à brouillard d'huile de paraffine. Le diamètre des gouttelettes d'huile est  $< 1 \mu\text{m}$ , la moyenne étant comprise entre 0,3 et 0,5  $\mu\text{m}$ .

Les filtres qui, lors de ce contrôle, ne présentent que quelques filets huileux isolés sont utilisés dans la zone non active.

Les filtres où l'on constate la présence de filets épais, dits rubans d'huile, en particulier dans la région de la fixation du châssis, ne sont pas acceptés comme filtres d'aérosols de la catégorie spéciale S et sont rejetés.

Pendant la mise au point d'une nouvelle installation de contrôle du montage des joints d'étanchéité, l'Institut est resté en relation étroite avec les constructeurs et grâce à sa propre expérience, il a été en mesure de faire d'utiles suggestions pour perfectionner ce système de contrôle.

Ce procédé permet de faire apparaître, au moyen d'un barboteur, l'air s'échappant par le joint et pénétrant dans la zone d'air pur du caisson.

Plusieurs caissons équipés d'un tel dispositif de contrôle de l'étanchéité servent depuis des années sans problèmes à l'Institut. Il s'est avéré que le degré d'étanchéité des joints n'a pas baissé avec le temps mais qu'il a même parfois augmenté.

### 3. Durée de vie des filtres

La durée de vie des filtres d'aérosols montés sur les boîtes à gants est pratiquement identique à celle des boîtes à gants elles-mêmes; cela signifie qu'un très grand nombre de filtres d'aérosols équipant les boîtes à gants de l'Institut ont une durée de service supérieure à 12 ans et continuent à être utilisés.

Les filtres d'aérosols des cadres encastrés dans les murs des laboratoires de haute activité (niveau de filtration 1) ont une durée de vie d'environ 5 ans. Les préfiltres disposés devant ces filtres d'aérosols sont, en revanche, remplacés chaque année.

Les filtres d'aérosols montés dans les cadres verticaux de la cave (niveau de filtration 2) pour la zone des laboratoires sont remplacés tous les 5 ans. Dans la zone des ateliers et des vestiaires la durée de vie des filtres est de 4 ans.

Il convient de retenir, en principe, qu'à l'Institut des Transuraniens la date de remplacement des filtres d'aérosols n'est pas déterminée par un éventuel empoussiérage excessif mais par les limites de réglage des ventilateurs d'évacuation.

## 1. Einleitung

Das Europäische Institut für Transurane beschäftigt sich vorwiegend mit der Basisforschung über die Transuranium-Elemente im besonderen Plutonium, sowie mit der Untersuchung bestrahlter Brennelemente, speziell im Hinblick auf Einsatzmöglichkeiten in schnellen Brutreaktoren.

Die Transuranium-Elemente, insbesondere jedoch Plutonium, sind Substanzen mit einer außergewöhnlich hohen Toxizität. Für die Sicherheit des Personals ist es daher unerlässlich, daß die Handhabung dieser radioaktiven Materialien ausschließlich in alpha-dichten und unter Unterdruck stehenden Handschuhkästen und Heißen Zellen geschieht, die über Aerosolfilter höchster Wirksamkeit von der Laboratmosphäre und der Außenatmosphäre getrennt sind.

Aus diesem Grunde haben die Aerosolfilter eine ausschlaggebende Bedeutung für einen sicheren und gefahrlosen Betrieb des Institutes.

## 2. Beschreibung des Institutes und des Lüftungsprinzips

Das Transurane-Institut umfaßt mit einem Gesamtbauvolumen von 188 000 m<sup>3</sup> sieben verschiedene Gebäudeflügel mit genau definierten Aufgabenbereichen.

Drei Flügel enthalten 25 alpha-Laboratorien mit mehr als 600 Handschuhkästen für den Umgang mit nicht bestrahltem Plutonium und Transplutonium-Elementen.

Ein weiterer Flügel -das alpha-beta-gamma-Laboratorium- mit 20 Heißen Zellen dient der Untersuchung von bestrahlten Brennelementen und von Materialien hoher Radioaktivität.

Die restlichen drei Gebäudeflügel enthalten Meßlaboratorien und kalte Werkstätten, sowie die Verwaltung und den Umkleidetrakt.

### 2.1 Aufbau der Luftfilterkette (s. Abb. 1 u. 2)

Das Institut wird im Frischluftbetrieb stündlich mit ca. 600 000 m<sup>3</sup> belüftet, wobei 7 Zuluftanlagen über Rollbandfilter und Taschenfilter eine konstante Menge vorbehandelte Zuluft in jeweils einen Gebäudeflügel einblasen.

Zur Einhaltung der differenzierten Unterdrücke im Kontrollbereich - zunehmender Unterdruck in Richtung höherer Aktivität - wird die Abluft automatisch geregelt und über 2 bzw. 3 in Reihe geschaltete Aerosolfilter der Sonderstufe S in die Abluftkamine geführt.

Jeder Gebäudeflügel hat seine eigenen Zu- und Abluftanlagen, in System und Umfang dem definierten Aufgabenbereich entsprechend, und kann völlig für sich betrieben werden.

Insgesamt sind im Institut ca. 3100 Aerosolfilter eingesetzt, die Mehrzahl hiervon entsprechen der Sonderstufe S.

## 2.2 Einsatz der Aerosolfilter

### 2.2.1 Heiße Laboratorien und Heiße Zellen

Der ersten Aerosolfilterstufe in den Heißen Laboratorien und Heißen Zellen ist zur Grobstaubfilterung ein Vorfilter aus Glasfaservlies vorgeschaltet. Dahinter ist eine Funken- und Flammenschutzzone aus engmaschigen und mehrlagigen Metallgittern angeordnet, die im Brandfalle den Aerosolfilter vor unmittelbarer Flammeneinwirkung schützen soll. Alle Filterrahmen der 1. Filterstufe sind aus Stahlblech gefertigt.

Die Abluft der Heißen Laboratorien und Heißen Zellen wird von der 1. Filterstufe, über luftdichte Stahlblechkanäle, in die Kellerräume zur 2. bzw. 3. Filterstufe geführt.

### 2.2.2 Handschuhkästen

Die Handschuhkästen werden entweder unter Luft oder unter einer Inertgasatmosphäre betrieben. Die Filterung des Gasvolumenstromes im Ein- und Ausgang der Handschuhkästen wird durch je 2 in Serie geschaltete Aerosolfilter vorgenommen, wobei sich jeweils 1 Filter innerhalb und 1 Filter außerhalb des Handschuhkastens befindet.

Das Filtermedium der innerhalb des Handschuhkastens eingesetzten Aerosolfilter besteht aus Asbestfaservlies und zwar aus Gründen einer höheren Widerstandsfähigkeit im Falle einer Verpuffung. Diese Filter entsprechen der Gruppe "Aerosolfilter", während es sich bei äußeren Filtern um solche der Gruppe "Aerosolfilter Sonderstufe S" handelt.

Die Abluft der Handschuhkästen gelangt über Rohrleitungen zur 2. Filterstufe im Keller und wird über Ventilatoren direkt zum Abluftkamin geführt. Damit

ist gewährleistet, daß bei einem evtl. Totalausfall der Abluftanlagen, durch die Kaminwirkung noch eine gewisse Saugwirkung zur Verfügung steht, die eine Strömungsumkehr in den Handschuhkästen verhindert.

### 2.2.3 Sonderfälle

In Anlagen, in denen mit dem Auftreten von Säuredämpfen zu rechnen ist, z.B. in Stickstoff-Reinigungsanlagen und Beizbädern kommen säurebeständige Aerosolfilter zum Einsatz. Bei diesen Filtern bestehen die gewellten Abstandshalter des Filtermediums aus Kunststoff.

Eine interessante Verwendungsmöglichkeit der Handschuhkasten-Aerosolfilter ist beim Abscheiden von Ölnebel gegeben. Der Gasförderstrom von Vakuumpumpen soll aerosolfrei in das Handschuhkasten-Abluftsystem geleitet werden. Hierbei wird dem Aerosolfilter ein Polypropylen-Faserschichtfilter als Vorfilter vorgeschaltet, der 97 Volumenprozent der Teilchen bis zu 1 um Größe abscheidet. Der Faserschichtfilter ist in einem Klarsichtgehäuse untergebracht, aus dem dann in Zeitabständen das abgeschiedene Öl abgelassen werden kann.

Mit dieser Anordnung wird verhindert, daß sich der im Abgasstrom der Vakuumpumpen enthaltene Ölnebel in den Aerosolfiltern der 2. Filterstufe niederschlägt und zu einer vorzeitigen Belegung der Filter führt.

## 3. Durchgeführte Verbesserungen

### 3.1 Änderungen am Strukturmaterial

Die Dichtungen der in den Jahren 1962 - 65 angelieferten Filter - Vorfilter wie auch Aerosolfilter - entsprachen in keiner Weise unseren Anforderungen. Sie zeigten an den Eckpunkten breite Schlitzte, waren zu lang oder zu kurz und konnten bei Einschieben in das Filtergehäuse sehr leicht beschädigt werden. Außerdem waren sie teilweise so unzulänglich aufgeklebt, daß die zugehörige Dichtfläche im Filtergehäuse nur unvollkommen bedeckt wurde.

Nach Durchführung entsprechender Versuche verwendeten wir dann zugunsten einer zuverlässigen Abdichtung und eines problemlosen Filterwechsels, eine Mossgummirahmendichtung mit geschlossener Außenhaut aus Neoprene, ausgebildet als Flach- oder Halbrundprofil, mit vulkanisierten Stoßstellen, nahtlos fest auf den Dichtrahmen der Filterzelle aufgeklebt.

Die Rahmen der Vorfilter waren anfänglich aus so dünnem Blech gefertigt, daß sie dem Anpreßdruck im Filtergehäuse nicht standhalten konnten. Außerdem war der Verguß des Filtermediums im Rahmen entweder überhaupt nicht vorhanden oder zu schwach, sodaß es in Verbindung mit einer zu geringen Faltenzahl des Glasfasergewebes, häufig zu Filterdurchbrüchen und damit zum Unwirksamwerden des Filters kam.

Auf unsere Veranlassung hin erfolgte sodann eine Verstärkung des Metallrahmens und Erhöhung der Faltenzahl.

Durch eine Verdichtung des Glasfaservlieses und den Einbau von Metallstreben, sowie in Verbindung mit einem umlaufenden, starken nahtlosen Verguß konnten daraufhin Filterdurchbrüche ausgeschlossen werden.

Starke Unebenheiten an den Dichtrahmen der Filtergehäuse machten einen einwandfreien Sitz der Filterrahmendichtung unmöglich.

Sämtliche Dichtrahmen mußten daher nachgespachtelt und abgeschliffen werden. Die Kontrolle auf eine ebene Dichtfläche erfolgte mittels eines Tuschiertests. Hierbei wird durch Tuschieren der Dichtfläche des Filtergehäuses und Anpressen einer speziellen Filterdichtung, ein Abdruck gewonnen, der eine ausreichende Aussage über die Güte der Dichtfläche zuläßt.

### 3.2 Dichtheit von Filtermedium und Filterdichtung

#### 3.2.1 Prüfung vor Inbetriebnahme

Sämtliche Aerosolfilter der Sonderstufe S werden vor dem Einbau mittels einer Paraffin-Ölnebel-Prüfapparatur einem visuellen Ölfadentest unterzogen, um Fertigungsfehler oder Transportschäden festzustellen. Filter, die Ölnebelfäden zeigen, haben den Test nicht bestanden und werden als nicht der Gruppe "Sonderstufe S" zugehörig anderweitig eingesetzt.

#### 3.2.2 Prüfung während des Betriebes

Es war und ist unbefriedigend Aerosolfilter mit einem sehr hohen Abscheidegrad in Anlagen einzubauen und anschließend keine weiteren Aussagen mehr über die effektive Filterwirksamkeit zu erhalten. Die Wirksamkeit der Filter nach dem Einbau in die Filtergehäuse hängt dabei in erster Linie von dem einwandfreien Sitz der Filterdichtung im Gehäusedichtrahmen ab.



Wir haben uns daher an der Entwicklung einer kontinuierlich arbeitenden Meß- und Prüfeinrichtung beteiligt, die es gestattet von außen den Dichtsitz des eingebauten Aerosolfilters im Gehäuse, ohne Betriebsunterbrechung, zu kontrollieren. Bei diesem Verfahren wird eine in der Mitte des Gehäusedichtrahmens angeordnete Ringnut als Meßkammer verwendet, die durch eine Leitung, mit einem außerhalb des Filtergehäuses befindlichen Blasenzählrohr (Gasometer), verbunden ist. Eine Sperrflüssigkeit trennt die direkte Verbindung der Meßkammer mit der Außenatmosphäre.

Undichtigkeiten zwischen der Ringnut und der Filtrerrahmendichtung gleichgültig von welcher Seite, bauen in der Ringmeßkammer einen Unterdruck auf. Dieser ist kleiner als der Betriebsunterdruck, muß aber groß genug werden, um den Widerstand der Sperrflüssigkeit zu überwinden damit Außenluft in Form von Blasen (ca. 6 mm Ø) in die Ringkammer gelangen kann. Die Luftblasenhäufigkeit pro Zeiteinheit stellt das Dichtheitsmaß der Filterdichtung dar.

Mehrere Filtergehäuse mit einer derartigen Dichtsitz-Prüfeinrichtung sind seit Jahren im Institut störungsfrei in Betrieb. In allen Fällen zeigte sich, daß das Maß an Dichtheit im Laufe der Jahre nicht abgenommen hat, vielmehr teilweise noch gestiegen ist.

#### 4. Standzeiten der Aerosolfilter

Die Standzeiten der Aerosolfilter der Handschuhkästen sind identisch mit der Standzeit der Handschuhkästen selbst, die teilweise länger als 12 Jahre in Betrieb sind.

Die Standzeit der übrigen Aerosolfilter liegt im Bereich der Werkstätten und Umkleieräume bei 3 Jahren, im Bereich der Heißen Laboratorien und Heißen Zellen bei 5 Jahren. Die vor diesen Aerosolfiltern angeordneten Vorfilter werden dagegen jährlich gewechselt.

Ganz allgemein kann gesagt werden, daß der Zeitpunkt des Filterwechsels weniger vom Erreichen des höchst zulässigen Differenzdruckes abhängt, vielmehr durch die Grenzen der Leistungsreserven der regelbaren Abluftventilatoren bestimmt wird.

Für die in speziellen Anlagen, z.B. Inertgasanlagen, eingebauten Aerosolfilter, können hinsichtlich der Standzeit keine verbindlichen Angaben gemacht werden. Je nach Einsatzort und Betriebsbedingungen ergeben sich Standzeiten zwischen einem Jahr und zehn Jahren.

## 5. Schlußbemerkung

Um den heute erreichbaren hohen Standard bei der Herstellung von Aerosolfiltern hoher Abscheideleistung auch voll für die Abluftreinigung kerntechnischer Anlagen ausnutzen zu können, müssen zuvor einige Grundbedingungen erfüllt sein.

Grundvoraussetzung für die Funktionsfähigkeit der Aerosolfilter selbst, ist ein stabiler und dichter Aufbau des Filterrahmens, des Filtermediums und der Filterdichtung, sowie selbstverständlich die Einhaltung des geforderten Abscheidegrades.

Die Filtergehäuse sind konstruktiv so auszulegen, daß die Filterrahmendichtung auch ständig einwandrei und ausreichend fest an der Gehäusedichtfläche anliegen kann.

Es sollte die Möglichkeit bestehen, die Wirksamkeit des Aerosolfilters nach dem Einbau in die Filtergehäuse zu beurteilen und zwar möglichst von außen ohne Betriebsunterbrechung. Dies kann z.B. durch kontinuierliches Messen des Leckluftstromes über die Filterdichtung hinweg, erfolgen.

Schließlich muß der Regelbereich der Abluftanlagen so ausreichend bemessen sein, daß der zulässige Differenzdruckbereich der Aerosolfilter auch tatsächlich ausgeschöpft werden kann.

Wenn diese Voraussetzungen erfüllt sind und Lagerung und Handhabung der Aerosolfilter sorgfältig vorgenommen werden, ist es ohne Schwierigkeiten möglich, einen sicheren und viele Jahre währenden Dauerbetrieb mit Aerosolfiltern hoher Abscheideleistung durchzuführen.

Letzte - wenn auch zu späte - Kontrolle der Wirksamkeit der Abluftfilterung ist schließlich die kontinuierliche Überprüfung der Kamin-Abluft auf eventuelle Zunahme der Radioaktivität.

Seit Inbetriebnahme des Transurane-Instituts im Jahre 1964 ist eine derartige Erhöhung der Radioaktivität, die auf ein Versagen der Aerosolfilter hätte schließen lassen, nicht eingetreten.

Zusammenfassung :

Es werden Erfahrungen beschrieben, die am Europäischen Institut für Transurane im Laufe von 12 Jahren mit dem Einsatz von Aerosolfiltern zur Zurückhaltung von radioaktiven Stäuben aus der Abluft von 600 Handschuhkästen, 25 Heißen Laboratorien und 20 Heißen Zellen gemacht wurden.

Insgesamt sind in diesem Institut 3100 Aerosolfilter im Einsatz, deren fehlerfreies Funktionieren erst nach Verwirklichung wichtiger Verbesserungen möglich wurde.

Diese betrafen: die Schaffung einer einwandfreien Dichtfläche im Filtergehäuse, das Anbringen einer nahtlosen, dauerelastischen Moosgummidichtung mit einer Außenhaut aus Neoprene und die Erhöhung der mechanischen Festigkeit der Filter.

Das Institut hat sich an der Entwicklung einer Meßeinrichtung zu ständiger Kontrolle der Dichtung von Filtern ohne Betriebsunterbrechung beteiligt.

Wenn der Regelbereich der Abluftanlagen so bemessen ist, daß der zulässige Differenzdruckbereich der Aerosolfilter ausgeschöpft wird, hat es sich gezeigt, daß Standzeiten der Aerosolfilter in Handschuhkästen von 12 Jahren erreicht werden können. Im Bereich der Werkstätten und Umkleideräume sind Aerosolfilter 3 Jahre, bei Heißen Laboratorien und Heißen Zellen 5 Jahre in Betrieb.

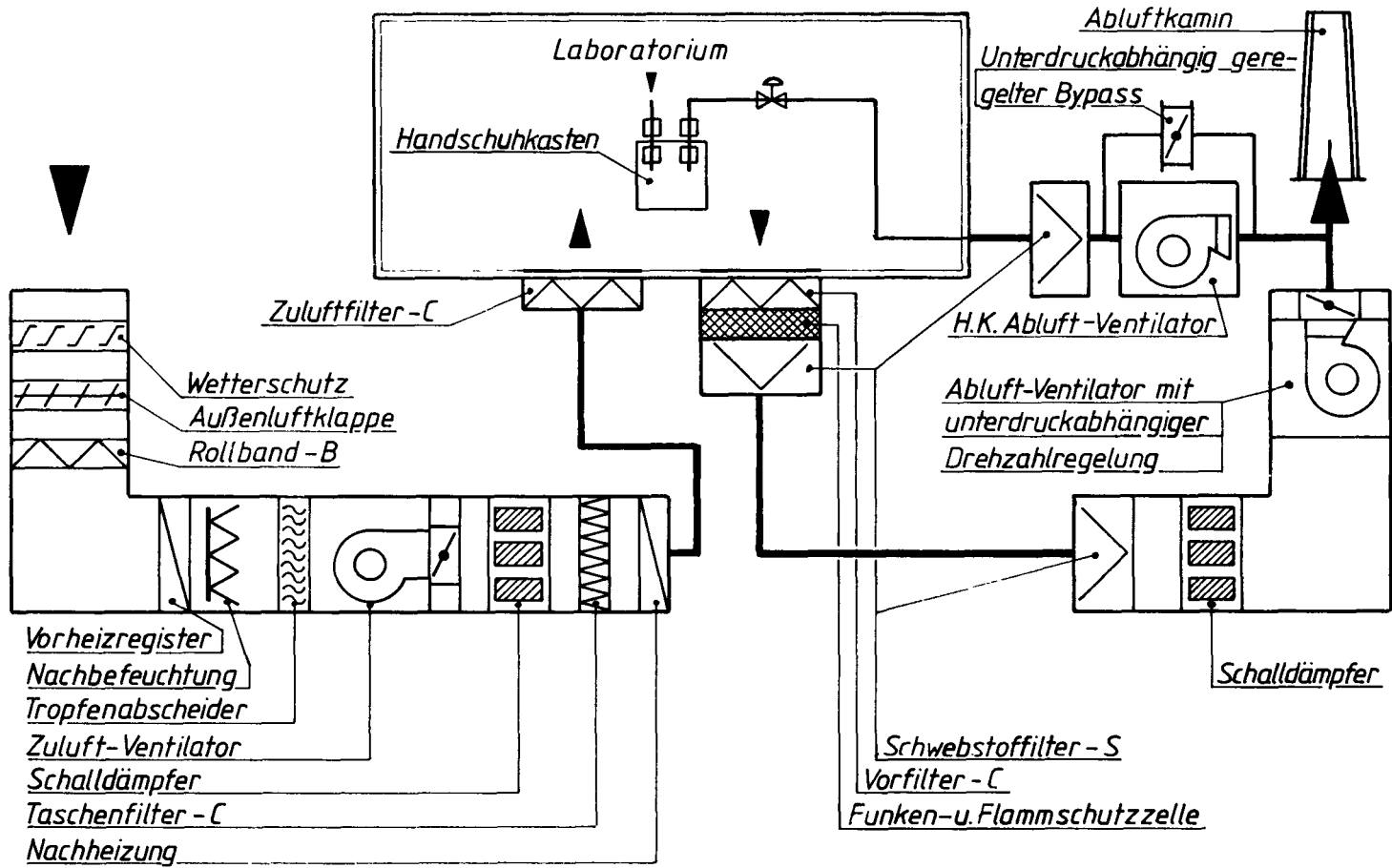


Abb. 1

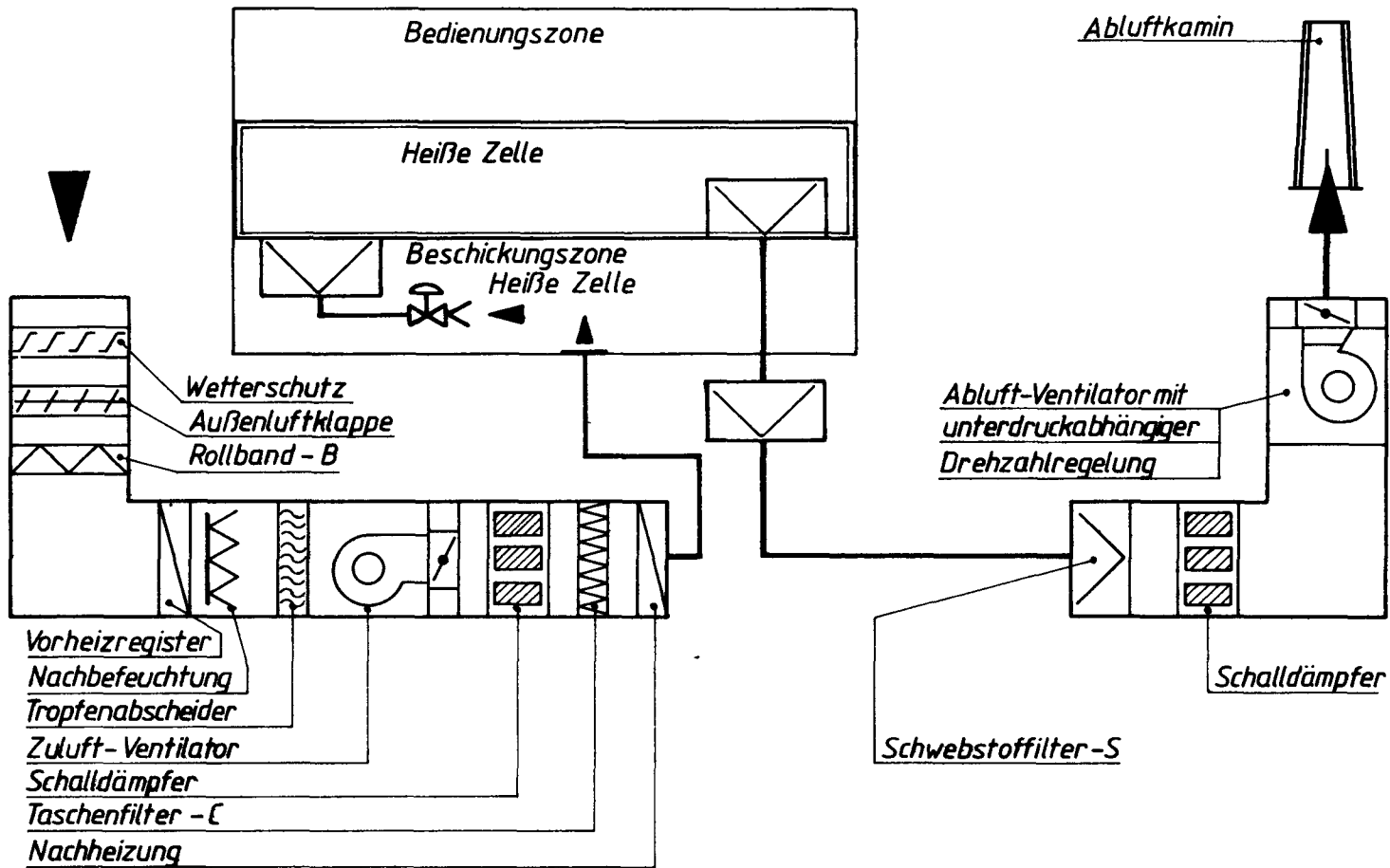


Abb. 2



PLUTONIUM AND URANIUM EMISSION EXPERIENCE  
IN U. S. NUCLEAR FACILITIES USING HEPA FILTRATION

N.A. Frigerio and R.S. Stowe  
Argonne National Laboratory  
Argonne, Illinois - U. S. A.

SUMMARY. The weekly, monthly and yearly emission experience of eleven U. S. nuclear facilities is presented, and reviewed. Each of these facilities uses HEPA filtration to control emissions, the various vent streams using from one to three such filtration systems in series. Available emission records cover from one to five vents at each facility, and cover periods ranging from two to eleven years. The majority of the facilities process plutonium, either exclusively or as mixed oxide, but a few process highly enriched uranium-235, natural uranium and/or thorium. Facilities include fuel fabrication plants, fuel reprocessing plants, and experimental facilities. The emission curves show clearly not only the normal operation of the filter systems, but also the effects of minor leaks, and of major failures, as well as the effects of retention of material in ducts and other passive parts of the filtration systems. An analysis is presented of the operation of such systems in real environments, and the non-Stokes Law behaviour of very dense particles is exemplified by experiments done with a non-radioactive tracer, whose crystal is isomorphous with those of plutonium and uranium dioxides, tungsten dioxide.

KURZFASSUNG. HEPA-FILTEREINSATZ UND PLUTONIUM- UND URANEMISSIONEN VON AMERIKANISCHEN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN. Erfahrungen hinsichtlich der wöchentlichen, monatlichen und jährlichen Emissionen in elf amerikanischen kerntechnischen Anlagen werden vorgelegt und diskutiert. In jeder dieser Anlagen werden HEPA-Filter zur Emissionsbeschränkung eingesetzt, wobei in den verschiedenen Abluftströmen ein bis drei in Reihe geschaltete HEPA-Filterssysteme benutzt werden. Die vorhandenen Emissionsaufzeichnungen erfassen eine bis fünf Abluftöffnungen in jeder Anlage und erstrecken sich über Zeiträume zwischen zwei und elf Jahren. In den meisten Anlagen wird Plutonium entweder in reiner Form oder als Mischoxid verarbeitet, in einigen wenigen jedoch hochangereichertes Uran-235, Natururan und/oder Thorium. Es handelt sich um Brennelement-Fabriken, Wiederaufarbeitungsanlagen für Brennelemente und Versuchseinrichtungen. Die Emissionskurven zeigen deutlich nicht nur den Normalbetrieb der Filtersysteme, sondern auch die Auswirkungen kleinerer Leckstellen und grösserer Störfälle sowie die Auswirkungen von Ablagerungen in Leitungen oder anderen passiven Teilen der Filtersysteme. Der Betrieb solcher Systeme unter tatsächlichen Betriebsbedingungen wird analysiert; ferner wird das nicht dem Stokeschen-Gesetz entsprechende Verhalten von Partikeln hoher Dichte an Hand von Versuchen mit einem nicht radioaktiven Tracer veranschaulicht, dessen Kristallstruktur gleich der von Plutonium-, Uran- oder Wolframdioxid ist.

RESUME. ENSEIGNEMENT TIRE DES REJETS DE PLUTONIUM ET D'URANIUM DANS LES INSTALLATIONS NUCLEAIRES AMERICAINES UTILISANT DES FILTRES A HAUTE EFFICACITE (HEPA). Le rapport tire la leçon des rejets hebdomadaires, mensuels et annuels de onze installations nucléaires américaines. Chacune d'entre elles utilise des filtres à haute efficacité (HEPA) pour limiter les rejets gazeux; les circuits de rejet comprennent chacun de 1 à 3 systèmes de filtre en série. Les données disponibles sur les rejets concernent de un à cinq circuits pour chaque installation et couvrent des périodes allant de deux à onze années. La plupart des installations traitent du plutonium, soit seul, soit sous forme d'oxyde

mixte, mais quelques unes traitent de l'uranium-235 hautement enrichi, de l'uranium naturel et/ou du thorium. Ces installations comprennent des usines de combustible, des usines de retraitement du combustible et des installations expérimentales. Les courbes de rejets montrent clairement non seulement le fonctionnement normal des systèmes de filtration, mais aussi les effets de fuites légères et de défauts importants, ainsi que les effets de rétention de matériaux dans les conduits et autres éléments passifs des systèmes de filtration. On a analysé le fonctionnement de ces systèmes dans leur environnement réel; le comportement des particules très denses s'écartant de la loi de Stokes est illustré par des expériences effectuées à l'aide d'un traceur non radioactif, le dioxyde de tungstène, dont les cristaux ainsi que ceux des dioxydes de plutonium et d'uranium sont isomorphes.



Introduction:

In the process of studying and assessing the environmental impacts of nuclear facilities, it quickly became evident that a major fraction of the total impact of nuclear power occurs at facilities separate from the reactor complex itself. Thus, mines, mills, conversion facilities, diffusion facilities, fuel fabrication, storage, reprocessing and recycle facilities, all figure prominently in the overall impact of the nuclear fuel cycle. Indeed, their overall impact may well be greater than that of the reactors themselves, at least at the present state of the art.

Because the majority of these facilities process radionuclides of the sort most likely to reach the environment in particulate phase, the HEPA filter train is often the most critical single element in emission control. However, even the more recent reviews of HEPA theory, and even experiment, show a marked discrepancy between what might be expected, and what is actually obtained in current industrial and governmental operations (1-6).

For particulate dispersions of the sort typified by U and Pu fuel operations one might expect penetrations for a single HEPA of the order of  $P = 1E - 06$  ( $P = 1 - \text{efficiency}$ ). And, for two or three HEPA's in series, of the order of  $P = 1E10$ , and  $P = 1E - 14$  respectively (1-6). Indeed, such values are observed under experimental conditions. But, measurements made at a number of U.S. facilities showed that real U and Pu facilities seldom even approached such values, at least as long term averages.

Some of this data is presented in Table I. The symbolism  $P(1)$ ,  $P(2)$ , and  $P(3)$  is used to represent penetrations across the first, second, and third HEPA filter respectively. Similarly,  $P(1,2)$  = across the first and second combined;  $P(2,3)$  = across the second and third combined; and  $P(1,2,3)$  = across all three. It is evident that values are generally much lower than those cited above, and that seemingly similar facilities differ widely in the values obtained.

Table I: Annual, Average HEPA Penetrations for Some U.S. Nuclear Facilities

Code	Facility		Radioactive Material	Penetration	
	Type			Type	Value
01	Experimental		Pu	P(1)	2E - 05
02	Experimental		Pu	P(2)	8E - 04
03	Experimental		Pu	P(2,3)	4E - 03
04	Reprocess		U, Pu	P(1,2,3)	2E - 06
05	Reprocess		U, Pu	P(1,2,3)	4E - 06
06	Reprocess		U, Pu	P(1,2,3)	2E - 06
07	Reprocess		U, Pu	P(1,2,3)	2E - 07
08	Fuel Fabrication		U, Pu	P(1,2,3)	2E - 07
09	Fuel Fabrication		U, Pu	P(1,2,3)	2E - 08
10	Fuel Fabrication		U, Pu	P(1,2,3)	1E - 07
11	Experimental Fuel		U, Pu	P(1)	2E - 05
12	Fuel Fabrication		U	P(1)	2E - 05

Release Histories:

Some of the reasons for this may be seen from the data represented by Figure 1. Here the monthly alpha particulate releases from a mixed-oxide ( $\text{PuO}_2$ ,  $\text{UO}_2$ ) fuel fabrication facility are plotted over its 79 months of operation. This facility was engaged in the fabrication of reactor fuel from reactor grade plutonium, and natural uranium. Because of the relative specific activities, and quantities, of the U and Pu used, the alpha activity was completely dominated by the Pu components. Full production of fuel pins was maintained during months 2-18, 31-45, and 47-67. Interim periods were used for cleanup and scrap recovery. A three-tier HEPA system was used throughout.

The most evident feature of the history of this facility is the complete dominance of total release by three peaks, those at 28, 47, and 53 months. Yet, only the peaks at 28 and 53 months could be identified with true filter failures. The peak at 47 months proved to be due to the coincidence of a high moisture level, at the intermediate and final filters, with a scrap recovery run. The soluble material from this was carried through the filters, along with the moisture, to dry and become airborne on the other side. Investigation of other, smaller, peaks showed

that the same moisture effect also accounted for a number of the other, smaller peaks.

In any case, the three major events accounted for 73% of all the material released over 79 months. Had the facility operated continuously at its baseline release levels (e.g. months 1-14, 24-27, 40-43 and 66-79), the total release would only have been about 5% of the actual value. About 22% of the total was the result of all of the smaller peaks seen. For these no filter failure could be detected, and levels returned to baseline without filter replacement or maintenance. These "episodes", while quite important in governing the overall release, arose from causes other than frank filter failure, e.g. the moisture effect, and were more than sufficient in themselves to dominate the baseline levels.

Although only partly evident on Figure 1, with its monthly scale, a detailed study of weekly, and sometimes daily, measurements showed a distinct holdup within the ducts of the ventilation system. Thus, after either frank failure, or release episode, the release rate from HEPA No. 3 declined slowly, showing a component with a half-life of the order of 3 weeks, and another with a half-life of the order of several months. That this was indeed due to holdup of Pu in the ductwork was confirmed by actual gamma ray location of the Pu along the ducts, and in its various bends and crannies. This was so evident that at least some of the episodes appeared to be due to sudden dislodging of Pu-bearing material from duct pockets lying between the filters, most probably between the primary and secondary ones.

Other episodes appeared to be correlated with scrap recovery, particularly the operation of the solvent exchange system. This may reflect the smaller particle size of dried U and Pu nitrates, as contrasted to the fairly large particles that characterized the insoluble mixed oxides in this particular facility (about 4 microns activity median aerodynamic diameter).

These effects may be the dominating ones for the fuel reprocessing facility whose alpha releases are shown in Figure 2. Again, Pu components dominated the total alpha release. But, unlike the mixed oxide facility, both U and Pu were almost exclusively in solution, generally as their nitrates.

Although this facility had operated for several years before month 0, only the last 66 months are shown. During this period Pu operations were protected by a three-tier HEPA system. The last reactor fuel was

processed in month 11. However, Pu scrap recovery and handling, fuel receipt and transfers, and decontamination efforts proceeded through month 66.

Again, major releases occurred not during operation of the primary function of the facility, (in this case fuel dissolution and separation, months 1-11), but during secondary operations. Unlike the mixed oxide facility, there were no failures during the entire period. Thus, in this case, all release episodes must necessarily be attributed to causes other than frank filter failure. However, experience at this facility, with its heavy throughput of Pu, suggested that at least some of these episodes were caused by cross contamination of ducts and HEPA frames during routine filter changes. And, since all of the U and Pu was always present in soluble form, moisture carry-over might well account for many of the others.

In any case, the total release was again dominated by these episodes. Had the facility operated at its baseline level (e.g. months 9, 11, 12, 27, 38-43 and 63-66) the total release after the last fuel run would have been less than 8% of the release actually observed. Again, as for the mixed oxide plant, detailed study showed a roughly exponential removal of Pu between episodes, strongly suggestive of Pu retention in ducts and crannies between the filters.

#### A Case History:

Another facility was studied in detail because it provided unusual opportunity for observing the actual day-to-day behavior of individual HEPA filters in a three-tier system. This facility fabricated mixed oxide fuel at a relatively low ratio of Pu to U, and provided continuous sampling for both Pu and U after the primary, secondary and tertiary HEPA filter systems. Its release history is shown in Figure 4. Again the baseline levels are dominated by sporadic episodes. Surprisingly Pu and U episodes are only roughly related in time, showing that noticeable discrimination can take place. Although this plant handled only PuO<sub>2</sub> and UO<sub>2</sub>, such discrimination is not as surprising as it might appear at first. Note that releases are given in terms of activity, not mass. Thus, one nanocurie of U represents about 1.6 mgm of UO<sub>2</sub>, but only about 10 nanograms of PuO<sub>2</sub>. Study of the Pu containing particles showed that most of them were predominately SiO<sub>2</sub>, suggesting that PuO<sub>2</sub> tends to attach itself to ordinary dust particles. This could be partly a simple consequence of coagulation effects (1), but could also be mediated by the much higher

probability of radiogenic ionization around PuO<sub>2</sub> particles, relative to UO<sub>2</sub>. Similar studies of the U-containing particles, on the other hand, showed them to be almost exclusively UO<sub>2</sub>.

Analysis of penetration data gave some more surprises. Especially when analyzed at the peaks of episodes the range of P values proved to be very wide, to differ noticeably for Pu and U, and to differ as well from secondary to tertiary HEPA, and for the combination. This is summarized in Table II.

Table II: Plutonium and Uranium Penetrations of Second and Third Stage HEPA Filters

Element	Penetration Type	Penetrations	
		Geometric Mean	Range
Pu	P(2)	1.0E-04	1.4E-03 - 2.0E-05
U	P(2)	4.7E-05	5.9E-04 - 1.1E-05
Pu	P(3)	6.0E-03	1.1E-02 - 1.2E-03
U	P(3)	8.1E-02	1.2E-01 - 1.2E-02
Pu	P(2,3)	7.0E-05	1.1E-03 - 5.6E-07
U	P(2,3)	1.5E-04	2.3E-02 - 9.8E-08

When we studied the 200 or so measurements made for each element, two curious patterns emerged. The ratio of P(2) Pu to P(2) U was always greater than one, and averaged 2.13. On the other hand, the ratio of P(3) Pu to P(3) U was always much less than one, and averaged 0.075.

Even more striking was the relationship of penetration to the measured concentration impinging on the upstream side of the filter, the so-called assault concentration. Invariably, the higher the assault concentration, the lower the penetration. Indeed, the relationship proved to be not only striking, but simply expressed as a logarithmic function. This is shown for Pu in Figure 4, but very similar curves were also obtained for U.

At the moment we are at a loss for an explanation of this phenomenon. One possibility is that any operating filter contains "holes", i.e. high penetration paths, that plug or load more easily when assault concentrations are high enough to bring such loading about. Alternatively, this effect may simply reflect operation of the particle coagulation effect (1), since this is known to increase rapidly with increasing concentration. In any case it is fortunate that the effect is in the direction that it is.

Thus, filter efficiency increases with increasing concentration so that failure of one stage tends to be partly compensated by an increased efficiency of the following stage. One would hardly want the reverse.

High Density Particles:

One aspect of HEPA filtration of Pu and U oxides is their extreme density, in the neighborhood of lead (11 gms/cm<sup>3</sup>). In our experience this leads to behavior not easily predictable from studies done on particles of much lower density. We have observed, for example, terminal velocities for these particles far in excess of those predicted by Stokes Law, even without correction for their non-spherical shapes. Thus, studies done with organic liquids (e.g. DOP, density 1.1 gms/cm<sup>3</sup>), or even inorganic salts (e.g. NaCl, density 2.17 gms/cm<sup>3</sup>), may often prove to be poor models for heavy element particles.

As an alternate, one can use the radioactive oxides of these heavy metals themselves. However, this is often either inconvenient, or even impossible, because of the necessary restrictions on such materials. As an alternative we have recently begun to use tungsten dioxide. It is not radioactive, its crystals are isomorphous with those of plutonium and uranium dioxides, and its density almost identical. Furthermore, it is easily determined by neutron activation analysis. Using epithermal neutrons, to reduce interference from such ubiquitous elements as Na and Mn, and a GeLi solid state detector, we have been able to use the W186 (n, gamma) W187 reaction to determine quantities as low as one picogram. Since tungsten dioxide is relatively easy to disperse at levels in the neighborhood of 1-100 kg assault on the first filter, overall penetrations of the order of 1E-12 to 1E-14 are easily measurable.

Conclusions:

(1) Releases of plutonium and uranium from U.S. nuclear facilities protected by multi-stage HEPA filtration are almost completely dominated not by the design basis operation of these systems, but by their compromise. Such a compromise is so frequent that their occurrence can only be properly called "normal", at least in the sense that they occur so often and so universally that they constitute the norm of actual operating experience.

(2) As a rough rule of thumb, the total releases caused by these occurrences are about twenty times the release that would have occurred

had the system operated at its baseline level.

(3) Developments in HEPA filtration over the last two decades have made frank filter failures the exception rather than the rule among these occurrences. More recent innovations, such as the V groove seal, have similarly reduced the incidence of leakage around the filter. As a result, releases are now coming to be dominated by modes of failure that are poorly understood, and as yet difficult to diagnose. We have been able to determine the mechanism of some of these occurrences, and to suggest possible mechanisms for others. Yet, on the whole, the majority of these occurrences remain something of a mystery. In addition, they tend to be intermittent, and to "heal" themselves without any corrective action being taken. This adds to the problem of diagnosis, because, by the time the release is detected, the filter system is generally returned to a normal condition and determination of the cause of the release is rendered extremely difficult, if not impossible.

(4) However, because the sum total of such releases is less than two orders of magnitude above the baseline, or design basis level, a simple remedy suggests itself. Simply add one more stage of HEPA filtration than the design basis analysis would indicate. Even under the poorest of conditions an additional stage will have a penetration smaller than 0.01. Thus, the use of four stages will insure that total release remains at design basis level even if one, or perhaps even two of the other filters fail. Thus, the fourth filter really serves only the purpose of being an emergency interceptor, forever on duty.

(5) An additional suggestion might also be made. Because the behavior of soluble plutonium and uranium salts is quite different from that of the insoluble oxides, particularly with respect to moisture, an additional protective device might be indicated wherever plutonium and uranium are handled in solution. This would take the form of a kind of prefilter composed of an alkaline drying agent, such as Soda Lime. Such a prefilter would serve to remove moisture and acid before they could reach the HEPA filter, and act as a mechanism for tunneling salts through it. At the same time, the alkaline nature of the prefilter would very rapidly convert soluble plutonium and uranium compounds to their extremely insoluble oxides and hydroxides. Because Soda Lime is very easily dissolved for reprocessing, such a prefilter would have the additional advantage that uranium and plutonium trapped by it could very easily be recovered and recycled.

(6) Other than that, the data we have gathered is more suggestive than conclusive. A number of fascinating effects have been found, for example the apparent increase of efficiency with increasing assault concentration. But, at the moment, most of these observations serve simply as a basis for future research into understanding the mechanisms of HEPA filtration, and its compromise.



References

- (1.) Seefeldt, W. B. et al., Characterization of Particulate Plutonium Released in Fuel Cycle Operations, Report ANL-75-78, Argonne National Laboratory, May 1976.
- (2.) U.S. Atomic Energy Commission Report CONF-740115, Los Alamos Scientific Laboratory, 1974.
- (3.) U.S. Atomic Energy Commission Report CONF-740807, San Francisco, 1974.
- (4.) Moeller, D. W., Problems in Air Cleaning Systems, Nuclear Safety 16:(4) 469-481 (1975).
- (5.) U.S. Atomic Energy Commission Report CONF-720823, Oak Ridge, Tenn., 1972.
- (6.) Ettinger, H. J., J. C. Elder and M. Gonzales, Performance of Multiple HEPA Filters, Report LA-5784-PR, Los Alamos Scientific Laboratory, November 1974.

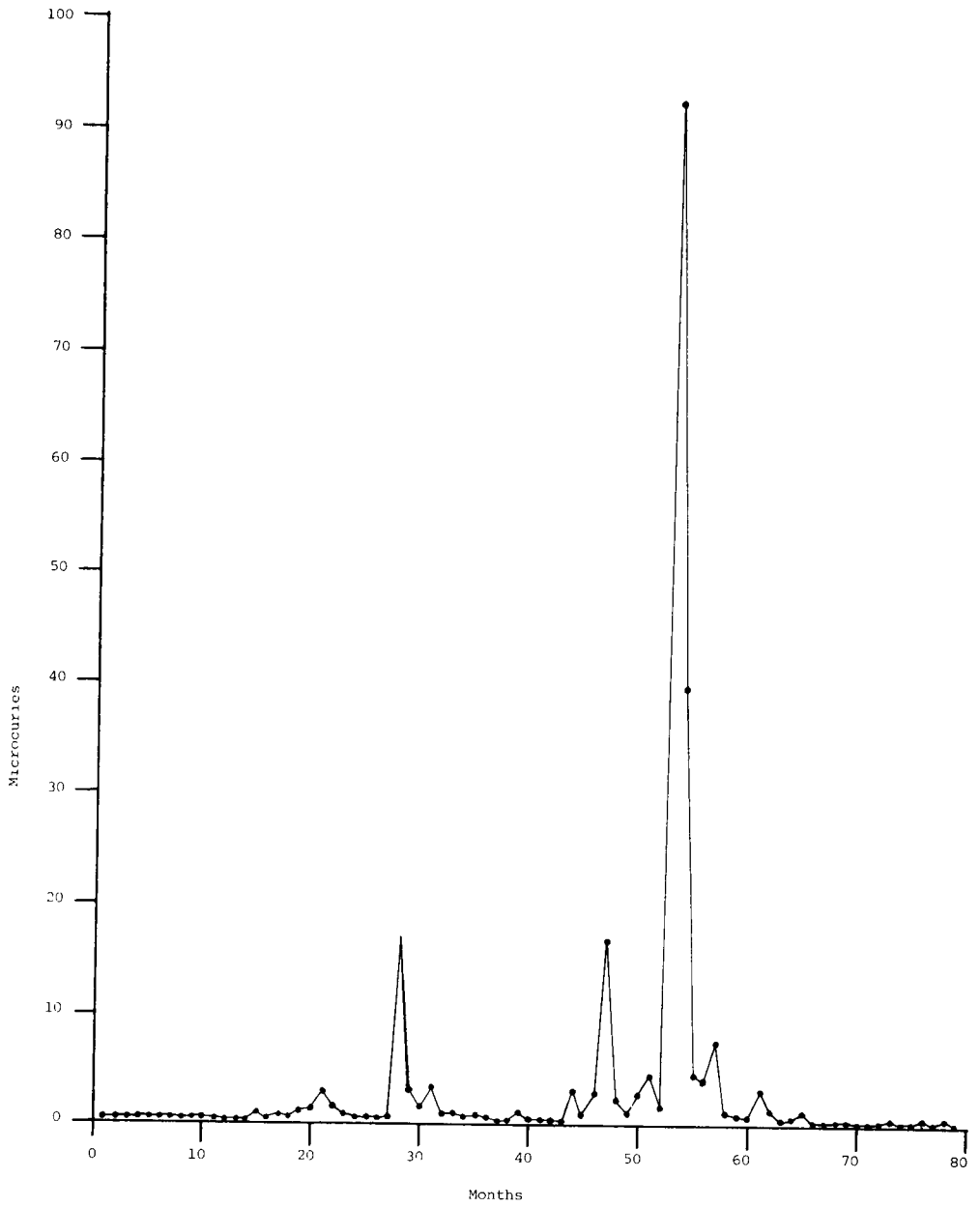
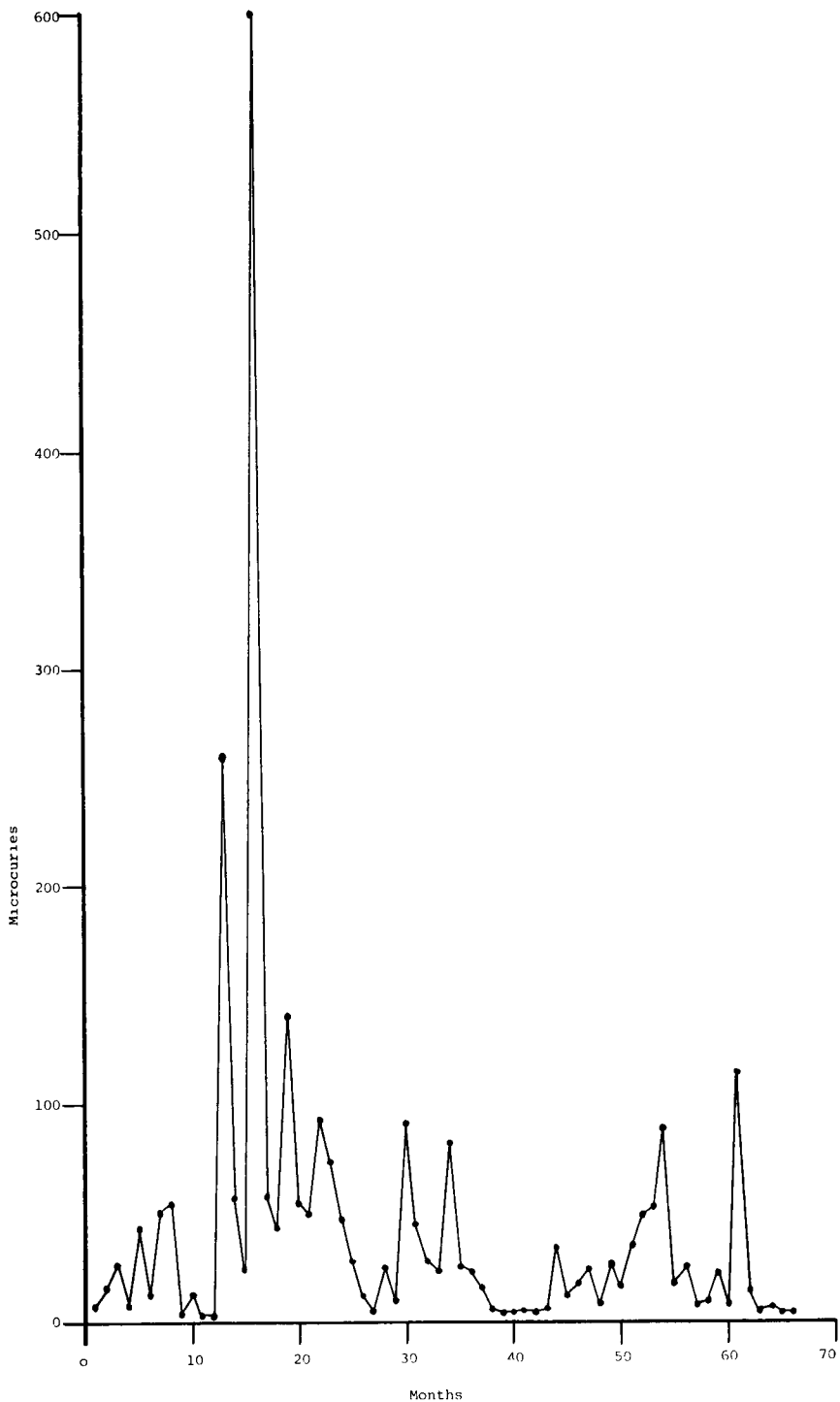
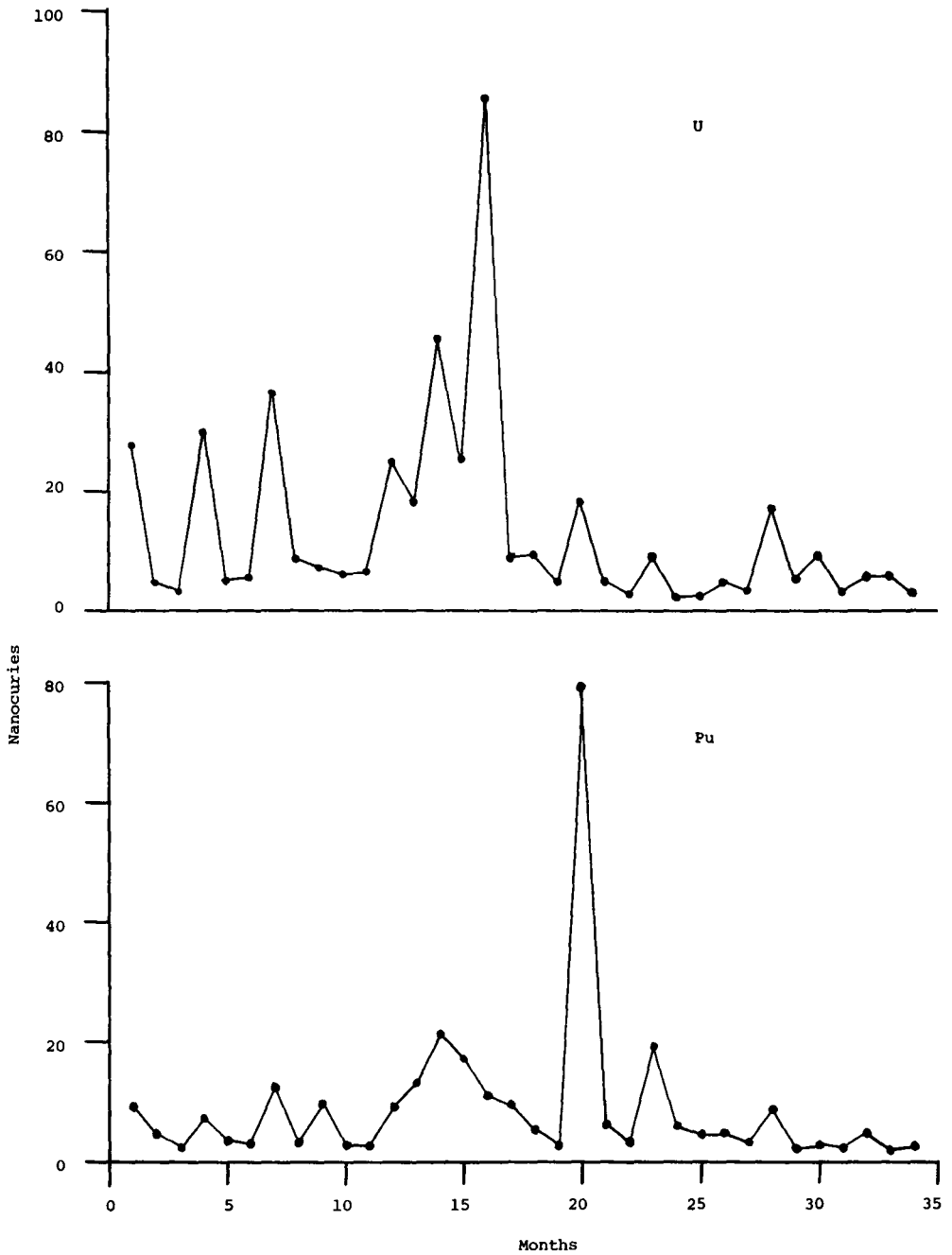


Figure 1: Alpha Particulate Release History of a Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility.



**Figure 2:** Alpha Particulate Release History of a Fuel Reprocessing Facility.



**Figure 3:** Plutonium and Uranium Release History of a Mixed Oxide Fuel Fabrication Facility.

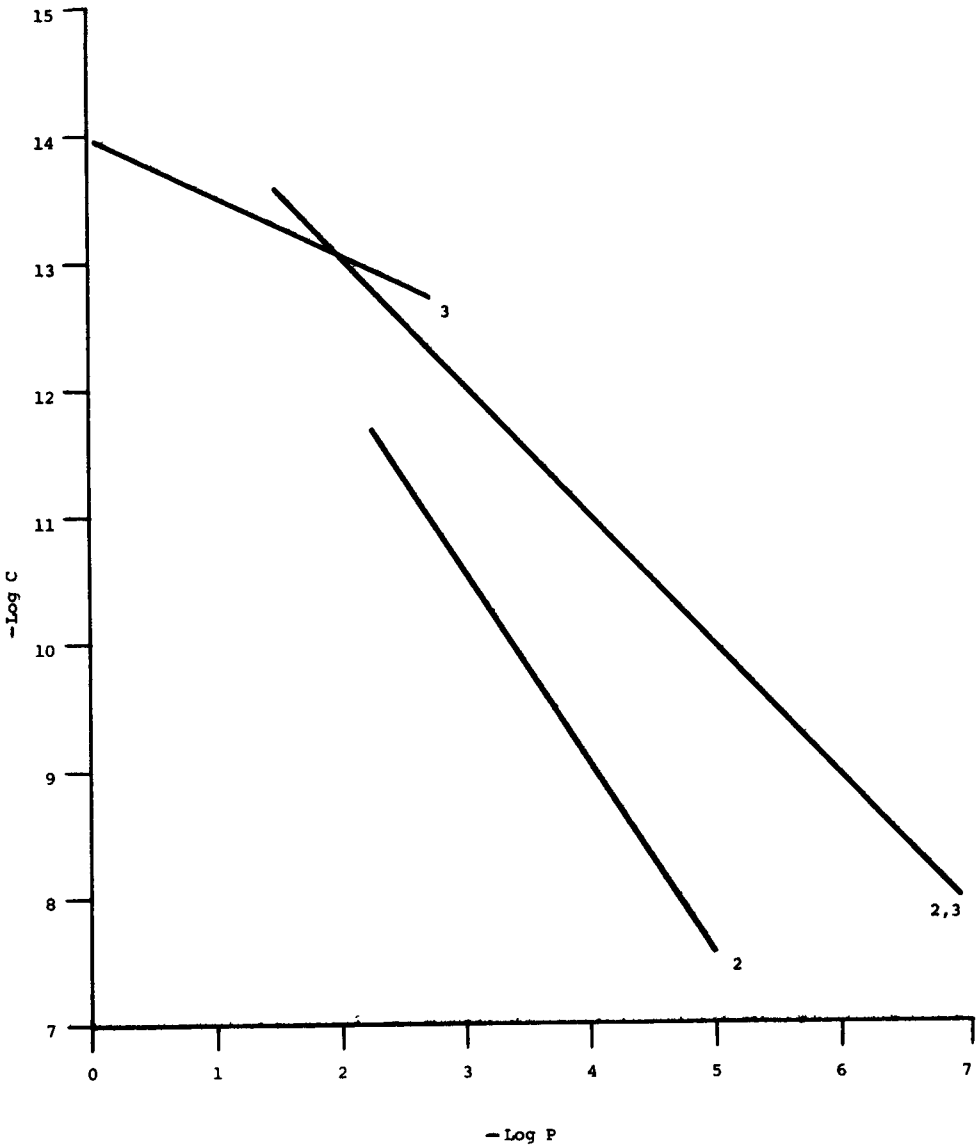


Figure 4: Penetration (P), as a Function of Plutonium Assault Concentration (C, in Ci/m<sup>3</sup>).



## AEROSOLFILTER IN ANLAGEN MIT HOHEM STRAHLENPEGEL

H. Staud

Gesellschaft für Kernforschung  
Karlsruhe - B. R. DEUTSCHLAND

**KURZFASSUNG.** In den Heissen Zellen in Karlsruhe wird die Fortluft der gamma-abgeschirmten Zellen zweifach mit Filtern der Sonderstufe "S" (610 x 610 x 292) gereinigt. Das erste Filter ist jeweils innerhalb einer Zelle vor dem Kanalanschluss, das zweite in einen Filterkasten angeordnet. Die Brandgefahr in den Zellen erfordert es, hochtemperaturbeständige Schwebstofffilter zu verwenden.

Diese Filter müssen in die Zellen geschleust sowie fernbedient in die Halterungen gebracht werden. An dem sehr spröden Kitt zwischen Filtervlies und Rahmen treten bereits bei geringen Stößen Risse und damit Leckstellen auf. Die geringe Elastizität sowie mechanische Festigkeit der Asbestdichtungen erschweren die Handhabung und führten wiederholt zu Undichtigkeiten an den Auflageflächen. Neben dem Einbau erfordert die Handhabung der beladenen Filter durch den relativ hohen Strahlenpegel erheblichen Aufwand.

Zur Behebung dieser Schwierigkeiten wurden mehrere Massnahmen vorgeesehen.

Die Asbestdichtungen wurden durch Gummi ersetzt. In verschiedenen Versuchen wurden Gummiprüben thermischen Belastungen ausgesetzt. Die verwendete Qualität erwies sich als geeignet für die bei einem Brand zu erwartende Wärmeeinwirkung, ebenso sind die bisherigen Erfahrungen mit der Strahlenresistenz zufriedenstellend. Für die Behandlung der beladenen Filter wird angestrebt, Elemente einzusetzen, die mit dem vorhandenen Doppeldeckelsystem in Norm-Abschirmbehälter gebracht werden können.

**SUMMARY. AEROSOL FILTERS IN FACILITIES WITH A HIGH RADIATION LEVEL.** In the Karlsruhe Hot Cells the exhaust air of the gamma-shielded cells is cleaned in two stages by special category "S" filters (610 x 610 x 292). The first filter is always installed in the cell before the header connection, the second in a filter housing. The fire hazard in the cells calls for the use of aerosol filters resistant to high-temperature. These filters must be introduced into the cells via air-locks and fixed in the support system by remote handling techniques. The least shock will cause cracks and, hence, leaks in the very brittle sealant between the filter material and the casing. The low elasticity and mechanical strength of the asbestos gaskets impedes manipulation and has repeatedly led to leakage at the contact faces. Handling the spent filters also involves considerable effort because of the relatively high radiation levels. Several steps have been taken to overcome these difficulties.

The asbestos gaskets were replaced by rubber. Rubber specimens were subjected to several temperature tests. The quality of rubber used in the tests proved to withstand adequately the heat to be expected in the case of fire and also previous experience of radiation resistance had been satisfactory. To facilitate handling of spent filters, elements are to be used which can be transferred to standard shielding flasks using the available double-lid system.

**RESUME.** FILTRES D'AEROSOLS DANS DES INSTALLATIONS A HAUT NIVEAU DE RAYONNEMENT. Dans les cellules chaudes de Karlsruhe, l'air extrait des cellules gamma blindées est épuré à deux reprises par des filtres du type "S" (610 x 610 x 292). Le premier filtre est situé dans la cellule avant le raccordement aux gaines, le second dans un caisson. Le danger d'incendie dans les cellules commande d'utiliser des filtres à aérosols qui résistent aux hautes températures.

Ces filtres doivent être introduits dans les cellules à travers un sas et fixés par télémanipulation sur leurs supports. Au moindre choc, des fissures provoquant des fuites apparaissent dans le mastic très friable entre le matériau filtrant et le cadre. La faible élasticité et la faible résistance mécanique des joints en amiante compliquent la manipulation et ont provoqué à plusieurs reprises des fuites aux surfaces de contact. En outre, la manipulation des filtres usés est très délicate en raison du niveau de rayonnement relativement important.

Pour venir à bout de ces difficultés, plusieurs mesures ont été prises. Les joints en amiante ont été remplacés par du caoutchouc. Les échantillons de caoutchouc ont subi plusieurs essais de sollicitation thermique. La qualité utilisée s'est avérée résister à la chaleur provoquée par un incendie; jusqu'ici l'expérience montre que la résistance au rayonnement est aussi satisfaisante. Pour la manipulation des filtres usés, on s'efforce d'utiliser des éléments pouvant être introduits dans des conteneurs blindés normalisés par le système existant à double porte.



### Anlagenbeschreibung

An Aerosolfilter in Anlagen mit hohem Strahlenpegel bei gleichzeitig großer offener Radioaktivität werden bereits durch die Einsatzbedingungen höchste Anforderungen gestellt. Die Anwendung der Überwachungsverfahren, die Filterwechsel und die Beseitigung der verbrauchten Filter sind dabei besonders schwierig. In den Heißen Zellen der Gesellschaft für Kernforschung Karlsruhe sind seit etwa 10 Jahren Aerosolfilter unter diesen Bedingungen im Einsatz. In dieser Anlage werden Untersuchungen an Brennelementen für Schnelle Brüter durchgeführt. Durch den hohen Abbrand bei gleichzeitig hohem Pu-Anteil treten in den Zellen sowohl hohe  $\alpha$ - als auch  $\beta$ - $\gamma$ -Raten auf.

Das Kernstück der Anlage sind fünf  $\alpha$ -dichte Betonzellen, die für  $\gamma$ -Aktivitäten bis zu  $10^7$  Ci ausgelegt sind. Die folgenden Ausführungen sollen über die Betriebserfahrungen mit der Filterung der Abluft aus diesen Zellen informieren.

Die Belüftung der Zellen erfolgt über eine für das Gesamtgebäude vorhandene Zuluftanlage, die mit HEPA-Filtern der Abmessungen  $610 \times 610 \times 292$  mm und  $1700$  m<sup>3</sup>/h Nenndurchsatz bestückt ist. Die Abluft wird über zwei Filterstufen, die mit Filtern der gleichen Ausführung ausgerüstet sind, zum Kamin geführt. Die Filter der ersten Stufe sind innerhalb der Zellen in Arbeitstischhöhe an den Zwischenwänden angeordnet. Die Strömungsrichtung ist horizontal. Für Differenzdruckmessungen sind U-Rohrmanometer vor Ort installiert. In dieser ersten Stufe wird die Luft zu 99,997 % dekontaminiert. Die Radioaktivität, die sich in den Filtern ansammelt, bleibt innerhalb der Zellen und erübrigt zusätzliche Abschirmungen für Filterkästen und Kanalstrecken.

Die Filter der zweiten Stufe sind in Filterkästen vor den Abluftgebläsen angeordnet, sie werden vertikal von unten nach oben durchströmt. Für Differenzdruckmessungen sind U-Rohrmanometer vor Ort und Instrumente im Steuerschrank der Lüftungsanlage angeordnet. Bei eventuell auftretenden Schäden an den Filtern in den Zellen muß diese zweite Stufe die Dekontamina-

tion der Abluft sicherstellen.

In den Zellen können durch Selbstentzündung von Plutonium, metallischen Kühlmitteln und dessen Verbindungen Brände entstehen, die auch zu hohen thermischen Belastungen der Filter führen. Um die sichere Dekontamination der Abluft im Falle eines Brandes zu gewährleisten, werden in der Anlage hochtemperaturbeständige Filter verwendet.

#### Filterstufe 1:

Die hochtemperaturbeständigen Filter werden vor dem Einsatz mit dem Ölfadentest geprüft. Für die routinemäßige Überwachung der Filterdurchlässigkeit wird der Differenzdruck an den Filtern gemessen. Die Filterdichtungen und der Gesamtzustand werden visuell kontrolliert. Weitergehende in-situ-Prüfungen sind in den Zellen, d.h. in der 1. Stufe mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden.

Jedes neue Filter wird durch die Handhabung in den Zellen bereits allseitig leicht kontaminiert eingesetzt. Hierbei werden die Abluftanschlüsse kurzzeitig geöffnet, so daß Kontamination in die Kanäle gelangen kann. Nach achtjährigem Betrieb haben sich an den Kanalinnenwänden ca. 10 Meter hinter den Filtern  $1 \times 10^{-2}$  bis  $1 \times 10^{-1}$   $\mu\text{Ci}/\text{cm}^2$  abgelagert. Bei der ersten Filterstufe kann deshalb nur bedingt von einer Reinluftseite gesprochen werden.

#### Filterstandzeit

Die Kriterien für die Standzeit dieser Filter sind der max. zulässige Differenzdruck, die visuell festgestellten Undichtigkeiten, bzw. der zeitliche Verlauf der Differenzdrücke, sowie die Dosisleistungen an den Filtern. Die zulässigen Differenzdrücke von 100 mm WS (10 m bar) wurden bisher nie erreicht. Undichtigkeiten an den Gummidichtungen, die durch dunkle Streifen erkennbar werden, ließen sich in der Regel durch Nachziehen der Spannvorrichtungen beseitigen. Größere Leckstellen an den Filtern sind bisher nicht aufgetreten.

Entscheidend für Filterwechsel war die Dosisleistung an den

Filtern, in geringem Umfang Undichtigkeiten. Für die weitere Handhabung der verbrauchten Filter wurden maximal 5 R/h, im Kontakt gemessen, zugelassen. Diese Werte wurden nach etwa 2 Betriebsjahren erreicht, wobei der Differenzdruck auf 30 mm WS (3 m bar) anstieg. Die Filter mit 5 R/h waren an den ungünstigsten Positionen eingesetzt, das sind Arbeitsplätze, an denen offener Brennstoff gehandhabt wird. Mit der Anfertigung eines abgeschirmten gasdichten Schleus- und Transportbehälters konnte die radioaktive Beladung und damit die Standzeit wesentlich erhöht werden. Einzelne Filter sind bereits fünf Jahre in Betrieb und weisen 50 mm WS Differenzdruck auf.

#### Filterwechsel

Neben den Kosten für die Filter ist deren Standzeit von großer Bedeutung für die Wechseltechniken. Die geprüften, mechanisch sehr empfindlichen Filter werden durch die Deckenluken in die Zellen transportiert und von Schwerlastmanipulatoren mit Hilfe eines Gehänges übernommen. Bei der Positionierung muß der Kanalanschluß zur Lüftungsanlage für kurze Zeit geöffnet werden. Um die Kontamination durch die Luftbewegung möglichst niedrig zu halten, werden für diesen Zeitraum die entsprechenden Kanäle durch Schieber von der Lüftungsanlage getrennt.

Die verbrauchten Filter werden durch die Deckenluken aus den Zellen geschleust und in gasdichten Behältern über eine Zwischenstation der Endlagerung zugeführt.

Überlegungen, diese Filterstufe außerhalb der Zellen in abgeschirmten Kästen anzuordnen, wurden zurückgestellt, da in-situ-Prüfungen und wirtschaftlich vertretbare gasdichte Wechseltechniken, die sich für diese Betriebsbedingungen eignen, nicht bekannt sind.

#### Filterstufe 2:

Durch die schwierigen Betriebsbedingungen in den Zellen ist der Wirkungsgrad der 2. Filterstufe von entscheidender Bedeutung für die Dekontamination der Abluft.

Die in Filterkästen angeordneten Filter werden vor dem Einsatz ebenfalls einem Ölfadentest unterzogen und im Betrieb visuell sowie über die Differenzdrücke kontrolliert. Die bei der Erstellung der Anlage vorgesehenen Tuschiertests zwischen den Dichtleisten der Filter und deren Auflageflächen erwiesen sich als nicht durchführbar. Ein Grund war die Ansammlung von radioaktiven Partikeln, im Rohluftbereich der Filterkästen. Außerdem mußten die Kästen für eine neue Sackwechseltechnik umgebaut werden.

Die Abscheidewirkung dieser Filter wird indirekt über die Aktivitätsüberwachung in der Abluftanlage kontinuierlich geprüft. Es sind Meßkanäle für die einzelnen Abluftgruppen und die Gesamtabluft installiert. Alle Meßwerte werden von Schreibern aufgezeichnet.

#### Filterstandzeit:

Für die Filterstandzeiten der 2. Stufe gelten die gleichen Kriterien wie für die Stufe 1.

Bei der 2. Stufe waren es ansteigende Aktivitätswerte in der Abluft, die wiederholte Filterwechsel erforderten. Nach 1 Betriebsjahr mußten die ersten Filter gewechselt werden. Die Ursache für die Radioaktivität in der Abluft waren Leckstellen in den hochtemperaturbeständigen Filtern. Diese Schwierigkeiten veranlaßten uns bereits 1968, jedes neue Filter vor dem Einbau mit dem Ölfadentest prüfen zu lassen. Außerdem wurden die vom Filterhersteller gelieferten Asbestdichtungen durch Gummidichtungen ersetzt. Die Standzeit der Filter konnte so auf 3 Jahre verbessert werden. Die zur Zeit eingesetzten Filter sind bereits 5 Jahre in Betrieb. Der Differenzdruck hat 45 mm WS (4,5 m bar) erreicht. An diesen Filtern verursachte die Beladung mit Radioaktivität Dosisleistungen bis zu 3 mR/h, an der Filteroberfläche gemessen.

#### Filterwechsel:

Die Filterwechsel werden mit der bekannten Sackwechseltechnik durchgeführt. Durch die relativ geringen Dosisleistungen an den Filtern sind keine Abschirmmaßnahmen erforderlich. Die

Kästen der zu wechselnden Filter werden mit gasdichten Klappen von der Lüftung getrennt und der Druckausgleich über Belüftungsanschlüsse hergestellt. Trotz der Kontamination im Kanalsystem und dem Rohluftbereich der Filterkästen ist bisher keine nachweisbare Radioaktivität im Zusammenhang mit Filterwechseln in die Abluft gelangt.

#### Filterüberwachung:

Radioaktivität in der Abluft wird von der bereits genannten Überwachungsanlage gemessen. An jedem Meßkanal für die Gesamtabluft sind 2 Grenzwertschwellen eingestellt. Wird die erste Schwelle überschritten, so wird die Lüftungsanlage mit einer Verzögerung von 30 Minuten abgeschaltet. Diese Zeit kann genutzt werden, um Störungen zu beheben. Bei dem höheren Schwellenwert wird die Gebäudelüftungsanlage ohne Verzögerung abgeschaltet. Mit dem Schließen der Abluftklappen wird die Ausbreitung der Radioaktivität durch das Kamin verhindert. Alle Grenzwerte resultieren aus der zulässigen Emissionsmenge radioaktiver Stoffe für die Heißen Zellen.

Bis jetzt sind keine Schäden an Filtern aufgetreten, die diese Sicherheitsschaltung ausgelöst hätten. Durch umfassendere in-situ-Prüfungen würden jedoch Mängel frühzeitig erkannt und könnten behoben werden, ohne Betriebsstörungen auszulösen.

Bei dem vorhandenen Aufbau der 2. Filterstufe muß bei defekten einzelnen Filtern jeweils die ganze Gruppe gewechselt werden. Versuche, defekte Filter zu lokalisieren, verliefen ohne Erfolg. Die hierfür erforderlichen Messungen können mit der Abluftüberwachungsanlage nicht kurzfristig durchgeführt werden. Der Kontaminationsanstieg in der Abluft verursacht Ablagerungen radioaktiver Partikel in den Ansaugleitungen der Überwachungsanlagen, die sich nur über längere Zeiträume wieder abtragen. Die dadurch erhöhten Nullpegel verfälschen die Meßwerte und verhindern genaue Aussagen über den Abscheidegrad der Filteranlage bzw. die Auswirkung des Wechsels einzelner Filter. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor resultiert daraus, daß es in der Regel nicht möglich ist, Änderungen der

Luftkontamination vor den Filtern zu messen.

Im Rahmen einer Sanierung der Lüftungsanlage werden z.Zt. die Gehäuse für diese zweite Stufe durch Filtergehäuse des Types "Nuclear Karlsruhe" ersetzt. Sie ermöglichen in-situ-Prüfungen mit dem visuellen Ölfadentest. Dieser Filtergehäusotyp ist in einem anderen Abluftbereich der Heißen Zellen bereits eingesetzt.

#### Filterausführungen:

Bei der Inbetriebnahme der Zellen wurden geprüfte Filter eingesetzt, die max. 540°C aushalten sollten. Diese Filter wiesen schon im Neuzustand hohe Ausfallquoten durch Leckstellen auf, die zu 70 % an der Vergußmasse auftraten. Ebenso genügten die Asbest-Lagen-Dichtungen auf den Filterrahmen nicht den Anforderungen. Die geringe mechanische Festigkeit der Dichtungen führte zu Beschädigungen bei der Handhabung der Filter mit Manipulatoren. Durch die mangelnde Elastizität und die Faserstruktur entstanden Undichtigkeiten zwischen Auflageflächen und Rahmen. In den Filterkästen blieben beim Wechsel Asbestreste auf den Dichtflächen haften. In Übereinstimmung mit dem TÜV wurden die Asbestdichtungen durch Moosgummi mit Haut ersetzt.

Proben dieser Gummiqualität wurden in mehreren Versuchen höheren Temperaturen ausgesetzt. Bei 300°C trat nach 20 Min. keine Beeinträchtigung der Dichtungsfunktion auf. Dieses Versuchsergebnis konnte akzeptiert werden, da nur mit punktuellen Bränden vor der ersten Filterstufe gerechnet werden muß und in der Umgebung der Dichtungen durch die Stahlauskleidung der Zellen genügend Wärme abfließt. Außerdem können Brände in dieser Zeit mit den vorhandenen Löscheinrichtungen unter Kontrolle gebracht werden.

Durch den Einsatz neuerer Filterausführungen mit dauerelastischen Silikon-Kautschuk-Dichtungen wurde die Sicherheit weiter verbessert. Nach Angaben der Herstellerfirma können diese Filter mehrere Stunden Temperaturen von 300°C ausgesetzt werden. In Versuchen wurde die Temperaturbeständigkeit der Dichtungen getestet. Bei 400°C und einer Stunde Versuchs-

zeit traten keine Schäden auf. Diese Filter haben auch den Ölfadentest zu 100 % bestanden.

Weiterentwicklung:

Wie bereits ausgeführt werden die Standzeiten der Filter in den Zellen durch die Beladung mit Radioaktivität begrenzt.

Mit dem Einsatz eines abgeschirmten Wechsel- und Transportbehälters für die Filter mit den Maßen 610x610x292 mm konnte die zulässige Dosisleistung an den Filtern um den Faktor 5 und eine entsprechende Verlängerung der Standzeit erreicht werden. Für die Endlagerung werden abgeschirmte Spezialbehälter verwendet, die üblichen Rollreifenhäuser sind im Durchmesser zu klein. Um die Rollreifenhäuser für die Endlagerung verwenden zu können, müßten die Filter in einem als Zwischenstation eingerichteten Dekontaminationsbetrieb zerkleinert werden. Hierbei würden jedoch große Anteile der Radioaktivität auf die Abluftfilter dieser Anlage übertragen.

Als Weiterentwicklung dieser Technik wird angestrebt, Filter zu verwenden, die mit den vorhandenen Entsorgungseinrichtungen der Zellen transportiert werden können. Hierzu steht ein ausgereiftes Doppeldeckelschleusensystem mit den zugehörigen abgeschirmten Transportbehältern zur Verfügung.

Unter dieser Voraussetzung könnten die Standzeiten der Filter, soweit sie durch die auftretende Dosisleistung begrenzt sind, entscheidend verlängert werden. Die Endlagerung ließe sich mit den üblichen Rollreifenhäusern durchführen. Die hierfür erforderlichen Filter müßten entsprechend den Abmessungen der Schleusen, mit einfachen Greigwerkzeugen zerlegbar sein.

Eine weitere Reduzierung der Abfallvolumina wäre durch Verdichtung möglich. So könnten Schleusen mit relativ kleinen Durchmessern benutzt und Kosten für die Endlagerung verringert werden.

Diese Entwicklung dürfte auch für Anlagen mit vergleichbaren Einsatzbedingungen von Interesse sein.

Ich danke Ihnen für die Aufmerksamkeit.



SOME EXPERIENCE IN HEPA FILTRATION AT DERE AND AWRE

E. Lillyman  
DERE (\*)

Dounreay - UNITED KINGDOM

H. A. S. Bristow

AWRE (\*\*)

Aldermaston - UNITED KINGDOM

**SUMMARY.** The Dounreay experimental reactor establishment has now been in operation for 20 years, mainly concerned with operation of an experimental fast reactor and the supporting fuel cycles. In this period highly enriched uranium metal fuel elements have been fabricated, irradiated, examined at very short cooling times and reprocessed. In this period, tens of millions of curies of fission products have been handled, together with tens of tonnes of highly enriched uranium in a variety of physical forms, gaseous, liquid, powder and solid metal. These operations have necessitated HEPA filtration protection of the active gaseous effluents emanating from a wide variety of wet and dry chemical and metallurgical processes. This has resulted in some very difficult demands on HEPA filter efficiency.

The site is at present changing over to a plutonium fast reactor fuel cycle, which will greatly increase the throughput of fission products. The alpha activity associated with the fuel will rise by 3 orders magnitude. Thus the HEPA filter requirements will be more stringent and at the same time used HEPA filter disposal become a much greater problem. A complete re-appraisal has been made and major changes are necessary on filter housings, changing techniques, disposal methods and ventilation philosophy and design. These changes are being implemented at the moment.

**KURZFASSUNG.** ERFAHRUNGEN MIT HEPA-FILTERN BEI DER DERE UND DER AWRE. Die Versuchsreaktoranlage Dounreay ist nunmehr seit 20 Jahren in Betrieb und hat sich hauptsächlich mit einem schnellen Versuchsreaktor und dem dazugehörigen Brennstoffkreislauf beschäftigt. In diesem Zeitraum wurden hochangereicherte Uranmetall-Brennelemente hergestellt, bestrahlt und nach sehr kurzer Abklingzeit untersucht und wieder aufgearbeitet.

In diesem Zeitraum wurde mit Spaltprodukten mit einer Aktivität von Dutzenden Millionen Curie sowie mit mehreren Duzend Tonnen hochangereichertem Uran in verschiedenen physikalischen Zuständen - gasförmig, flüssig, pulverförmig und als massives Metall - gearbeitet. Bei diesen Betriebsabläufen war zum Schutz vor aktiven gasförmigen Ableitungen aus zahlreichen nassen und trockenen chemischen und metallurgischen Prozessen HEPA-Filterung erforderlich. Infolgedessen wurden in einigen Fällen sehr hohe Anforderungen an die Abscheideleistung von HEPA-Filtern gestellt.

Zur Zeit wird die Anlage auf den Plutonium-Brennstoffkreislauf für einen schnellen Reaktor umgestellt, was den Durchsatz von Spaltprodukten beträchtlich erhöhen wird. Die Alpha-Aktivität in diesem Brennstoff wird sich dadurch um drei Größenordnungen erhöhen.

Daher werden an die HEPA-Filter strengere Anforderungen gestellt. Gleichzeitig wird das Problem der HEPA-Filterbeseitigung zu einem schwierigeren Problem.

Das gesamte Problem wurde neu beurteilt, und grössere Veränderungen bei Filtergehäusen, Wechseltechniken, Beseitigungsverfahren, Lüftungskonzeption und -auslegung sind erforderlich. Diese Veränderungen werden zur Zeit durchgeführt.

**RESUME. EXPERIENCE ACCUISE A DERE ET AWRE SUR LA FILTRATION ABSOLUE.** L'établissement du réacteur expérimental de Dounreay depuis maintenant vingt ans qu'il fonctionne a eu surtout pour tâche d'exploiter un réacteur rapide expérimental et d'assurer le cycle du combustible. Durant cette période, des éléments combustibles d'uranium métal hautement enrichi y ont été fabriqués, irradiés, examinés après un très bref refroidissement et retraités.

Des dizaines de millions de curies de produits de fission ont été traitées, ainsi que des dizaines de tonnes d'uranium à haut degré d'enrichissement sous diverses formes physiques : gazeuses, liquides, poudreuses et solides.

Ces opérations ont nécessité une protection par filtration absolue des effluents gazeux actifs résultant d'une large gamme de procédés chimiques et métallurgiques par voie humide et par voie sèche, avec pour conséquence, des exigences très sévères quant à l'efficacité des filtres absolus.

L'installation est actuellement convertie pour un cycle de combustible de réacteur rapide au plutonium, ce qui accroîtra considérablement le débit des produits de fission. L'activité alpha associée au combustible augmentera de trois ordres de grandeur.

Ainsi, les filtres absolus devront répondre à des exigences plus sévères et, simultanément, le problème posé par l'élimination des filtres absolus utilisés se compliquera considérablement.

On a reconsidéré l'ensemble de l'installation et reconnu la nécessité de modifier considérablement les logements des filtres, les techniques de remplacement, les méthodes d'évacuation, ainsi que le principe et la conception du système de ventilation. Ces modifications sont actuellement en cours d'exécution.

---

(\*) DERE = Dounray Experimental Reactor Establishment.

(\*\*) AWRE = Atomic Weapons Research Establishment

This paper covers HEPA filter experience on two sites, viz Dounreay and Aldermaston. On the DERE site the facilities most concerned with HEPA filtration are (a) irradiated fuel reprocessing, (b) fuel fabrication and ancillary recovery processes and (c) post irradiation examination of high burn-up reactor fuels. At AWRE there are facilities which handle plutonium, enriched uranium and other materials which necessitate use of filtered extract systems.

#### SECTION 1 DERE

DERE is unique in that two individual reactor systems consisting of fuel fabrication, irradiation in a reactor, post irradiation examination and irradiated fuel reprocessing were operated entirely within the site. Both these cycles were fuelled by highly enriched uranium.

The facilities required for these operations are as follows:

- i. Fuel fabrication plants together with their associated recovery plants comprising approximately 100 glove boxes and 30 fume hoods, operating a variety of wet and dry chemical and high temperature metallurgical processes.
- ii. Three separate post irradiation examination caves (PIE), for both destructive and non-destructive examinations. Two of these facilities are essentially high beta gamma, low alpha, but the largest facility is designed to deal with plutonium fuels.
- iii. Irradiated fuel reprocessing plants (and laboratories) supporting these facilities containing approximately 50 glove boxes and 100 fume hoods, used for both analytical and experimental work. Other support facilities are for liquid radioactive waste treatment and decontamination of active equipment.

Extract from caves, hot cells, glove boxes and fume hoods is passed through HEPA filters and a total filter capacity of 136,000 cfm is installed, of which 112,000 cfm is in operation, the remainder being stand-by capacity. Total flow of filtered extract is 80,000 cfm which is about 22% of the total extract. 48,000 cfm is discharged via primary filters only, the remaining 32,000 cfm being passed through primary and secondary filters. The extract air from the plants and PIE facilities is discharged to atmosphere via a 200 ft high main ventilation stack. The extract arising from the laboratories is discharged via three separate stacks. These facilities contain large amounts of alpha activity and fission products. The number of filters installed with a capacity of 250 cfm or larger is about 150, 120 being of 1000 cfm capacity. The average replacement rate is once per year which varies widely from facility to facility as will be

discussed later. If facilities which are not in continuous use or are being modified are discounted the 1000 cfm filters have been changed at an average of eight monthly intervals.

The DERE site is in process of a changeover from highly enriched uranium fuel cycles to a situation predominantly based on plutonium associated with the Prototype Fast Reactor which has now commenced power operation. This change has necessitated a complete reappraisal of our operations; HEPA filtration, with its associated problems of filter changing and disposal, has received particular attention.

#### Filter Types and Installations

Apart from internal glovebox filters the majority of HEPA filters installed are of standard units of either 1000 cfm, or 250 cfm, approximately 80% being of the large size.

Filter housings have varied over the years. The original installations were of several different types. Multiples of single integral units in which the filter pack was not replaceable were used for flows up to 2-3000 cfm. When changed, new filter casing and connections were necessary. For multi unit installations up to 8 x 1000 cfm filter packs were installed in a single housing. When filter changing was carried out, containment had to be provided by means of a tent.

Over the years the units have been replaced by housings which allow filter packs to be bagged in and out.

Filter packs are purchased to the UKAEA standard AESS 12050 which is for a 99.95% efficiency glass fibre paper medium which can withstand a temperature of 500°C in an emergency.

If required, the filters can be fitted with spark arresters. Certain housings are designed so that spark arresters can be changed independently of the HEPA filter.

Currently, filters are all tested by the manufacturer prior to delivery by either the Methylene Blue test to British Standard BS 2831 or by Sodium Flame Photometer to BS 3928.

In-situ testing of filters to ensure that replacement filters are not bypassed by leakages has been practised since 1972 when a Pollak Counter was introduced. Testing has been carried out after filter changing to ensure that a satisfactory seal has been made. In about 25% of installations tested, faults have been found with the seal, between pack and housing. In very few cases have efficiencies of 99.95% or more been recorded, and most filters have been accepted on a basis of 99.0%.

The standard 1000 cfm filter unit, either singly or in multiple installations, is capable of operation with the flow either upwards or downwards. The majority of units are installed for a downflow of air with a seal being made between the top of the filter pack and the dirty duct. In this way the filter can be handled without any of the collected particulate matter dropping off. Against this, the seal between the pack and the housing relies on the efficiency of a clamp which works against the weight of the filter pack and pressure drop across the filter. There are installations where the flow is downwards with the seal between the filter pack and the clean duct. Potentially this allows the filter housing to become contaminated. We have no evidence to indicate that in practice one method of operation is better than another. If the filter pack is carefully changed then satisfactory filtration performance is obtained. There are, however, implications which will be discussed later.

#### Operating Experience

##### a. Filter Performance

Operational filter performance is assessed by means of either measurements of the airborne activity levels in the ducts down stream of the filters or pressure differential measurements.

The ventilation stacks handling the discharge are continuously monitored and at no time in the 20 years active operation of the site have hazardous escapes of activity occurred. There have been cases when primary filters installed inside high beta gamma caves have fallen in efficiency and in these cases the result has been the collection of curie quantities of fission product activity on the secondary filters which has been immediately detected.

##### b. Life of Filters and Causes of Failure

HEPA filter life has varied widely at DERE, ranging from a few hours to 12 years. This is due to the variety of installations, and particularly the physical characteristics of the gas streams.

Dust loads on the DERE Site, with the exception of a few glove boxes handling powders in the Fuel Fabrication Plants, are generally low. A large proportion of the dust has been a mixture of concrete, iron oxide and similar non active materials.

The causes of low flows and high pressure drops have been due not to dust loading but to:

- i. chemical deposition
- ii. excessive moisture
- iii. combustion products

Chemical deposits have occurred mainly in the fume hood extract from the laboratories and also on vessel ventilation systems in chemical plants. This has been due to vapours from ammonia, hydrochloric and nitric acids. The problem was readily solved in the chemical plants by separating the extract systems. In the laboratories the problem has been less easy to solve as the extract system involved serves about 100 fume hoods which are used for general analytical work where acidic and alkaline reagents are in common use.

Excessive moisture causes rapid blinding, steam having a particularly adverse effect. This has occurred during steam cleaning operations in PIE Caves. Carry-over of atomised liquid particles due to use of air ejectors in transfer systems has also caused filter blockage. Pre-heaters have been fitted in one case and use has been made of dry packed columns to remove mists in some plants.

Combustion products cause the most rapid blockage of HEPA filters. In an active incinerator installed 18 years ago filters were not only blocked but were chemically attacked by combustion off-gases from active waste which included some PVC. Their use was discontinued when it was proved that installed scrubbers gave adequate clean up prior to discharge of off gases. More recently a new oil fired two stage burner incinerator was put into service. Tests showed that even with both burners set for smokeless combustion the HEPA filters were blocked in a few hours by very fine droplets of unburnt oil. In active service, filters have had to be replaced very frequently because they blocked after a few hours operation; further, despite maintaining the off-gases at 150°C, attack of the filter pack, particularly the aluminium spacers, has occurred. In high gamma installations filters have been changed when the gamma dose rate on the filters has started to rise. This has been done mainly to limit doses to operators during filter changing in event of difficulties.

In service, typical filter change frequencies are as follows:

Primary filters on Caves

Twice per year for caves involved in routine fuel element breakdown; 1-4 years on PIE Caves, depending upon the type of operations.

Fume Hood Extracts

Two to three times per year on "wet" operations, where vapours from various chemical reagents cause problems.

Five years life have been obtained where fume hoods are used on dry, non-dirty operations.

Incinerator Filters

Daily or as the incinerator is operated.

Glove Box Filters

Three to four times per year on dusty boxes; up to several years under dry non dusty conditions. In certain plants glove box filters are changed and their contents recovered for accountancy purposes, whether flow is restricted or not.

Filters on Wet Extract Systems

Four times per year.

Secondary Filters

Typically 2-5 years. May be more frequent if gamma activity build-up has occurred, so that changing is required to limit radiation dose to operators during changing operations.

Filter Changing Techniques and Systems

Some of the early filter housings had no provision for the use of containment bags. These were replaced with HEPA filter housings fitted with bagging rings.

Filter changing using a PVC bag to ensure containment has been reasonably successful, although not without its problems, as a 2 ft x 2 ft x 1 ft filter pack is an awkward object to handle through a PVC bag. Filter packs with down flow and a bottom seal and packs sealed top and bottom have proved difficult to unseat. Further, packs do not readily slide with a seal in contact with the housing. In these cases tenting of the filter housing is necessary. Passing dampers on filter housings occasionally have caused the bag to be firmly sucked down onto the filter pack. This makes movement very difficult with a risk of tearing the bag on the filter pack casing. In the caves the original primary filters were relatively easy to remove using the installed cave crane and master slave manipulators but remote achievement of effective seals proved difficult. The cave primary filters are now sited in shielding outside the caves. PVC bagging is used to maintain containment during removal and a successful shielded filter change can be achieved. It has become practice to monitor the gamma activity on these filters and carry out changes before the dose rate becomes excessive.

Implications of PFR Reprocessing on HEPA Filters

The DERE Site is at present carrying out major modifications to its facilities so that it can deal with irradiated plutonium fuel discharges from PFR and store transuranic waste to await recovery. The irradiated

fuel contains a mixture of plutonium isotopes which have high alpha, beta and gamma activities as well as fission products and other higher actinides. The implications of this changing role are:

- i. the use of PVC bags is not considered satisfactory containment during filter change operations. Also PVC is unsatisfactory in radioactive waste stores as radiolytic and thermal decomposition will occur with consequent release of HCl and possible containment damage.
- ii. the cost of retrievable storage is high; further, the containers used for storing waste become major waste items themselves. There is thus a major financial gain to be made by reducing the numbers of HEPA filters used, and subsequently stored whilst awaiting treatment.
- iii. the present standard 1000 cfm filter packs of 2 ft x 2 ft x 1 ft are extremely awkward to pack into cylindrical drums. The filters, in one case have been re-designed, the shape being altered so that a filter pack can be accommodated in a standard 200 litre drum.

As a consequence of these problems the active ventilation systems in these plants have been critically reviewed and major design changes are being made. The main features of the re-design are:

- i. Filters, both primary and secondary, will be housed in a fully shielded cell where filter changing is remotely controlled. Filters will be sealed into drums for retrievable storage, the drum being externally free from contamination.
- ii. The ventilation system has been redesigned on a minimum flow basis to reduce the HEPA filter requirements. Arrangements for dealing with potentially wet extracts have been improved.
- iii. A new control system based on fluidic devices is being fitted, thus ensuring safe conditions with the minimum of flow.
- iv. Particular attention has been paid to providing test points for easy HEPA filter testing.

Looking into the future we consider that HEPA filters will continue to be an essential component in ventilation systems on highly active plants. However it is becoming increasingly important to obtain maximum life from them and efforts are being diverted to protection of filters from blockage by non nuclear materials. To this end electrostatic precipitators have been obtained for active trials in order to take out the bulky dusts before the air reaches the HEPA filters.

#### Summary and Conclusions

The DERE Site has, over the past 20 years, operated HEPA filters in a very wide range of installations and conditions. The most exacting duties have



been on high beta gamma facilities handling high burn-up irradiated metallic fuels at short cooling times. These operations have necessitated developments in filter changing.

We have encountered many problems, largely because chemical plants and their supporting facilities such as laboratories, produce off-gases containing moisture and also vapours from acids and alkalis. The main effect of this has been to drastically shorten the life of HEPA filters but, apart from special cases of incinerator off-gases, damage due to chemical attack has never been observed.

With the changeover of the Site to a largely plutonium regime a completely new approach is being made to the methods of filter changing and disposal. In view of the high cost of storage of bulky items such as HEPA filters pending recovery, it is important to limit the arisings of these items. In the short term, the following work, in connection with HEPA filters is being carried out.

- i. Improved methods of filter changing to enable filters to be changed, fully shielded and contained and without use of PVC bagging are being installed.
- ii. Ventilation systems have been redesigned to cut down the numbers of HEPA filters required, coupled with methods of limiting the dust load in the off-gas streams.

A major reactor power programme makes it essential **both to limit the numbers of HEPA filters for disposal and also to devise disposal facilities.** No means of eliminating HEPA filters are seen but ways of prolonging HEPA filter life and facilitating disposal are:

- i. Employment of electrostatic precipitators as prefilters, thus greatly reducing the load on the HEPA filter. (Note: Electrostatic precipitators have been in use as primary filters for many years in an AWRE installation).
- ii. Ensuring that HEPA filters operate under designed conditions.
- iii. Development of recovery techniques for transuranics and other long lived radioactive materials from the present design of filter.

At the same time, new materials of HEPA filter construction are being sought to facilitate complete disposal of the filter and recovery of the radioactive materials from discarded filters.

- iv. Major changes in ventilation philosophy, based on improved containment standards, minimum flow requirements and recycling systems for the most difficult operations, eg fuel breakdown caves.

Most of the work on the long term developments is already in hand. This will require close co-operation with the manufacturers of filter packs if we are to achieve these objectives.

## SECTION 2 AWRE

The main active laboratories at Aldermaston are fitted with filtered ventilation systems which all terminate in a double stage HEPA filter before passing to the effluent stack. To extend the lives of these filters there are normally fitted glass wool prefilters which themselves are protected by spark arrestors fitted upstream in the ducting at a distance sufficient to protect the main filters in the event of a fire. Where air from work boxes is vented into the filtered extract system there is fitted locally at the box an individual HEPA filter which restricts the spread of radioactive or toxic material and protects the main filters.

The buildings concerned are all fitted with plenum systems the air entering which is purified by electrostatic precipitators or by bag filters. The facilities served are all processing radioactive or toxic materials. The installations have been designed and are run with care and the whole system has provided for many years a reliable service to the operating laboratories. The conditions under which the building HEPA filters operate are very favourable and are those for which HEPA's were designed. The information given here represents a sort of performance that could reasonably be expected of a filter system under such good conditions.

In the table attached the practical performance of filtrations systems which have been operating over many years is shown in terms of the frequency with which prefilters and first stage HEPA filters have been changed. In operation the performance of the filter system is followed by monitoring the pressure drop across the various stages, filters being changed when this pressure drop rises to unacceptable levels. In no case has it been necessary to change the second stage HEPA filter. In the original design this was intended to stay in place for the life of the building and experience so far indicates that this should be possible.

It can be seen from the table that there is a significant lowering of the life of filters on the building processing beryllium and enriched uranium. It is difficult to determine the reason for this without a detailed investigation. The major factor appears to be that these buildings rely much more on fume hoods where high air flows are employed with the potential for more dust generation. Buildings 3, 4 and 5 where full containment must be employed show a markedly improved filter life. Prefilters last 2 to 4 years and the first stage HEPA  $3\frac{1}{2}$  to 12 years. The differences between

buildings are related to the detailed design and operation of the systems. Probably the most important single factor is the precision with which the plenum/extract balance can be controlled. The ventilation systems of all radioactive buildings are designed so that the difference in pressure is maintained which tends to draw air into the building from the outside through cracks, air locks etc and to keep this to a minimum constant attention to the balance of the system is required as, for instance, the plenum flow varies with the condition of the inlet filters.

In a section of one of the plutonium buildings the duty of the prefilter is carried out by electrostatic precipitators. These units which require periodic washing down have operated satisfactorily for about 20 years. The first stage HEPA filters are used below their designed rating but have achieved a life of 12 years.

It is perhaps worth emphasizing that the load on filters does not come from radioactive or toxic material but from dusts generated by the people working in the building (from clothing etc), from material passing the plenum filters and from dust drawn in by plenum/extract imbalance.

To summarise, the experience of AWRE on HEPA filters has been good. It is emphasized that these are used in the manner for which they were developed and that considerable care is taken to maintain good conditions. Our experience shows that with well constructed radioactive buildings filter life of 2 to 3 years for prefilters and 5 to 10 years for first stage HEPA filters can be achieved.

TABLE (i)  
FILTER LIFE ACHIEVED OVER 12 - 20 YEAR PERIOD

Building	Material in Process	Life between filter changes	
		Prefilters Yrs	1st Stage HEPA Yrs
1	Beryllium	0.7	0.7
2	Enriched Uranium	1.5	1.5
3	Plutonium	2.0	3.5
4	Plutonium	4.0	8.0
5	Plutonium	2.0 - 2.5	5.0 - 12.0

Summary

The AWRE and DERE Sites both have upwards of 20 years experience in the use of HEPA filters under completely contrasting conditions.

At AWRE, the HEPA filters are operating in conditons for which they were developed and designed. At DERE, with its close association with wet chemical processes and active chemical laboratories, HEPA filters have been required to work in very difficult conditions, with the added complication of gamma activity in some of the major installations.

These contrasting operating conditions are reflected in the life obtained from HEPA filters on the two sites.

## BEHANDLUNG UND VERARBEITUNG VON KONTAMINIERTEN FILTERN

H. Mallek  
Kernforschungsanlage Jülich  
Jülich - B. R. DEUTSCHLAND

**KURZFASSUNG.** Ein wesentlicher Bestandteil der Kosten eines Filters, das in radioaktiven Bereichen eingesetzt wird, ist die Aufbereitung für die Endlagerung.

Ein für die Endlagerung aufbereitetes Filter sollte im Volumen erheblich reduziert sein und muss den in den einzelnen Ländern zum Teil unterschiedlichen Einlagerungsbedingungen entsprechen.

Es ist sinnvoll, brennbare und nicht brennbare Bestandteile eines Filters zu trennen und diese in unterschiedlichen Verarbeitungsverfahren zu behandeln.

Die Veraschung von brennbaren Bestandteilen eines Filters führt zu einer Volumenreduktion bis zu 1 : 100.

Nicht brennbare Anteile, insbesondere der Filterkuchen, können durch Verdichtung im Volumen bis zu 1 : 6 reduziert werden.

Aus den vorgenannten Gründen verwendet die KFA Jülich (B. R. Deutschland) dort, wo es möglich ist, Filter mit hohem brennbaren Anteil.

Auf die Verarbeitungsverfahren und Kosten wird im Vortrag näher eingegangen.

**SUMMARY. THE TREATMENT AND PROCESSING OF CONTAMINATED FILTERS.** Preparation for storage constitutes an integral part of the costs of a filter used in radioactive areas.

A filter prepared for storage should be considerably reduced in volume and should meet storage requirements which differ to some extent in the individual Länder.

It is advisable to separate combustible and non-combustible components of the filter and to process them in different ways.

The incineration of combustible components of a filter leads to a reduction in volume of up to 1 : 100.

Non-combustible elements, in particular filter media, can be reduced in volume by compression by up to 1 : 6.

For these reasons KFA Jülich (Federal Republic of Germany) uses, where possible, filters with a high proportion of combustible components.

The processing methods and costs are discussed more fully in the paper.

**RESUME. MANIPULATION ET TRAITEMENT DES FILTRES CONTAMINES.** Le conditionnement en vue du stockage final des filtres utilisés dans les zones radioactives est un élément essentiel du coût.

Un filtre préparé pour le stockage final devrait avoir subi une réduction considérable de volume; il doit en outre répondre à des conditions de stockage dont certaines varient d'un pays à l'autre.

Il est judicieux de séparer les éléments combustibles et non combustibles des filtres et de les traiter selon des procédés de transformation différents.

L'incinération des éléments combustibles des filtres permet une réduction de volume pouvant aller jusqu'à 100.

Le volume des éléments non combustibles, en particulier celui du milieu filtrant, peut être réduit jusqu'à 6 fois par compactage.

Pour ces raisons, la KFA Jülich (R. F. d'Allemagne) utilise, autant que possible, des filtres comprenant un pourcentage élevé d'éléments combustibles.

Les méthodes de traitement et les coûts sont traités de façon plus détaillée dans l'exposé.

In den vergangenen Jahren wurden in der Filtertechnik erhebliche Fortschritte erzielt, insbesondere Abscheidequalität, Standzeit, Materialauswahl, Kostenoptimierung bei der Herstellung standen im Vordergrund. Dies sind sicherlich äußerst wichtige Argumente. Es kommt aber noch ein weiteres hinzu, das bisher vielleicht nicht in vollem Umfang berücksichtigt wurde, nämlich die Beseitigung. Mittlerweile weiß man, daß die Verarbeitung zur fachgerechten Ablagerung die Gesamtkosten stark beeinflußt. Man wird nun beim Kauf eines Filters nicht nur dessen Qualität und Anschaffungskosten zur Beurteilung heranziehen, sondern auch die Frage stellen: Läßt sich das gebrauchte Filter kostengünstig und sicher verarbeiten? Angaben darüber findet man in keinem Verkaufsprospekt, ich jedenfalls habe noch nichts diesbezügliches gesehen. Somit läßt sich eine Beurteilung frühestens treffen, wenn man das Filter verarbeitet hat.

Wie wichtig aber solche Angaben dem Verbraucher sind, läßt sich davon ableiten, daß verbrauchte, kontaminierte Filter eine zum Teil sehr aufwendige Verarbeitung erfahren müssen um die Einlagerungsbedingungen der Bundessammelstelle überhaupt zu erfüllen.

Da die Einlagerungsgebühren unter anderem nach Volumen berechnet werden, ist eine erhebliche Volumensreduzierung bei dem Verarbeitungsverfahren anzustreben. Außerdem sind die in den einzelnen Ländern unterschiedlichen Einlagerungsbedingungen einzuhalten.

Nach diesen Gesichtspunkten wurde in der KFA Jülich ein Verarbeitungsverfahren entwickelt, das folgende Ziele hat:

- 1) die Verschleppung von Kontamination ist weitestgehend zu verhindern,
- 2) es sollte eine deutliche Volumensreduzierung erreicht werden,
- 3) die konfektionierten Abfälle müssen den in der BRD gültigen Einlagerungsbedingungen der BundessammelstelleASSE II entsprechen,
- 4) der Arbeitsablauf sollte jederzeit optimal gestaltet werden können.

Gelöst wurden diese Aufgaben in folgender Weise:

Die verbrauchten und kontaminierten Filter werden nach einer Doppelsacktechnik kontaminationsfrei aus den Filteranlagen in einen speziellen Foliensack eingebracht und der Foliensack gasdicht verschweißt.

Zum Schutz vor mechanischer Beschädigung werden diese Pakete bevorzugt in Stapelpaletten gelagert und nach Bedarf per Hubstapler zur Verarbeitungsanlage transportiert.

In dieser Anlage durchläuft das Filter mehrere Stationen, bis ein endlagerungsfähiges Produkt entsteht. Dabei geht man davon aus, daß sich die Kontamination im hohen Maße lose angeheftet im Filterelement befindet. Da das Filterelement zum Teil nicht brennbar oder nur schwer brennbar ausgeführt ist, hat es sich angeboten, dieses ohne weitere Behandlung in einen Endlagerbehälter hineinzupressen. Damit hat man die Aktivitäten sicher eingelagert und Punkt 1) der Zielsetzung erfüllt.

Punkt 2) wird hierbei ebenfalls berücksichtigt, da man mit dem Preßvorgang in das Endlagergefäß eine Volumensreduzierung von ca. 6 : 1 erreicht. Die Rahmen der Filter, die zumeist als Holzrahmen ausgeführt sind, werden vorzugsweise in Verbrennungsanlagen für radioaktive Abfälle verascht, so daß hier eine sehr deutliche Reduzierung des Volumens bis zu 100 : 1 erreicht wird.

Zu Punkt 3) der Zielsetzung ist zu sagen, daß nach den "Bedingungen für die Lagerung von schwachradioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse, Anlage I" Kategorie-"A"-Filterabfälle für die Einlagerung gerecht verpackt sind, wenn sie den Bedingungen der im Anhang aufgeführten Tabelle I entsprechen.

Punkt 4) der Zielsetzung wurde insofern berücksichtigt, als die Verarbeitungsanlage aus mehreren aneinandergereihten Einzelboxen besteht, die einen optimalen Geräte- und Personaleinsatz gestatten.

Die Einzelboxen haben ein Rastermaß von 900 mm mit zwei Hand-  
schuhdurchführungen. Die Tiefe beträgt 750 mm. Der seitliche  
Anschlußflansch ist genormt und paßt untereinander. Die Boden-  
wanne besteht aus Edelstahl, ist nach vorn und hinten leicht  
hochgezogen, zur Seite offen, so daß der Anschluß zur nächsten  
Box ohne Schwelle möglich ist. Der obere Teil der Box ist zur  
Beobachtung der Arbeitsgänge aus durchsichtigem Material aus-  
geführt.

Durch diese Grundkonstruktion ist es möglich, die Zuordnung  
der Boxen so zu gestalten, daß optimale Arbeitsabläufe er-  
reichbar sind. In der KFA Jülich hat sich eine Boxenkombina-  
tion bewährt, die folgende Verarbeitung von gebrauchten Fil-  
tern zuläßt:

Die in Folie eingeschweißten Filter werden über die Ein-  
schleusbox 1 in die Verarbeitungseinrichtung hineingegeben  
und in der Box 2 vom Verpackungsmaterial befreit.

In der Box 3 wird der Rahmen vom Filterelement erschütterungs-  
arm getrennt. Das wird dadurch erreicht, daß ein flaches  
Messer, das an den Seiten keilförmig ausgebildet ist, mit ca.  
3 Mp Schubkraft zwischen Rahmen und Filterelement geführt  
wird. Dabei trennen sich die beiden Bauelemente. Darüberhin-  
aus wird durch die Keilform des Messers der geklebte oder ge-  
nagelte Rahmen in seine Einzelteile zerlegt. Für diesen Zer-  
legungsvorgang benötigt man 2 bis 4 Hübe pro Filter.

In der Box 4 erfolgt die Weiterleitung einerseits des Filter-  
kerns zur Presse und andererseits die Ausschleusung der brenn-  
baren Materialien. Die brennbaren Materialien werden in Spezi-  
albehälter gegeben. Diese Behälter passen in das Sammel- und  
Transportsystem für brennbare radioaktive Abfälle, so daß sie  
ohne weiteres einer Veraschungsanlage zur Verbrennung zuge-  
führt werden können.

In der Box 5 ist eine hydraulisch arbeitende 10 Mp-Pressen in-  
stalliert. Über eine Hebevorrichtung wird der Endlagerbehälter  
gegen eine Dichtung an der Box gedrückt und dann kraftschlüs-  
sig mit der Bodenplatte verbunden. Jetzt kann direkt in das  
Faß verdichtet werden.



Als Abschluß wird in den Behälter eine Sperre eingebracht, die der Rückverformung des gepreßten Materials entgegenwirkt.

Die Gesamtverarbeitungsanlage steht unter einem Unterdruck von 15 bis 20 mmWS (1,5 bis 2 m Torr). Die Abluft wird schon innerhalb der Anlage vorgereinigt. Die dazu benutzten Filter verbleiben im System und können darin aufgearbeitet werden.

In der KFA Jülich werden fast ausschließlich Filter mit Holzrahmen verwendet. Das Filterelement ist mit Klebemittel an den Rahmen gebunden. Unsere Erfahrungen bei der Verarbeitung dieser Filter zeigen, daß der verleimte Rahmen dem genagelten und gestifteten vorzuziehen ist, da beim letzteren Handverletzungen durch vorstehende Nägel vorkommen können. Außerdem ist der Kraftaufwand bei der Zerlegung der Rahmen bei geklebten Rahmen wesentlich geringer.

Filter, bei denen die Klebeverbindung zwischen Filterelement und Rahmen mit einer dünnen Klebeschicht durchgeführt ist, lassen sich gut verarbeiten, bei zu stark aufgetragenen Schichten neigt das Trennmesser zu Verklebungen.

Bei einem Personaleinsatz von 4 Personen können in der Verarbeitungsanlage an einem 8-stündigen Arbeitstag bis zu 80 Stück Filter der Sonderstufe S endlagerfähig verarbeitet werden. Dabei fallen 7 Stück 200-l-Fässer an. Rechnet man das Ausgangsvolumen eines Filters einschließlich der Verpackung mit 110 l, so erhält man demnach ein Einengungsverhältnis von

$$\frac{\text{Eingangsvolumen}}{\text{Ausgangsvolumen}} = \frac{80 \times 110}{7 \times 200} = \text{ca. } 6 : 1$$

Die Rückstände, die beim Veraschungsprozeß entstehen, sind wegen ihrer hohen Volumensreduktion von 100 : 1 vernachlässigbar.

Für die Kernforschungsanlage Jülich betragen die Kosten für die Beseitigung eines Filters ca. 75 bis 100 DM. Dabei verteilen sich die Kosten auf folgende Faktoren:

Lohnkosten	rd. 35 %
Einlagerungsgebühren	rd. 15 %
Verpackungskosten	rd. 20 %
Anlagenabschreibung	rd. 20 %
Sonstiges	rd. 10 %.

In zunehmendem Maße werden sich auch Kleinverbraucher wie Kernkraftwerke, medizinische oder wissenschaftliche Institute sowie Firmen der Kerntechnik mit dem Problem der sicheren und wirtschaftlichen Filterverarbeitung zu befassen haben.

Bedenkt man, daß im vorgenannten Beispiel 35 % der aufgeführten Kosten Personalkosten sind und berücksichtigt man die recht aufwendige Verarbeitungsanlage, so sieht man, daß der bessere Weg zur Einsparung von Kosten nicht in einer Verfeinerung der Anlagen liegen kann, sondern daß man das Problem an der Wurzel fassen sollte und die Industrie bei der Herstellung von Filtern besonderes Augenmerk auf ihre spätere Beseitigung legen sollte.

Diejenige Firma, die grundlegende Verbesserungen auf diesem Gebiet erreicht, wird ihr Produkt sicherlich erfolgreich absetzen können.

T A B E L L E I

Kategorie "A"

Feste, trockene Abfälle ohne Behandlung in beliebiger Form (keine Pulver, Granulate oder lösliche Produkte, die aus Abwasserdekontaminationsanlagen stammen).

Behälter	Blechtrommel oder Roll- sickenfaß mit allseitiger Betonauskleidung, Deckel mit Spannringverschluß (verschraubt).	200-l-Faß in 400-l-Faß ein- gesetzt, Zwischenraum mit Beton vergossen	verlorene Betonab- schirmung mit Ersatz- behälter	
	Rollreifen- oder Roll- sickenfaß mit Flansch- deckel			
Volumen	200 l	400 l	200 l	max. 200 l
Kennbuchstabe	c	d	e	f
max. zulässige $\alpha$ -Aktivität	0,001	0,001	0,01	0,02
max. zulässige $\beta/\gamma$ -Aktivität	0,1	0,1	1	2

Auszug aus Anlage I der Bedingungen für die Lagerung von schwach- und mittelradioaktiven Abfällen im Salzbergwerk Asse Bundesrepublik Deutschland



NEUE UEBERLEGUNGEN ZUR WIRTSCHAFTLICHEN BESEITIGUNG  
VON MIT RADIOAKTIVEN AEROSOLEN  
BELADENEN SCHWEBSTOFFFILTERN

D. Sinhuber, H. H. Stiehl und W. Schroth

Delbag-Luftfilter

Berlin - B. R. DEUTSCHLAND

**KURZFASSUNG.** Die mit radioaktiven Aerosolen beladenen Aerosolfilter stellen einen hohen Prozentsatz des radioaktiv kontaminierten Abfalls von kerntechnischen Anlagen dar. Die zur Zeit in diesen Luftfilteranlagen verwendeten Aerosolfilter widersetzen sich durch ihren Aufbau einer wirtschaftlichen Beseitigung und raumsparenden Endlagerung. Neue Konzeptionen von Aerosolfiltern unter dem Aspekt der Abfallbeseitigung sind notwendig. Kriterien dieser Konstruktionen sind :

- Verkleinerung des Bauvolumens des Aerosolfilters bei gleichem oder erhöhtem Luftstrom und gleichbleibendem Abscheidegrad;
- starke Reduzierung des Bauvolumens vor oder beim Einbringen in Abfallbehälter;
- kontaminationsfreier Ausbau, kontaminationsfreie Reduzierung des Bauvolumens und Einbringen der Aerosolfilter in die Abfallbehälter;
- möglichst kleines Volumen des Rückstandes des Aerosolfilters bei Endlagerung.

Die Konstruktion von Aerosolfiltern, zu denen die genannten Aspekte unter Berücksichtigung des gegenwärtigen Standes der Technik führen, werden erläutert. Die sich ergebenden Vorteile dieser Konstruktionen hinsichtlich der angeführten Kriterien beim Vergleich mit den zur Zeit verwendeten Aerosolfiltern werden dargestellt.

**SUMMARY.** A NEW LOOK AT THE ECONOMIC DISPOSAL OF CONTAMINATED AEROSOL FILTERS. HEPA filter elements loaded with radioactive aerosols represent a large percentage of the radioactive waste of nuclear plants. The HEPA filter elements used at present in air filter units are not suitable to an economic disposal and space-saving final storage on account of their construction. New concepts for HEPA filters are necessary from the point of view of waste disposal. The criteria of these new designs are as follows :

- reduction of space required for HEPA filters used at the same or even increased flow rates and with the same efficiency;
- essentially smaller dimensions of HEPA filters for storage in waste containers;
- removal without contamination, volume reduction (without contamination) for disposal of the HEPA filters;
- smallest possible volume of the HEPA filters after processing for final storage.

The construction of HEPA filters as a result of the requirements mentioned above and taking into consideration the present stage of technology is explained. The advantages of such construction with regard to the criteria mentioned before are presented in comparison with the HEPA filters at present in use.

**RESUME.** NOUVELLES CONSIDERATIONS SUR L'ELIMINATION ECONOMIQUE DES FILTRES CHARGES D'AEROSOLS RADIOACTIFS. Les filtres chargés d'aérosols radioactifs constituent une part importante des déchets contaminés des centrales nucléaires. En raison de leur structure, les filtres utilisés actuellement dans les ensembles de filtration de l'air ne se prêtent pas à une élimination économique et à un stockage définitif de faible encombrement. Il est nécessaire de mettre au point des filtres de conception nouvelle sur le plan de l'élimination des déchets. Ces nouveaux systèmes doivent répondre aux critères suivants :

- réduction du volume des filtres pour un débit d'air identique ou supérieur et une efficacité inchangée;
- forte réduction du volume des filtres avant ou lors de leur introduction dans les conteneurs de déchets;
- absence de contamination lors du démontage, du compactage et de la mise des filtres en conteneurs;
- volume aussi restreint que possible des filtres après conditionnement pour stockage définitif.

Des explications sont données sur les structures de filtres répondant aux exigences susmentionnées, compte tenu de l'état actuel des techniques. Les avantages offerts par ces nouvelles structures quant aux critères énoncés ci-dessus sont comparés aux propriétés des filtres actuellement en service.

Die mit radioaktiven Aerosolen beladenen Aerosolfilter stellen einen hohen Prozentsatz des festen, radioaktiv kontaminierten Abfalls von kerntechnischen Anlagen dar (1), (2), (3). Überwiegend werden Aerosolfilter mit den internationalen Standard-Abmessungen 610/610/292 mm verwandt. Da die zylindrischen Abfallbehälter zur Endlagerung des radioaktiven Abfalls in der Bundesrepublik Deutschland auf die Abmessungen von 560 mm Innendurchmesser und 925 mm Höhe vereinheitlicht wurden, müssen die genannten Aerosolfilter vor Einbringung in die Abfallbehälter zerkleinert werden. Bedingt durch die verwendeten sperrigen Aerosolfilter wird eine befriedigende Füllung der Abfallbehälter gegenwärtig nicht erreicht. Im Hinblick auf eine raumsparende Endlagerung der radioaktiv kontaminierten Filter sind neue Konzeptionen von Aerosolfiltern unter dem Aspekt der Abfallbeseitigung notwendig.

Kriterien für diese neuen Konzeptionen von Aerosolfiltern sind:

- die Verkleinerung des Bauvolumens des Aerosolfilters bei gleichem oder erhöhtem Luftstrom und gleichbleibendem Abscheidegrad;
- starke Reduzierung des Bauvolumens des Aerosolfilters vor oder beim Einbringen in den Abfallbehälter;
- kontaminationsfreier Ausbau, kontaminationsfreie Reduzierung des Bauvolumens und Einbringen des Aerosolfilters in den Abfallbehälter;
- möglichst kleines Volumen des Rückstandes des Aerosolfilters bei Endlagerung.

Ein Aerosolfilter mit den Abmessungen 610/610/292 mm für einen auf 3000 m<sup>3</sup>/h erhöhten Volumenstrom bei einer Anfangsdruckdifferenz von 250 Pa ist in Bild 1 gezeigt.

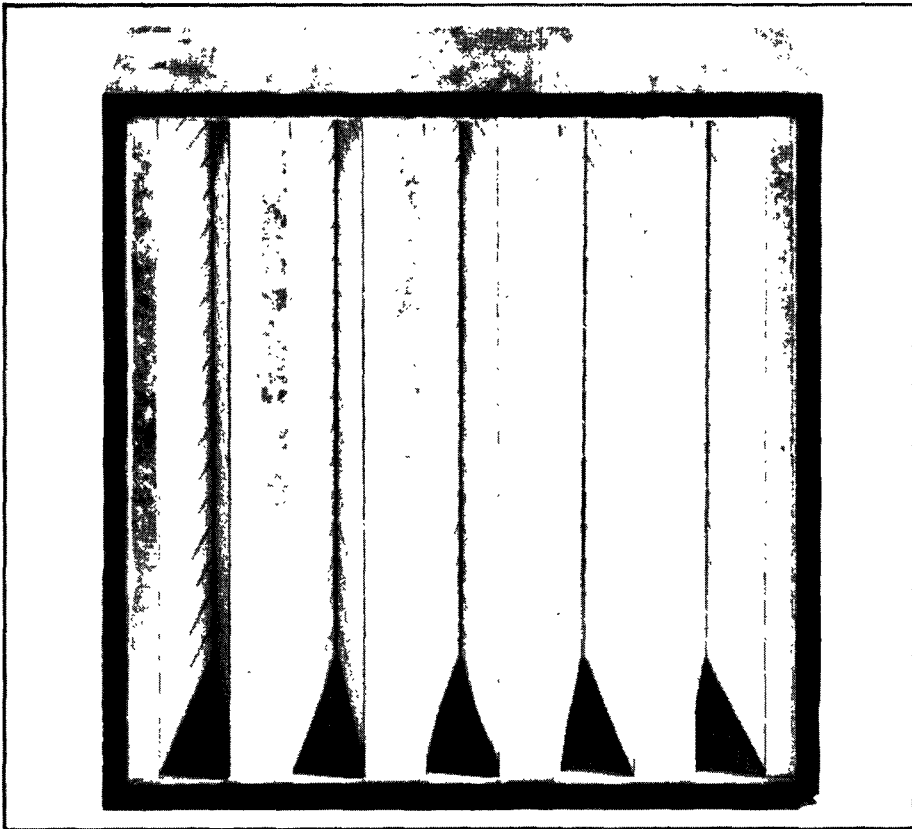


Bild 1: Aerosolfilter für Volumenstrom von 3000 m<sup>3</sup>/h

Bei Anwendung dieser Bauart in feuchtigkeitsbeständiger und druckstoßsicherer Ausführung ergeben sich im Vergleich zu den herkömmlichen Aerosolfiltern mit z-förmig gefalteten Abstandshaltern folgende Vorteile:

Die Anzahl der Filtereinheiten für einen gegebenen Volumenstrom wird im Vergleich zu den zur Zeit verwendeten Filtern mit einem Volumenstrom von  $1900 \text{ m}^3/\text{h}$  bei einer Anfangsdruckdifferenz von  $250 \text{ Pa}$  um  $33 \%$  verringert. Das bedeutet eine Verringerung der zur Endlagerung zu bringenden Aerosolfilter um  $33 \%$ . Der Raumbedarf durch Einsparung von Gehäusen und die Wartungszeiten vermindern sich entsprechend.

Bei der gegenwärtig verwendeten Bauart von Aerosolfiltern wird das filternde Material über z-förmigen Abstandshaltern aus Metallfolie gefaltet und in einem starren Rahmen vergossen. Der nicht verdichtbare Feststoffanteil vom Gesamtvolumen von  $0,109 \text{ m}^3$  des Aerosolfilters mit Holzrahmen beträgt etwa  $25 \%$ , der Hohlvolumenanteil etwa  $75 \%$ . Maximal ist eine Reduzierung des Volumens des Aerosolfilters um etwa  $75 \%$  möglich bei Anwendung einer Preßkraft von etwa  $10 \text{ Mp}$ . Bei sorgfältiger Verdichtung des zerstörten Filters und bei Anwendung von Pressen kann eine Volumenreduzierung von etwa  $66 \%$  erreicht werden. In einen Abfallbehälter von  $200 \text{ l}$  werden im allgemeinen drei Aerosolfilter der Abmessung  $610/610/292 \text{ mm}$  eingebracht. Bei einer Verdichtung des zerstörten Aerosolfilters um etwa  $66 \%$  entspricht das einem auf das Volumen bezogenen Nutzungsgrad der Fässer von  $50 \%$  bis  $60 \%$ . Insbesondere der starre sperrige Rahmen verhindert eine gute Füllung der Abfallbehälter.

Eine Ausführung eines Aerosolfilters mit einem wiederverwendbaren, starren Rahmen ist in Bild 2 dargestellt.

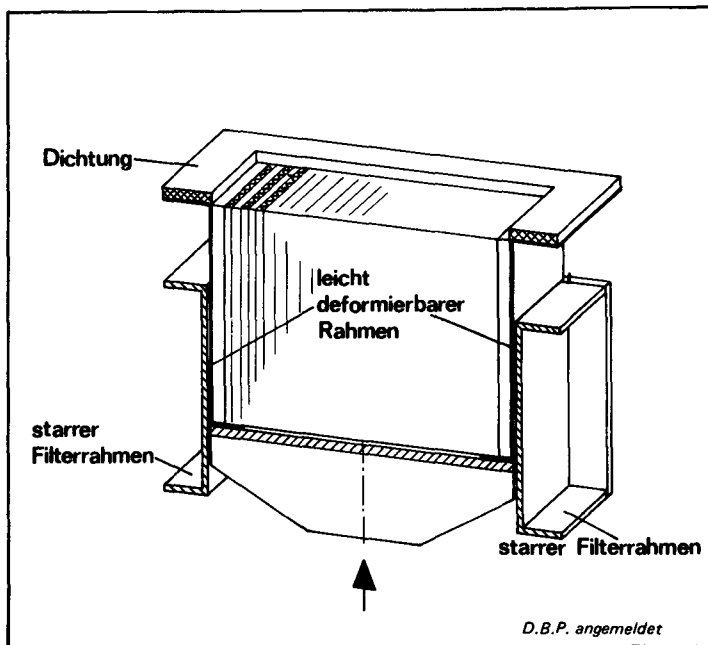


Bild 2: Aerosolfilter mit wiederverwendbarem Rahmen

In diesem starren Rahmen sind das filternde Material und die Abstandshalter in einem leicht deformierbaren Rahmen luftdicht angeordnet. Das Aerosolfilter mit dem leicht deformierbaren, inneren Rahmen wird aus dem starren Rahmen herausgestoßen. Mittels einer Presse wird das Volumen reduziert, wobei eine Reduktion des Querschnitts des Filters auf den Querschnitt des Abfallbehälters von Vorteil wäre. Der starre Rahmen kann dekontaminiert und wiederverwendet werden. Wird das Aerosolfilter, wie in Bild 2 gezeigt, nach Einbau in das Gehäuse von oben



angeströmt, so wird eine Kontamination des starren Rahmens vermieden. Der nicht verdichtbare Feststoffanteil des weichen Inneren des Aerosolfilters beträgt etwa 15 Volumenprozent bezogen auf das gesamte Filter. Maximal ist eine Reduzierung des Volumens um etwa 85 % möglich. Bei einer mit den gegenwärtigen Mitteln erreichten Volumenreduzierung von etwa 66 % ließe sich die Anzahl der in einem Abfallbehälter von 200 l eingebrachten Rückstände von Aerosolfiltern auf etwa 6 erhöhen.

Große Vorteile hinsichtlich der raumsparenden Endlagerung und hohen Nutzung des Volumens der Abfallbehälter verspricht die in Bild 3 gezeigte Bauart eines Aerosol-Rundluftfilters. Der Außendurchmesser dieses Rundluftfilters ist so gewählt, daß das beladene Aerosolfilter ohne Änderung seiner Querschnittsfläche in den Abfallbehälter eingesetzt werden und in diesem mittels einer Presse verdichtet werden kann. Beim Pressen dieser Aerosol-Rundluftfilter läßt sich eine Volumenreduzierung von 85 % erreichen. Das hat zur Folge, daß bei Auslegung dieser Rundluftfilter für einen Volumenstrom von 1900 m<sup>3</sup>/h etwa 8 Rückstände von beladenen Aerosolfiltern in einem Abfallbehälter von 200 l eingepreßt werden können.

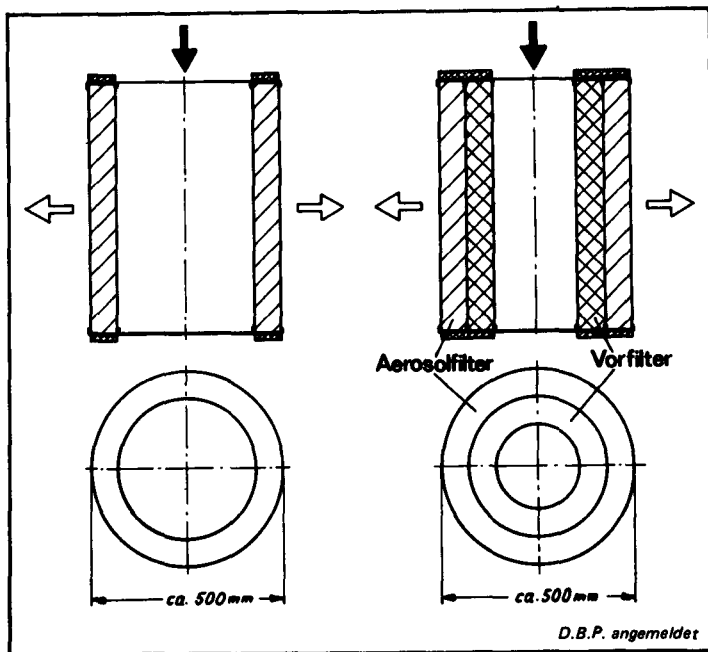


Bild 3: Aerosol-Rundluftfilter

Die notwendigen Vorfilter zur Abscheidung von Grobstaub befinden sich innerhalb des hohlzylindrischen Aerosol-Rundluftfilters, wie in Bild 3 gezeigt. Das Vorfiltergehäuse kann entfallen. Die Vorfilter und Aerosolfilter haben die gleiche Standzeit, so daß beide gemeinsam ausgewechselt werden können. Damit entfällt der Vorfilterwechsel. Die bisherige Wechseltechnik der Filter mit Hilfe von Schutzsäcken kann beibehalten werden, wie in Bild 4 angedeutet.

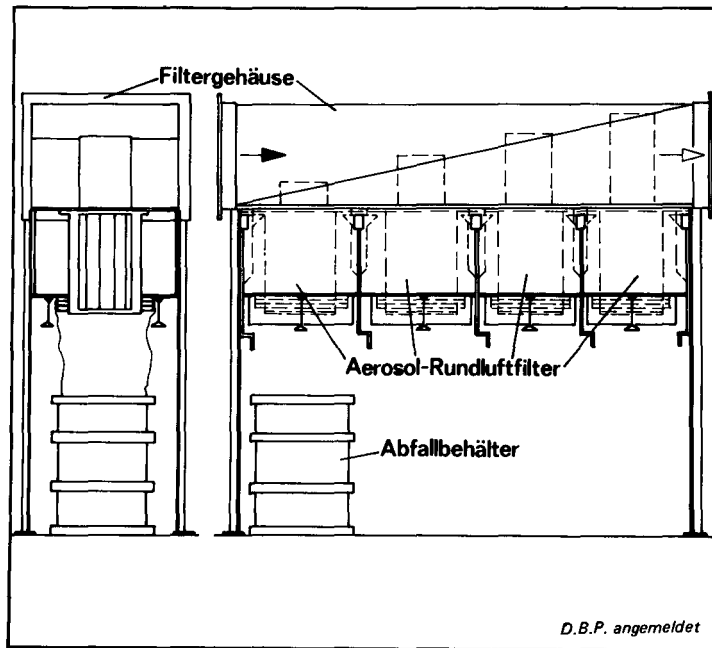


Bild 4: Aerosol-Rundluftfilter in Filtergehäuse

Im Hinblick auf die großen Mengen im allgemeinen schwachaktiven Abfall, zu dem die beladenen Aerosolfilter zu rechnen sind, ist eine Verbesserung der gegenwärtigen Technik der Volumenreduzierung und des Einpressens in Abfallbehälter bei weiterer Anwendung der Kerntechnik zur Energieversorgung notwendig.

Literatur:

- (1) H. Dyroff; F.K. Fleischmann; H. Witte: Radioaktive Abfälle und ihre Beseitigung, Atomwirtschaft; Juli 1976
- (2) W. Bähr; W. Hild: Behandlung schwach- und mittelaktiver Abfälle aus kerntechnischen Anlagen; Atomwirtschaft; Juli 1976
- (3) O.I. Buttedahl; K. Terada: Volume Reduction of Contaminated Filter Wastes; 14th ERDA Air Cleaning Conference, 1976

RESEARCH AND DEVELOPMENT TOPICS IN GAS CLEANING  
FOR FUEL REPROCESSING PLANT

M. N. Elliot, D. M. C. Horsley and R. M. Powell  
A. E. R. E. (\*)  
Harwell - UNITED KINGDOM

SUMMARY. Air cleaning in fuel reprocessing plants is based at present essentially upon HEPA filtration. This has proved satisfactory to date but as the industry expands methods with easier handling and storage options will be required. The paper reviews alternative approaches and identifies areas of promising medium and long term development.

KURZFASSUNG. FORSCHUNGS- UND ENTWICKLUNGSARBEITEN BEZUEGLICH DER ABGASREINIGUNG IN BRENNSTOFF-WIEDERAUFARBEITUNGSANLAGEN. Die Luftreinigung in Brennstoff-Wiederaufarbeitungsanlagen beruht zur Zeit allgemein auf HEPA-Filterung. Diese hat sich bisher zwar bewährt, jedoch sind mit dem Ausbau der Kernindustrie Verfahren mit einfacheren Transport- und Lagermöglichkeiten erforderlich. Das Referat gibt einen Ueberblick über alternative Verfahren und zeigt Bereiche mit vielversprechenden mittel- und langfristigen Entwicklungsmöglichkeiten auf.

RESUME. RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT EN MATIERE D'EPURATION DES GAZ DANS UNE USINE DE RETRAITEMENT DU COMBUSTIBLE. Actuellement, l'épuration de l'air dans les usines de retraitement des combustibles repose surtout sur des filtres à haute efficacité HEPA. Une telle filtration s'est avérée satisfaisante jusqu'à ce jour, mais, avec l'extension de l'industrie, des méthodes comportant des possibilités plus simples de manipulation et de stockage seront nécessaires. Le document étudie d'autres procédés et définit les domaines où le développement est prometteur à moyen et à long terme.

---

(\*) A. E. R. E. = Atomic Energy Research Establishment

## 1. Introduction

Once-through ventilation and filtration systems are used world-wide in nuclear fuel reprocessing plant, with separate duct systems for vessel vents and for the general ventilation of cells and caves. Under steady state conditions the filtration load consists of air in-leakage, incondensibles from the process, and cooling air. However the systems must also be able to maintain an adequate pressure differential during postulated accident conditions and this generally determines the size of the installation. Ducting and equipment must, of course, also satisfy fire resistance criteria.

In most cases high efficiency particulate air (HEPA) filters are used. Based upon a pleated glass fibre paper medium, they can be reliably supplied with efficiencies of up to 99.997% for the removal of sodium chloride test aerosols. For the larger sizes of unit rectangular wooden or metal cases are used, the most common size (rated at 1,000 cfm - 1700 m<sup>3</sup>/h) having a 2' x 2' face (609mm x 609mm) and a 1' depth (298mm).

Filter installations contain individual units, each separately located and sealed onto a support frame. A single installation may contain some tens of filters and a complete plant will require many such installations, grouped according to the plant layout and including primary, secondary and stand-by filter banks. In total 100 - 200 of the 1,000 cfm units are likely to be involved.

Quite complex operational schemes are required to remove contaminated filters and to fit and seal new ones. Highly efficient sealing is necessary for the performance of the installation to approach the test efficiency of individual units and this is achieved, often in zones of high radiation and contamination. The filters are bulky and are awkward to handle, particularly when contaminated. Filter lives of one year or less are met and consequently there are significant annual arisings of contaminated filters, requiring costly storage or disposal.

Thus, although present installations based upon HEPA filtration have the required high efficiency, the associated handling and storage procedures are cumbersome and costly. Possible medium and long term developments to ease these are discussed in the following sections.

## 2. Once-Through Systems

### 2.1 Systems based upon HEPA Filtration

For at least the next 5-10 years large systems will probably continue to rely mainly upon once-through ventilation with HEPA filters for the highly efficient removal of particulates. Improvements are likely to be derived from the rational review and modification of existing procedures to reduce the size of installations, to increase HEPA filter life and to ease the handling and storage of contaminated filters, rather than from the introduction of entirely new concepts.

#### (a) Size of installations

Units with the same dimensions as a standard 1,000 cfm filter but rated at twice this flowrate are now commercially available. Their introduction could reduce the number of filters and hence ease handling and storage problems, provided that the service life is not significantly reduced.

The rating of a given installation is largely dictated by the forecast emergency situation. An assessment of alternative procedures which might ease this restriction appears worthwhile. For example, a buffer volume might be used to contain short-term gas flows of unusually high rate, with subsequent controlled release through filters.

#### (b) Filter life

The HEPA filter is not a high dust-capacity device, but it is sometimes used in high dust-loading situations without pre-filtration, with a consequent decrease in filter life. Pre-filtration should be mandatory in these circumstances but conventional units, of similar construction to the final filter, simply transfer the handling and storage problems to the

prefiltration stage.

Prefiltration devices are required which ideally:

- (i) remove efficiently all particulates above about  $1\mu\text{m}$  in diameter,
- (ii) are easy to operate, clean and maintain remotely,
- (iii) produce an effluent compatible with existing treatment schemes,
- (iv) have a low pressure drop and can tolerate surge flowrates,
- (v) are fire resistant.

Potentially suitable equipment includes wet devices such as venturi-and packed scrubbers and foam beds, fixed or fluidised beds of fibrous or granular material, and electrostatic precipitators.

The wet systems should provide surer handling of dust and provide a measure of fire containment as well as fire resistance. Conventional types of venturi scrubber appear unsuitable because of high pressure drop and the efficiency of packed scrubbers is not adequate. Stable foam-bed gas cleaners are available commercially<sup>(1)</sup> and appear promising if the foaming agent presents no effluent problems. Intermittently washed electrostatic precipitators also show promise provided that the mechanical and electrical reliability can be established. In this connection the satisfactory experience with the special electrostatic filters on the highly active storage tank off-gas systems at Windscale<sup>(2)</sup> is encouraging.

Droplets, readily removed by coarse filters such as knit-mesh, can be formed by the condensation of water vapour onto fine particles<sup>(3)</sup>. This is potentially a powerful method of dust removal but the economics of successive humidification and dehumidification of large gas volumes are likely to be unattractive. The technique does, however, appear applicable to the low-volume vessel vent streams which are humidified by wet scrubbing.

Reduced filter life can occur, particularly with vessel

vent streams, through condensation or the impingement of water droplets on the filter fabric. The provision of upstream heater banks can be quite effective but condensation can still occur in ducts downstream of the filters. The development of more positive dehumidification techniques is suggested, and these might perform a prefiltration service as discussed above.

(c) Handling and storage

Many of the sealing and change methods in use have evolved from inactive duties and are not particularly convenient for remote use. Filter assemblies where the sealing pressure is applied by cam, wedge or hydraulic pressure are all potentially troublesome because of failure or binding of the mechanism. The development of simpler jointing techniques is necessary and one based upon horizontally mounted filters sealed under their own or additional weights is under consideration. An appraisal of alternatives to rectangular filter geometry, to ease transfer and sealing operations, also appears to be well worthwhile.

The filter case and medium constitute only ~25% of the total volume of a 1,000 cfm unit. Techniques such as baling are being evaluated, e.g. (4), to reduce the volume for storage, but the handling and contamination problems are then quite formidable. There is scope for a re-design of the HEPA filter to make storage or disposal more efficient.

The filter medium is sealed into the case using glass wadding rather than cement and mechanical design of a case which allows easy separation of case and medium, perhaps using clips, appears a practical possibility. The metal case might then be decontaminated and recycled, the medium and dust converted to a durable solid. Alternative materials might be used for the case which, though meeting the fire resistance criteria, could be finally incinerated or pyrolysed at higher temperatures. New filter media might also be developed although, in view of the valuable properties of present materials and the high performance obtainable with them, this is likely to be a much more speculative venture. The filter case provides sealing compression of the medium and a rigid frame for mounting. The

practicability of designs (e.g. cartridge concepts) which either avoid the use of a case or allow its re-use should be examined.

## 2.2 Sand-bed filtration

Test efficiencies of 99.95% for the removal of DOP aerosols can be obtained using deep beds of sand and gravel<sup>(5)</sup>. One such filter has been successfully used for some 20 years at the Savannah River Plant for primary filtration<sup>(6)</sup> and another is installed at the Savannah River Laboratory as back-up to the primary HEPA filters<sup>(7)</sup>.

Sand-bed filters can tolerate the flow surges, moisture, and high temperatures likely to result from an emergency incident, they have a high dust capacity and can be sized and built to last the lifetime of a plant. The required structures are substantial and hence the initial capital outlay is high compared with HEPA installations. However this is offset by the savings (both in cash and in radiation exposure to personnel) which stem from the avoidance of filter-changing procedures.

The major uncertainty relates to their decommissioning. The American structures are designed to withstand the effects of natural and man-made incidents, and to provide ultimate confinement of the filtered radioactive materials. After service the units will be sealed with concrete to form a dry silo. However a sealed, loaded sand bed does not strictly conform to the definition of a "retrievable silo" and provision for bed transfer and treatment may be necessary to satisfy licensing regulations. This could change the economics quite significantly and the implications require assessment.

A more suitable application for these beds may be for secondary (back-up) filtration, where the radioactive loading would be lower and perhaps less restrictive, and the surge tolerance of the system would be of value.

## 3. Recirculating Systems

Closed cycle ventilation schemes, already used in some inert atmosphere glove box applications, could, in principle, be applied to reprocessing plant, with a reduction in the size of filter installations.



The normal ventilation load would be appreciably reduced and exceptionally high incident gas flows could be vented to a buffer volume, with subsequent controlled release through cleaning systems. Schemes for the removal of particulates by HEPA filters could then be integrated with those for the removal of iodine, noble gases, etc. Inert atmospheres might be used and by a suitable choice of carrier gas, separation of particulates and other contaminants by a cryogenic route is then feasible.

Such schemes are being considered for future plants<sup>(8)</sup>. However their application depends not only upon the development of the gas cleaning technology but also upon new approaches to plant design and operation. The requirement for large, essentially leak-tight, structures has implications in such fields as instrumentation, chemical control, materials transfer and remote handling. Consequently the development and introduction of large-scale closed-cycle systems is likely to be a long range project.

#### 4. Conclusions

Gas cleaning systems are required for fuel reprocessing plant which:

- (a) guarantee highly efficient removal of radioactive particulates under both normal and incident conditions,
- (b) minimise handling operations and penetration of containment,
- (c) minimise the treatment and storage of contaminated filters.

Present systems satisfy criterion (a) but the handling and storage procedures are relatively cumbersome and costly. As the industry expands, plants employing improved handling and storage techniques would be advantageous.

A gas cleaning scheme using one central sand bed to treat the gaseous streams would minimise handling and maintenance operations. However decommissioning procedures other than simple sealing of the bed may be required and these could reduce the attractiveness of the concept.

There is scope to refine present HEPA filter systems, and this should be possible within a relatively short time scale. Profitable areas for study are:

- (a) the introduction of higher rated filter units and new procedures to handle emergency gas flows, to reduce the size of installations;
- (b) the development of a remotely operated prefiltration device to increase filter life;
- (c) the design and development of simple filter sealing and change mechanisms;
- (d) design and materials development work to facilitate the storage of contaminated filters.

The introduction of closed-cycle systems based either on HEPA filtration or a cryogenic gas treatment route is, in principle, desirable. However this is seen as a long-term objective requiring the development of remote-operation systems outside the gas cleaning field.

Some form of secondary filtration is always provided to cope with high flowrate conditions or failure of earlier filtration stages. A second stage of HEPA filtration is often used, and this could incorporate the refinements discussed above. A large sand-bed filter might also be particularly suitable for this type of duty, if complex decommissioning procedures are not required.

Although outside the strict scope of this paper, it is worth noting the desirability of efficient filtration of building air. It is both wasteful and costly to shorten the service life of highly radioactive filter plant items by loading them with particulates carried into the building from the atmosphere.

## 5. References

1. Javorsky, B. (1974), Filtration and Separation, 11, 4.
2. Warner, B.F., Davidson, A.S., Larkin, M.J. and Naylor, A. (1972) ENEA/IAEA Symposium on the Management of Radioactive Waste from Fuel Reprocessing, Paris, 27 Nov - 1 Dec.
3. Davis, R.J. and Truitt, J., (1971), O.R.N.L. 4654.
4. Burchsted, C.A. (1976) International Symposium on Radioactive Waste Management, Denver, U.S.A., July 11th - 16th.
5. Schurr, G.A., Zippler, D.B., and Guyton, D.C., (1972), Proceedings of the 12th A.E.C. Air Cleaning Conference.

6. Sykes, G.H. and Harper, J.A., (1968), I.A.L.A. Symposium on Treatment of Airborne Radioactive wastes.
7. Moyer, R.A., Crawford, J.H. and Tatum, R.E., (1974), Proceedings of the 13th A.E.C. Air Cleaning Conference.
8. Williams, J.A. (British Nuclear Fuels Ltd.) and Jackson, R.F. (U.K.A.E.A.), (1976), Unpublished study.

Summary

Air cleaning in fuel reprocessing plants throughout the world is based at present essentially upon HEPA filtration. This has proved very satisfactory to date but as throughputs increase methods with easier handling and storage procedures will be required. The paper reviews alternative approaches and identifies areas of promising medium and long term development.

In the medium term, advantages can best be obtained by a critical review of procedures and development work to increase filter life, simplify handling and disposal, and to reduce the size of filter installations. Possible ways of achieving these objectives are presented.

On the longer term, closed cycle schemes, with integrated systems for particulate removal and radioactive gas treatment, are attractive. However their application requires development work in many aspects of remote-systems technology additional to that of gas cleaning.

## HIGH EFFICIENCY FILTRATION OF LIQUID-METAL-GENERATED AEROSOLS

M. W. First  
Harvard School of Public Health  
Boston - U. S. A.

**SUMMARY.** LMFBRs circulate metallic sodium coolant at temperatures up to 600° C. In the event of a pipe rupture, core disruptive accident, or similar failure, liquid metal will be released to confinement and containment spaces and will form an aerosol whose particle size and concentration will increase with the magnitude of the sodium spill. The chemical form of the aerosol will depend on the amount of sodium released relative to the volume of the space and the contained gas composition. Metallic sodium fume, several oxides, hydroxide, and/or carbonate may be present, alone or in combination, under prevailing conditions at various sites and within compartments at the same site.

Prompt reduction of contained sodium aerosol concentrations, or venting of excess pressure through high efficiency particle removal systems, are essential steps to prevent escape of particulate matter to the environment. This can be accomplished by several methods that include recirculation of the contaminated atmosphere through filters composed of (1) deep beds of fibrous materials (2) deep beds of granular materials, such as sand (3) absolute filters and (4) cleanable fabric filters precoated with filter aids to improve collection efficiency and assist period filter cleaning. This paper will present data on filter performance for the range of sodium-containing aerosols that can result from large and small releases of hot metallic sodium into confined spaces containing air or special atmospheres and will compare the particle collection effectiveness, space and power requirements, service life, and disposal of the collected materials for the several options. Prompt reduction of in-vessel aerosols with methods that induce rapid coagulation and sedimentation by the application of violent turbulence, sonic energy, or electrostatic attraction; by aerosol scavenging with massive inert dust additions; and by a number of other innovative methods is of special interest because of their potential ability to bring down the aerosol cloud very rapidly and thereby to reduce vessel out-leakage drastically; as well as to relieve the particle load on filters. These methods will be examined as supplements to filtration methods for control of sodium-containing aerosols.

**KURZFASSUNG. HOCHLEISTUNGSFILTERUNG VON FLUESSIGEN METALLAEROSOLEN.** In LMFBRs (flüssigmetallgekühlten schnellen Brutreaktoren) dient metallisches Natrium bei Temperaturen bis zu 600° C als Kühlmittel. Bei Rohrleitungsbrüchen, Zerstörung des Reaktorkerns oder ähnlichen Störfällen, wird flüssiges Metall in die Bereiche des Sicherheitseinschlusses freigesetzt und bildet ein Aerosol, dessen Teilchengrösse und -konzentration mit der Menge des ausgeströmten Natriums ansteigt. Die chemische Zusammensetzung des Aerosols richtet sich nach der Menge des freigesetzten Natriums im Verhältnis zum Raumvolumen und zur Zusammensetzung des darin enthaltenen Gases. Metallische Natriumnebel, verschiedene Oxide, Hydroxide und/oder Karbonate können unter den jeweils vorherrschenden Bedingungen allein oder gemeinsam an verschiedenen Orten und innerhalb von Raumteilen am gleichen Ort auftreten.

Die sofortige Verringerung der Natrium-Aerosolkonzentration oder das Ablassen von Ueberdruck durch hochwirksame Systeme zur Entfernung der Teilchen sind wesentliche Massnahmen, um zu verhindern, dass teilchenförmige Stoffe in die Umwelt gelangen. Dies lässt sich anhand verschiedener Methoden erreichen, unter anderem, indem man die verunreinigte Luft

durch Filter zurückführt. Die Filter haben folgende Zusammensetzung : 1. Tiefbett-Faserfilter, 2. Tiefbettfilter aus körnigem Material wie Sand, 3. Absolutfilter und 4. Gewebefilter, die zur Erhöhung des Rückhaltevermögens vorbehandelt sind und die sich regelmässig reinigen lassen. Das Referat enthält Angaben über die Filterleistung für den ganzen Bereich der natriumhaltigen Aerosole, die bei Freisetzung grösserer und kleinerer Mengen von heissem metallischen Natrium in umschlossenen Räumen, die Luft oder andere Atmosphären enthalten, entstehen; das Teilchen-Rückhaltevermögen, die Raum- und Energiebedingungen, Standzeit und Entfernung der Filtrerrückstände für mehrere Möglichkeiten werden verglichen. Von besonderem Interesse ist die sofortige Verringerung von Aerosolen in geschlossenen Behältern mit Hilfe von Verfahren, die eine schnelle Koagulation und Sedimentation bewirken; Einsatz heftiger Turbulenzen, Schallenergie oder elektrostatische Anziehung sind hier zu nennen; ferner das Mitreissen der Aerosole durch massive Zusätze inerten Staubs und mehrere andere neue Verfahren. Die Bedeutung dieser Verfahren liegt nämlich in ihrer Fähigkeit, die Aerosolwolke sehr schnell niederzuschlagen und damit einerseits das Ausströmen aus dem Behälter drastisch zu verringern, andererseits den Teilchenbesatz der Filter gering zu halten. Diese Verfahren werden im Referat als Ergänzung zu Filterungsmethoden für die Bekämpfung von natriumhaltigen Aerosolen untersucht.

**RESUME. FILTRATION A HAUT RENDEMENT D'AEROSOLS PRODUITS PAR DU METAL LIQUIDE.** Dans les LMFBR (réacteurs surgénérateurs à neutrons rapides à métal liquide) circule un réfrigérant, qui est du sodium liquide, à des températures atteignant 600° C. En cas de rupture d'une conduite, ou du coeur ou d'autre accident analogue, le métal liquide est libéré dans les espaces de l'enceinte de confinement et forme un aérosol dont la granulométrie et la concentration croissent avec l'importance de la perte de sodium. La forme chimique de l'aérosol dépend de la quantité de sodium rejetée par rapport au volume de l'espace et de la composition des gaz contenus dans cet espace. Selon les conditions propres aux divers sites et selon les endroits d'un même site, de la vapeur de sodium métallique, divers oxydes, de la soude et/ou un carbonate peuvent être présents, seuls ou en combinaison.

Pour empêcher la fuite de particules dans le milieu ambiant, il est essentiel de réduire rapidement les concentrations en particules de sodium ou de laisser échapper l'excès de pression à l'aide de systèmes à haute efficacité de rétention des particules. Pour ce faire, on dispose de plusieurs méthodes qui consistent à faire repasser les gaz contaminés dans (1) des filtres formés d'épaisses couches de matériaux fibreux, (2) des filtres composés d'épaisses couches de matériaux granuleux tel que le sable, (3) des filtres absolus et (4) des filtres en tissu nettoyables préenduits d'agents de filtration, afin d'accroître l'efficacité de rétention et de faciliter le nettoyage périodique des filtres.

Ce rapport présente des données sur le rendement des filtres utilisés pour toute la gamme d'aérosols contenant du sodium qui peuvent résulter de rejets importants ou faibles de sodium métallique chaud dans des espaces confinés sous atmosphère d'air ou de gaz spéciaux. On y compare l'efficacité de rétention des particules, les besoins en place et en énergie, la durée d'utilisation et l'élimination des matériaux collectés dans les différents cas. La réduction rapide des aérosols libérés dans la cuve à l'aide des méthodes provoquant une coagulation et une sédimentation rapide par l'action d'une turbulence violente, ou utilisant l'énergie sonore ou l'attraction électrostatique, ou entraînant des aérosols grâce à l'addition de grandes quantités de poussières inertes, ou mettant en oeuvre un certain nombre d'autres procédés novateurs présente un intérêt particulier puisque ces méthodes sont susceptibles de précipiter très rapidement le nuage

d'aérosol, de réduire ainsi considérablement les fuites de la cuve et donc d'alléger la charge des filtres en particules. Ces méthodes seront examinées en complément des méthodes de filtration appliquées pour le contrôle des aérosols contenant du sodium.

## I. Sodium Releases from Liquid-Metal-Cooled Nuclear Reactors

Anticipated sodium releases from liquid-metal-cooled nuclear reactors range from drop-wise losses through deteriorating pump seals to a hypothetical core disruptive accident that violently discharges the entire primary sodium inventory into a containment space<sup>(1)</sup>. For power generating reactors, consideration must also be given to sodium spills from the secondary sodium system that will be located largely in a separate turbine generator building outside the containment or confinement building. Although this sodium pool will contain no fission products and will not be significantly radioactive, the chemical and toxic properties of sodium and its reaction products would become a cause for concern in the event of a major release to the environment. Therefore, engineered safeguards that usually include high efficiency air and gas cleaning devices are needed at each stage. An especially severe gas cleaning requirement is associated with a reactor containment-confinement concept that makes provision for periodic venting of the containment gases to the atmosphere to prevent overpressurization from heating plus the accumulation of hydrogen from the reaction of metallic sodium with the water of hydration released from the concrete structure under the influence of elevated temperature.

Experiences with the handling of hot sodium liquid in many types of apparatus indicate that sodium releases from less than one to several pounds are likely to occur with relative frequency whereas a disastrous loss of several hundreds or thousands of pounds of sodium is a highly improbable event even though it must be analyzed and prepared for by the application of appropriate engineered safeguards. The entire spectrum of sodium releases between these extremes must also be contained and decontaminated and together they represent a wide variation in source term, making especially difficult the selection of a single high efficiency installation to serve all purposes.

## II. The Nature of the Liquid Metal Aerosol

Published values of the average size of aerosol particles derived from heating sodium to high temperature cover a range



of values from less than one to ten-or-more micrometers in diameter - a spread of almost two orders of magnitude. This occurs because aerosol characteristics are greatly influenced by the rate at which sodium is vaporized, the oxygen concentration in the enclosure into which the sodium vapor is released, and the age of the aerosol. Basically, the slow vaporization of small amounts of sodium (relative to the volume of the space into which it is released and dispersed) results in the formation of submicrometer particles regardless of the oxygen content. High moisture content in the atmosphere will cause the particles to grow because of their extreme hygroscopicity but the effect will not be rapid or marked in ordinary atmospheres.

Large releases of high temperature sodium, especially when this occurs in normal air, result in the very rapid formation of a dense aerosol of submicrometer particles that coagulate energetically to form particles of visible size that rapidly sediment. This produces a wide particle size range, a large average size, and a high airborne concentration. Large numbers of submicrometer particles remain but the larger sizes predominate until the aerosol has aged sufficiently to lose most of the large particles by sedimentation. Water vapor causes large particles to grow by hydration, also, but large sodium releases in enclosed spaces are likely to scavenge all the available water vapor early-on so that later particles will exist in a dry gas atmosphere. Aerosols formed from an intermediate amount of sodium will share some of the characteristics of large and small releases.

The availability of oxygen affects the burning rate of sodium. Visible flames do not occur when oxygen concentration is below 5% although aerosol particle oxidation continues until the oxygen concentration falls below 0.5%. Sodium vaporization into low oxygen atmospheres, e.g., 0.5%  $O_2$  in dry nitrogen, produces aerosols containing finely divided elemental sodium that share the submicrometer size characteristics of most metal fumes. These are especially hazardous because the introduction of normal air to the finely divided sodium metal results in instantaneous violent oxidation with the production of high temperatures even after the sodium has cooled to

ambient temperature. Bohm and Jordan<sup>(2)</sup> commented on the destruction of filters when the aerosol under study deposited substantial amounts of unreacted sodium metal on the surfaces.

A few examples will serve to illustrate the range of sodium concentrations and particle sizes that result from the diverse ways in which sodium aerosols may be generated.

1. Aerosols produced from the surface of a 215 cm<sup>2</sup> pool of sodium maintained at 550°C in a flowing oxygen-free nitrogen atmosphere averaged 1.74 micrometers mass median diameter, 2.65 geometric standard deviation, and a concentration of 0.84 g/m<sup>3</sup><sup>(3)</sup>.

2. Small sodium pool fires (relative to the volume of the space into which the aerosol discharges) produce, in air, relatively large particles because there is many times the stoichiometric quantity of gases needed to convert all the evolved sodium vapor to sodium hydroxide/oxide and then to sodium carbonate. This chemical change more than doubles the weight of the original sodium particles and results in particle growth. The effect of these chemical changes has been treated quantitatively by Clough and Garland<sup>(4)</sup>. Burning of 450 grams of sodium in air in a sealed chamber of 93 m<sup>3</sup> produced aerosol particles having a mass median diameter of 4.2 μm, a geometric standard deviation of 1.8, and a concentration of 2.5 g/m<sup>3</sup><sup>(5)</sup>. The mass median diameter declined to 4.0 μm after 60 minutes and to 3.5 μm after 350 minutes. This behavior suggests that there may be processes present that are analagous to those involved in the "self-preserving aerosol" that was described by Lai, et al.<sup>(6)</sup>. The geometric standard deviation remained almost constant over the entire period. Under similar experimental conditions, Gieseke, et al.<sup>(7)</sup> reported mass median diameters over 3 μm and geometric standard deviations of 1.4-1.6 over a period of several hundred minutes.

3. When conditions were changed by increasing the sodium in the pool to 1,800 g, the resulting aerosol concentration was 8.9 g/m<sup>3</sup> and the mass median aerodynamic diameter was 6.1 μm at the start and 4.1 μm after 325 minutes. Geometric standard deviation was 2.1 at the start and 1.9 at the end. It will be obvious from this example that the size of the burning pool

relative to the enclosed space will have an important influence on the resulting aerosol characteristics.

4. Large scale sodium releases, as from a hypothetical core disruptive accident in a large reactor, have been analyzed by computer codes such as the HAA-3B used by the USERDA. The output predicts concentrations up to  $50 \text{ g/m}^3$ , a mass median diameter of  $20 \text{ }\mu\text{m}$ , and a geometric standard deviation of 3.5. This aerosol is considerably larger in size and greater in concentration than has been reported from most experimental pool fires. At HACL, we have generated high flux spray fires in our test chamber that produce aerosols that resemble closely those predicted by computer codes for very large pool fires. Atomics International, the developers of the HAA Code, reported experimental aerosol concentrations as high as  $90 \text{ g/m}^3$  in their large test vessel as a peak of several minutes duration<sup>(8)</sup>. This aerosol had a maximum particle diameter of  $10 \text{ }\mu\text{m}$ .

It will be obvious that the aerosol characterization studies that have been cited represent but a small and unsystematic sampling of a very large number of reports. Nevertheless, it will suffice to demonstrate that aerosols formed by sodium spills cover a wide range of sizes, concentrations, and chemical composition and that each of these characteristics will have an important influence on filter performance, i.e., efficiency, pressure rise, and service life.

### III. High Efficiency Filtration of Sodium Aerosols

Early studies of sodium coolants were conducted with small volumes of the metal and the aerosols arising from a maximum hot sodium release from the laboratory or pilot-scale equipment could be handled satisfactorily by a small filter installation containing HEPA filters even when the sodium was mixed with radioactive materials. As these sodium spills would be of brief duration as well as limited in size, destruction by corrosion or solution to the glass filter fibers was not a matter of concern for it was intended that the filters would be discarded following a single service.

A most important finding from these early studies was the extraordinary ease with which sodium aerosols can be filtered

at very high efficiency by conventional devices. Because of the fluffy nature and extremely low density of sodium fire aerosol particles, plus their large geometric aerodynamic size, they are easily captured and retained by high efficiency filters. The extreme difficulty that has been experienced in filtering sodium fire aerosols has been associated with the very rapid resistance rise that accompanies even small amounts of sodium particle deposition. Chemical attack is also a concern but this occurs much later. The explanation for this is simply that sodium fire aerosol particles are easily filtered, that the particles instantly collect on the filter surface to form a dense filter cake instead of penetrating into the interstices of the porous filter medium where they can be stored with only a minor increase in filter solidity and a corresponding low increase in airflow resistance. It is suspected that the light fluffy filter cake that accumulates on the filter surface collapses and consolidates under the influence of the increasing pressure differential and, thereby, greatly accelerates resistance rise. For all these reasons, it became obvious, early-on, that the basic problem associated with filtering sodium fire aerosols was not efficiency but service life and we found ourselves in the strange position of learning how to design "bad filters", i.e., those that would have a long service life because they would permit most particles to pass through for a predictable fraction of their normal service life.

The function of HEPA filters is to assure continuous high collection efficiency under all operating conditions. For sodium fire aerosol service, HEPA filters must be used with very carefully designed prefilters that are capable of (1) providing high storage capacity and (2) preventing the formation of filter cakes on the high efficiency, low storage "HEPA" filter medium. When HEPA filters are used without prefilters, their sodium loading capacity can be expressed as "the number of cm of water resistance increase per gram of sodium collected per square meter of filter surface, per cm/sec of filter face velocity". Sodium aerosols generated from heated pools in dry nitrogen (1.74  $\mu\text{m}$  mass median diameter) produce a HEPA filter resistance coefficient of 0.75 cm w.g./g Na/m<sup>2</sup>-cm/sec. Inas-

much as the design filtration velocity through the HEPA filter medium is 2.5<sup>4</sup> cm/sec., the pressure drop increase for each gram of sodium deposited on a m<sup>2</sup> of paper will be 1.9 cm w.g.; a very rapid resistance increase, indeed.

An even more serious problem arises with conventional HEPA filters because the larger particles formed when sodium burns in normal air rapidly bridge the air passages between the paper pleats and form a filter cake on the upstream face of the filter where the design velocity is 50 times higher than through the filter paper itself. Blinding of the filter face will be more rapid for the small-pleated filters than for the wider-pleated American and British designs. Blinding of the filter face was illustrated by a photograph in Figure 15 of a paper by Bohm and Jordan<sup>(2)</sup>.

A series of investigations at the Harvard Air Cleaning Laboratory<sup>(3)</sup> demonstrated that multi-media deep bed fibrous filters of graded fiber diameter and packing density are capable of collecting elemental sodium and sodium oxide aerosol particles at high efficiency and of storing large amounts of sodium within the filter with only modest filter resistance rise. A filter pack design consisting of (a) a 7.5 cm depth of woven and coiled stainless steel mesh (b) a 2.5 cm depth of flat 1000 micrometer diameter, stainless steel mesh fibers (c) a 7.5 cm depth of 95 micrometer steel fibers, packed .065-.08 g/cc (d) a 7.5 cm depth of 76 micrometer steel fibers, packed .065-.08 g/cc (e) a 3.8 cm deep layer of 47 micrometer diameter steel fibers, packed .065-.08 g/cc (f) a 3.8 cm deep layer of 27 micrometer diameter K115 glass fibers packed .024 g/cc and (g) a 3.8 cm deep layer of K115 fibers packed .05 g/cc will act as an excellent prefilter for a pleated absolute filter when collecting elemental sodium and sodium oxide fumes. It will store in excess of 3660 grams per square meter of filter face area and collection efficiency will be greater than 99.9%.

Storage of large amounts of sodium fume with low flow resistance increase is accomplished by approaching, as nearly as possible, a state of uniform particle deposition throughout the filter bed. Initially, particle collection will occur in the most efficient filter layer, the absolute filter. As the filter layer immediately upstream of the absolute filter increases in particle collection efficiency (because of particle

deposition in the interstices of the fibers), the number of particles reaching the absolute filter decreases. Soon, this upstream filter layer becomes so efficient for fume removal that particles no longer penetrate to the absolute filter. This increase in efficiency must occur before a high resistance particle layer, or filter cake, forms on the surface of the absolute filter paper. This same efficiency improvement process is repeated in the filter pack, layer by layer, until the first element, a highly porous, coarse-fibered layer, becomes an efficient filter. Ideally, the porous, large-fibered filter layers on the entry side of the filter pack will collect the greatest amount of fume in their large void spaces. collect on the greatest amount of fume in their large void spaces. Although the multi-media deep bed filter has excellent performance characteristics, it is very bulky and therefore impractical for installation inside a containment vessel or for spills greater than a few hundred pounds.

A current proposal for application to the CRBR is the use of a vented atmosphere cleanup system consisting of absolute filters preceded by scrubbers and gas heaters to prevent moisture absorption on the sodium coated filter surfaces. Atomics International used a wetted cell washer unit for many years to collect sodium fumes from their experimental pool fire facility with success and this is one of the scrubbers currently under investigation at the Harvard Air Cleaning Laboratory for this application. This type of unit has the advantage of continuously washing the captured sodium out of the fiber collectors so that it can operate for long periods at low and constant air flow resistance. By proper selection of wetted fiber packs and prehumidification of the sodium aerosol to cause water absorption and particle swelling, it is expected that removal efficiencies of 99% can be attained with simple apparatus and a resistance of only a few cms of water column.

High efficiency filtration of sodium aerosols has also been achieved with the use of industrial cleanable cloth filters precoated with filter aids that condition the fabric for high initial collection efficiency and ease of cleaning<sup>(9)</sup>. The initial studies were conducted with woven glass fiber fil-

ter bags but the alkaline attack of the sodium particles makes glass impractical in spite of its excellent heat resistance. Woven Teflon bags proved to be completely impervious to the chemical attack of the sodium compounds it collected and, when conditioned by placing a thin coating of asbestos fibers on the clean bag surfaces, they were able to collect in excess of 99% of the sodium and to operate continuously at a resistance below 15 cm w.g. at usual commercial air-to-cloth ratios even when the aerosol contained up to  $30 \text{ g/m}^3$  of sodium oxide. The fabric was cleaned repeatedly while in continuous service by shaking or by pulse jet back flow. This type of filter is capable of handling large concentrations of aerosol particles for long periods on an automatic cleaning cycle and of delivering the collected aerosol particles to a storage bin for automatic disposal. Teflon has only moderately good radiation resistance and is not recommended for long period service when the radiation exposure is likely to exceed  $10^6$  or  $10^7$  rads. Other fabrics that have superior radiation resistance have not been explored. These might include fabrics woven from stainless steel filaments 8-12 micrometers in diameter. A disadvantage of industrial cleanable fabric filters is their large space requirements although they are much more compact than the multi-media deep bed filters described earlier.

Sand bed filters have been under study for application to sodium cooled nuclear reactors by Bohm and Jordan<sup>(2)</sup> at the Nuclear Research Center, Karlsruhe, West Germany, for several years and there has been interest among those responsible for the CRBR safety design in the concept although scrubbers have priority at this time. Bohm and Jordan have demonstrated that their sand bed filters have sodium storage capacity that is greatly in excess of that of HEPA filters for the same resistance increase. However, it should be noted that the sand beds that were used had a volume of  $2 \text{ m}^3$  compared with a HEPA filter volume of  $0.23 \text{ m}^3$  and that sodium storage capacity for the sand bed was  $400\text{-}600 \text{ g/m}^2$  (face area) compared to sodium storage of  $3660 \text{ g/m}^2$  for the multi-media filter described earlier.

Like the multi-media filter, a correctly designed sand filter removes particles throughout its depth and avoids the

appearance of a filter cake at the surface or at any interface in the interior. Sand filters have excellent fire resistant properties and can be constructed to give very high collection efficiency for sodium aerosols; especially those generated in normal oxygen and water vapor atmospheres as the average particle size tends to be in excess of three micrometers diameter.

It is not clear that the sand filter gives collection efficiency that is superior to HEPA filters. This has not been the experience when comparative tests have been made at U.S. installations with non-sodium aerosols and it is certainly not correct to compare the efficiency number of a sand bed when filtering micrometer-sized sodium particles with the efficiency number of a HEPA unit when filtering 0.3 micrometer DOP. Nor is it realistic to expose HEPA filters without prefilters to high concentrations of coarse sodium aerosols. This would not be considered good design practice. The sand bed has the same disadvantage of large size as the multi-media filter and the cleanable industrial filter. Inasmuch as each one would, of necessity, have to be placed outside the containment building, a choice can be made on the basis of cost, corrosion and fire resistance, and performance requirements.

### Discussion

A number of choices are available for capturing the aerosols generated by accidental release of hot sodium coolants into inerted or normal air atmospheres. None of the options is cheap and none is small enough to be housed within the containment building. All have the capability of removing sodium aerosol particles at efficiencies in excess of 99.9% but the exact figure will vary according to the aerosol characteristics that are encountered. Fundamentally, efficiency is not a problem; sodium capacity is, and this favors the use of (1) porous beds having poor unit thickness efficiency but great depth or (2) self-cleaning units such as industrial fabric filters or scrubbers. It seems highly likely that HEPA filters will be used as the final, high efficiency filter in the gas cleaning system whichever high efficiency filter is used as a prefilter.



### References

1. First, M.W., Contamination Control of Sodium Releases from Liquid-Metal-Cooled Fast Breeder Reactors. Nuclear Safety, 13:37. (1972).
2. Bohm, L., and Jordan, S., Aerosol Formation and Filter Behavior During Sodium Fires. Report EURFNR-1338, Original Report No. KFK 2202, Nuclear Energy Research Center, Karlsruhe, Nov. 1975.
3. Viles, F. J., Jr., Himot, P. and First, M. W., High Capacity-High Efficiency Filters for Sodium Aerosols, Report NYO-841-10. Harvard Air Cleaning Laboratory, Boston, MA, August 1967.
4. Clough, W. S. and Garland, J. A., The Behavior in the Atmosphere of the Aerosol from a Sodium Fire, UKAEA Research Report AERE-R6460. Harwell, Berks. 1970
5. Hinds, W. C., Mallove, E. F., and First, M. W., Evaluation of In-Vessel Emergency Air Cleaning Systems for LMFBR. Paper 10-3, 14th ERDA Air Cleaning Conference, Sun. Valley, Idaho. Aug. 2-4, 1976.
6. Lai, F. S., Friedlander, S. K., Pich, J., and Hidy, G. M. The Self-Preserving Particle Size Distribution for Brownian Coagulation in the Free-Molecule Region. J. Coll. and Interface Sci., 39:395 (1972).
7. Giesake, J. A., Behn, R. C., Chace, A. S. and Reed, L. D. Analytic Studies of Aerosol Behavior Predictions for Fast Reactor Safety, Topical Report, Task 56, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio. 1975.
8. Greenfield, M., Koontz, R., Johnson, R., and Morewitz, H., Comparisons of Aerosol Experiments with a Model Used in Reactor Siting Evaluation. Proceedings of the 11th AEC Air Cleaning Conference. CONF-700816. Richland, Washington, 31 Aug.-3 Sept. 1970. p. 26.
9. First, M.W. and Baldwin, T., Sodium Aerosol Filtration Studies. Proceeding of the 11th AEC Air Cleaning Conference, Richland, Wash., 31 Aug.-3 Sept. 1970. p. 445.



## FILTRATION DES AEROSOLS PRODUITS PAR UN FEU DE SODIUM

G. Duverger de Cuy et J. Colome

C. E. N. Cadarache (\*)  
Cadarache - FRANCE

**RESUME.** Le système de confinement du réacteur Super Phénix prend en compte la possibilité de feux de sodium contaminés, en particulier au niveau des locaux des circuits associés au barillet de stockage du combustible. Il faut alors pouvoir contenir l'activité émise associée à une quantité d'aérosols de sodium de l'ordre de la dizaine de grammes par mètre cube.

Les études déjà effectuées au DSN (\*\*\*) avaient permis de constater que le pouvoir de rétention des filtres à très haute efficacité en amiante était nettement insuffisant puisque le chiffre retenu était de 6 grammes par mètre carré de surface filtrante alors que le débit d'aérosols à traiter serait de 200 grammes par heure et mètre carré.

Un nouveau programme de recherche sur la filtration des aérosols de sodium a donc été développé, il a pour but :

- de mieux connaître la granulométrie des aérosols produits par le feu,
- de vérifier l'efficacité des nouveaux média en fibre de verre constituant les filtres à très haute efficacité,
- de sélectionner un système de préfiltre, qui, associé au filtre à très haute efficacité, assurerait à cet ensemble un pouvoir de rétention convenable.

Les préfiltres à étudier sont :

- les cyclones agglomérateurs,
- les préfiltres à tissu (média épais - à densité variable - filtres à poches),
- les préfiltres à eau,
- les préfiltres à sable.

Le dispositif expérimental à partir duquel a été construit ce programme se compose :

- d'un caisson de 400 m<sup>3</sup> dans lequel on provoque un feu de sodium en nappe d'environ 300 kg (température de sodium 560° C, surface de combustion 2 m<sup>2</sup>),
- d'une boucle de mesure prélevant les aérosols dans le caisson et les rejetant à l'atmosphère à travers un circuit comprenant en série un préfiltre, un filtre absolu et un ventilateur.

Lors du premier essai (préfiltre à boucle de recirculation comportant un cyclone agglomérateur) le débit maintenu était de 400 m<sup>3</sup>/h, il a été porté par la suite à 1 500 m<sup>3</sup>/h ce qui permet de tester en vraie grandeur la plupart des filtres et préfiltres existant sur le marché.

Les résultats déjà acquis concernent les cyclones agglomérateurs (boucle à recirculation avec cyclone dont le rendement est de 95 %), quelques préfiltres à tissu ainsi que la capacité de rétention des filtres à très haute efficacité.

**KURZFASSUNG.** FILTRATION VON AEROSOLEN, DIE DURCH EINEN NATRIUMBRAND ERZEUGT WURDEN. Beim System des Sicherheitseinschlusses für den Reaktor "Super Phénix" wird die Möglichkeit kontaminierender Natriumbrände, insbesondere im Bereich der Kühlkreisläufe für die Brennelementlagertrommel berücksichtigt. Dabei muss es möglich sein, die mit einer Natrium-Aerosolmenge von etwa 10 Gramm pro Kubikmeter freigesetzte Aktivität zurückzuhalten. Mit Hilfe der bereits im DSN (\*\*\*) durchgeführten Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass das Rückhaltevermögen von Hochleistungs-Asbestfiltern ganz und gar unzureichend war, da die zurückgehaltene Menge 6 Gramm pro Quadratmeter Filterfläche betrug, während eigentlich eine

Aerosolmenge von 200 Gramm pro Stunde und Quadratmeter Filterfläche auszufiltrieren gewesen wäre.

Daher wurde ein neues Forschungsprogramm über die Filtration von Natriumaerosolen mit folgenden Zielen ausgearbeitet :

- Ermittlung der Korngrößenverteilung der bei einem Natriumbrand erzeugten Aerosole,
- Nachweis der Wirksamkeit neuer Glasfaserfiltermedien für Hochleistungsfilter,
- Wahl eines Vorfiltersystems, das in Verbindung mit dem Hochleistungsfilter ein angemessenes Rückhaltevermögen gewährleisten würde.

Die zu untersuchenden Vorfilter sind :

- Zyklonabscheider,
- Gewebefilter (dichte Filtermedien - variable Mediendichte - Sackfilter),
- mit Wasserversprühung arbeitende Vorfilter,
- Sandfilter.

Die Versuchsvorrichtung, auf der sich das vorliegende Forschungsprogramm aufbaut, umfasst :

- einen Raum mit einem Fassungsvermögen von  $400 \text{ m}^3$ , in dem ein Brand einer Natriumschicht von etwa 300 kg ausgelöst wird (Natriumtemperatur  $560^\circ \text{C}$ , Brandfläche  $2 \text{ m}^2$ ),
- eine Messleitung, die die im Raum befindlichen Aerosole ansaugt und sie über einen in Reihe geschalteten Vorfilter, Absolutfilter und Ventilator an die Atmosphäre ableitet.

Beim ersten Versuch (Vorfilter mit Rückführungskreislauf und Zyklonabscheider) wurde ein Durchsatz von  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  aufrechterhalten und anschließend auf  $1500 \text{ m}^3/\text{h}$  gesteigert, so dass die meisten der kommerziell verfügbaren Filter und Vorfilter im grostechnischen Massstab erprobt werden konnten.

Für Zyklonabscheider (Rückführungskreislauf plus Zyklonabscheider mit einem Wirkungsgrad von 95 %), für einige Gewebefilter sowie für das Rückhaltevermögen von Hochleistungsfiltern liegen bereits Ergebnisse vor.

SUMMARY. AEROSOLS PRODUCED BY A SODIUM FIRE. The containment system of the Super Phenix reactor takes account of the possibility of contaminated sodium fires, particularly in the vicinity of the fuel storage drum. It is thus necessary to contain the emitted radioactivity associated with a quantity of sodium aerosols of the order of some  $10 \text{ g}/\text{m}^3$ .

Investigations previously carried out at the DSN (\*\*) had shown that the retention capacity of high-efficiency asbestos filters was clearly insufficient, since the amount retained was  $6 \text{ g}/\text{m}^2$  of filter surface, whereas the amount of aerosols to be treated would be  $200 \text{ g}/\text{m}^2/\text{h}$ .

A new research programme on the filtration of sodium aerosols has thus been worked out with the aim of :

- gaining a better understanding of the granulometry of the aerosols produced by the fire;
- checking the efficiency of the new glass-fibre media of which high-efficiency filters are composed;
- selecting a prefiltering system which, in conjunction with the high-efficiency filter, would ensure a suitable retention capacity for the whole unit.

The following prefilters are under investigation :

- agglomerating cyclones;
- fabric prefilters (dense filter media - variable density filters - bag filters);
- water prefilters;
- sand prefilters.

The experimental equipment on which this programme has been based

consists of :

- a chamber of  $400 \text{ m}^3$  in which a pool fire is induced in approximately 300 kg of liquid sodium (sodium temperature  $560^\circ \text{C}$ , combustion area  $2 \text{ m}^2$ );
- a measurement circuit for extracting the aerosols from the chamber and discharging them to the atmosphere via a prefilter, an absolute filter and a fan arranged in series.

In the first experiment (recirculating prefilter consisting of an agglomerating cyclone) a rate of flow of  $400 \text{ m}^3/\text{h}$  was maintained; this was subsequently increased to  $1\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ , which permitted the testing at realistic levels of most of the filters and prefilters available on the market. Results have so far been obtained for agglomerating cyclones (recirculating loop with a cyclone of 95 % efficiency), for a number of textile pre-filters and for the retention capacity of high-efficiency filters.

---

(\*) C. E. N. = Centre d'Etudes Nucléaires

(\*\*) DSN = Département de Sécurité Nucléaire

## I - INTRODUCTION

Le système de confinement du réacteur Super Phénix prend en compte la possibilité de feux contaminés en particulier dans les locaux des circuits associés au barillet de stockage du combustible. L'accident retenu est un feu de sodium en nappe consécutif à une rupture de canalisation dans un de ces locaux. Les aérosols produits par le feu sont alors repris par le système de ventilation du réacteur qui comprend des filtres à très haute efficacité. Il doit pouvoir contenir l'activité émise associée à une quantité d'aérosols de sodium de l'ordre de la dizaine de grammes par mètre cube. (1).

Les études déjà réalisées au Département de Sûreté Nucléaire, dans ce domaine, avaient été effectuées sur des filtres à très haute efficacité à média d'amiante. Elles avaient montré que le pouvoir de rétention de ces filtres, vis à vis des aérosols de sodium, était nettement insuffisant: le chiffre retenu était de 6 grammes par mètre carré de surface filtrante. Le débit d'aérosols à traiter pour une concentration de 10 g/m<sup>3</sup> serait de 200 grammes par heure et mètre carré de surface filtrante (vitesse de passage sur les filtres = 0,5 cm/s).

Il était donc nécessaire de reprendre l'expérimentation pour :

- mesurer l'efficacité et le pouvoir de rétention des nouveaux filtres à très haute efficacité en fibre de verre.
- sélectionner un système de préfiltre qui, associé aux filtres à très haute efficacité, assurerait à l'ensemble un pouvoir de rétention convenable.

## II - PROGRAMME D'ETUDE

Le programme mis en oeuvre au Département de Sûreté Nucléaire à Cadarache revêt les trois aspects suivants :

### II - 1. La mesure de l'efficacité et du pouvoir de rétention des filtres à très haute efficacité

On se propose essentiellement de tester les cellules à très haute efficacité en média de verre disponibles sur le marché (SOFILTRA - AMERICAN AIR FILTER).

### II - 2. La mesure du pouvoir de rétention des systèmes de préfiltre suffisamment fiables et compatibles avec des aérosols de sodium

Nous avons retenu :

- les cyclones agglomérateurs,
- les préfiltres à tissu (média épais, média à densité variable, filtre à poches),
- les laveurs à eau,
- les préfiltres à sable.

## II - 3. La granulométrie des aérosols produits par les feux de sodium

A chaque essai des mesures granulométriques au niveau des filtres sont effectuées pour relier l'évolution de la perte de charge aux dimensions des aérosols de sodium.

Compte tenu des concentrations, des débits et de la nature des aérosols nous avons retenu, pour ces mesures, les centripéteurs de Hounam (2) dont les prélèvements sont analysés par absorption atomique. Quelques mesures par précipitateur thermique ou par impacteur du type Andersen (3) sont également prévues pour recouper les résultats fournis par les centripéteurs

## III - DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Le dispositif expérimental se compose d'un générateur d'aérosols de sodium et d'un circuit d'extraction comprenant le préfiltre à tester.

Le générateur est constitué par un caisson de 400 m<sup>3</sup> dans lequel on provoque un feu de sodium en nappe d'environ 300 kg et d'une durée de plusieurs heures. Le circuit d'extraction est variable selon le type d'essai envisagé.

Dans le cas des essais liés au préfiltre à cyclone agglomérateur ce circuit d'un débit de 400 m<sup>3</sup>/h (schéma n°1) était constitué :

- du préfiltre à cyclone,
- d'un filtre à très haute efficacité,
- d'un ventilateur de 400 m<sup>3</sup>/h,
- d'une canalisation de rejet à l'atmosphère.

Dans le cas des autres essais de préfiltres le circuit d'extraction comprend deux branches identiques d'un débit unitaire de 1500 m<sup>3</sup>/h permettant d'expérimenter deux types de préfiltres différents lors d'un même feu. Le choix du débit permet, de plus, de tester à l'échelle 1 la plupart des filtres et préfiltres disponibles sur le marché. Chaque branche comprend en série 3 caissons permettant d'implanter les différents filtres et préfiltres (schéma n°2).

L'efficacité des filtres est mesurée à partir de prélèvements isocinétiques dans la gaine du circuit en amont et en aval du filtre.

Le pouvoir de rétention est obtenu par acidimétrie ou absorption atomique des solutions de lavage des éléments filtrants.

Les circuits sont désassemblés et lavés après chaque essai, le dosage des solutions de lavage permet ensuite de déterminer le bilan des dépôts d'aérosols dans la boucle et de mesurer le rendement des préfiltres.

#### IV - RESULTATS OBTENUS

##### IV - 1. Mesure de l'efficacité et du pouvoir de rétention des filtres à très haute efficacité

Un seul filtre à très haute efficacité a été testé à ce jour en ce qui concerne l'efficacité, il s'agit des diédres SOFILTRA type VVM2 de 3,5 m<sup>2</sup> de surface. L'efficacité définie en terme de coefficient d'épuration, c'est-à-dire comme le rapport de la quantité de sodium déposée sur le filtre de prélèvement amont sur la quantité de sodium déposée sur le filtre aval a été trouvée supérieure à 10<sup>3</sup>.

Le terme "supérieur à" est employé car la valeur des dépôts de sodium sur le deuxième filtre de prélèvement est inférieure à deux fois le bruit de fond sodium. La valeur exacte de l'efficacité sera redéterminée au cours d'un essai ultérieur en sélectionnant un autre filtre de prélèvement.

La mesure du pouvoir de rétention a été effectuée sur deux cellules SOFILTRA 1506 de 45 m<sup>2</sup> de surface filtrante. Le pouvoir de rétention est la quantité de sodium nécessaire au colmatage (augmentation de la perte de charge aux bornes du filtre de 200 mm CE) par unité de surface filtrante. Il peut être également rapporté non plus à l'unité de surface filtrante mais à l'unité de débit de ventilation ce qui permet de comparer entre eux des systèmes de filtration ayant des surfaces différentes ou ne mettant pas en oeuvre des médias filtrants.

#### POUVOIR DE RETENTION DES FILTRES A TRES HAUTE EFFICACITE

Essai n°	Quantité de sodium retenue par filtre g	Pouvoir de rétention en	
		g/m <sup>2</sup> de surface filtrante	g/m <sup>3</sup> /h de débit de filtration
LUCIFER 7	193 (S=4x3,5m <sup>2</sup> )	13,7	0,48
EFAS 4	278 (S = 45 m <sup>2</sup> )	6,2	0,19

##### IV - 2. Essais de préfiltres

###### IV - 2.1. Préfiltre à cyclone agglomérateur

Le principe de fonctionnement du préfiltre consiste à agglomérer les aérosols et à les piéger dans une boucle de recirculation comportant un cyclone agglomérateur.

L'efficacité du piégeage est due :

- à l'utilisation d'un cyclone agglomérateur,



- au choix d'un débit de recirculation élevé (2500 m<sup>3</sup>/h) égal à environ 6 fois le débit extrait du caisson (400 m<sup>3</sup>/h), les aérosols tournent donc plusieurs fois dans le cyclone avant de sortir de la boucle.
- enfin au choix d'une vitesse de passage dans les tuyauteries d'environ 14 m/s, correspondant à un régime très turbulent.

Lors de l'essai de ce dispositif on a piégé 5,13 kg d'aérosols sur les 5,38 kg ayant pénétré dans la boucle de recirculation, ce qui correspond à un pouvoir de rétention de 12,8 grammes par mètre cube et par heure de débit de ventilation et à un rendement de préfiltre de 95,4 %. (Le rendement est défini comme le rapport  $\frac{\text{quantité retenue par le préfiltre}}{\text{quantité incidente}} \times 100$ ).

#### IV-2.2. Préfiltre à densité variable

Le préfiltre à densité variable est un préfiltre dont la densité est croissante dans le sens du passage de l'air, le nombre de fibres augmente progressivement tandis que leur diamètre diminue. L'avantage essentiel de ce média est que celui-ci se charge sur toute son épaisseur lui donnant un pouvoir de rétention élevé. Le média utilisé était le ROLL-O-MAT d'Américan Air Filter dont le pouvoir de rétention théorique est de 1600 à 3000 grammes de poussière par m<sup>2</sup> de surface filtrante. Il était suivi d'une cellule à très haute efficacité SOFILTRA 1506 qui a été colmatée lors des deux essais effectués.

#### POUVOIR DE RETENTION D'UN ENSEMBLE DE FILTRATION COMPRENANT UN PREFILTRE A DENSITE VARIABLE ET UN FILTRE A TRES HAUTE EFFICACITE

Essai n°	Quantité de sodium retenue g	Pouvoir de rétention en :	
		g/m <sup>2</sup> de surface filtrante	g/m <sup>3</sup> /h de débit de ventilation
EFAS 3	Préfiltre à densité variable 34 (0,36m <sup>2</sup> )	95 *	0,02
	Filtre à très haute efficacité 96 (45m <sup>2</sup> )	2,1	0,07
	————— 130		————— 0,09
EFAS 4	Préfiltre 167 (0,36m <sup>2</sup> )	463 *	0,11
	Filtre $\frac{270}{437}$ (45m <sup>2</sup> )	6	$\frac{0,18}{0,29}$

\* Ces valeurs sont inférieures au pouvoir de rétention indiqué par le fabricant. Ce résultat n'a rien d'anormal car le préfiltre n'a pas été colmaté au cours de l'essai.

Les résultats de ces essais montrent d'une part que l'adjonction de préfiltres n'entraîne pas un piégeage important des aérosols sur les préfiltres et d'autre part que le pouvoir de rétention de l'ensemble préfiltre plus filtre reste du même ordre de grandeur que celui des filtres à très haute efficacité.

IV- 2.3. Préfiltre à deux étages constitué d'un étage de filtre à moyenne efficacité mais haut pouvoir de rétention et d'un étage à haute efficacité

L'étage à moyenne efficacité est constitué par un préfiltre à densité variable (ROLL-O-MAT) celui à haute efficacité par un filtre à fibre de verre VARICEL (American Air Filter).

Il est suivi d'un filtre à très haute efficacité SOFILTRA 1506.

POUVOIR DE RETENTION D'UN ENSEMBLE DE FILTRATION  
 COMPRENANT UN PREFILTRE A DENSITE VARIABLE UN  
 UN FILTRE VARICEL ET UN FILTRE A TRES HAUTE EFFICACITE

Essai n°	Quantité de sodium retenue g	Pouvoir de rétention en :	
		g/m <sup>2</sup> de surface filtrante	g/m <sup>3</sup> /h de débit de ventilation
EFAS 3	Préfiltre à densité variable 612 (s=0,36m <sup>2</sup> )	1700	0,41
	Filtre Varicel 498 (s=11m <sup>2</sup> )	45	0,33
	Filtre à très haute efficacité 44 (s=45m <sup>2</sup> )	1	0,03
	----- 1154		----- 0,77

L'examen de l'augmentation de la perte de charge aux bornes des éléments du système de filtration a montré que le colmatage s'est situé au niveau de l'ensemble (préfiltre à densité variable, filtre varicel) qui était placé dans le même caisson et plus probablement au niveau du préfiltre varicel.

#### IV - 3. Mesure de la granulométrie des aérosols

Les mesures effectuées à la sortie du caisson ont montré que la taille des aérosols variait d'un feu à l'autre et au cours d'un même feu.

Les diamètres médian-massiques ont varié de  $0,4\mu\text{m}$  à  $9,8\mu\text{m}$  et les écarts types de 1,8 à 4,3.

On donne ci-dessous l'évolution de la concentration et de la granulométrie lors de l'essai EFAS 03.

#### EVOLUTION DE LA CONCENTRATION ET DE LA GRANULOMETRIE A LA SORTIE DU CAISSON LORS DE L'ESSAI EFAS 03

Temps après le début du feu (mn)	20	35	50	80	105
Concentration g/m <sup>3</sup>	2,85	2,7	4,5	10	2,9
Ø médian massique	4	5,2	9,8	8,6	8,2
Ecart type	2,93	2,45	3,59	2,49	3,67

Les recoupements effectués avec l'impacteur d'Andersen donnent des résultats du même ordre de grandeur.

Par contre nous n'avons pas actuellement fait d'interprétation permettant de relier la mesure du pouvoir de rétention à la granulométrie des aérosols étant donné le petit nombre d'essais effectués.

#### V - CONCLUSION

Les conclusions qui peuvent être tirées actuellement sont très fragmentaires compte tenu de l'état d'avancement du programme.

Les essais de médias filtrants ne sont pas terminés.

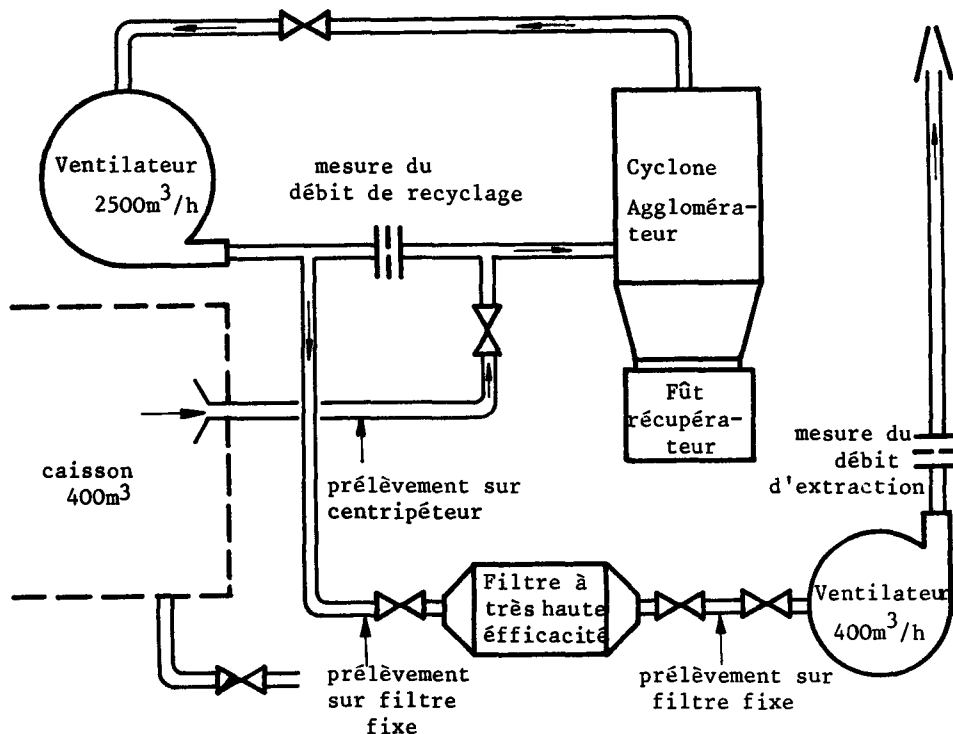
Les essais de préfiltres à eau et à sable n'ont pas encore commencé.

On peut néanmoins retenir que :

- le pouvoir de rétention moyen des filtres à très haute efficacité est du même ordre de grandeur que celui obtenu avec les médias en amiante environ 6 g/m<sup>2</sup> de surface filtrante.

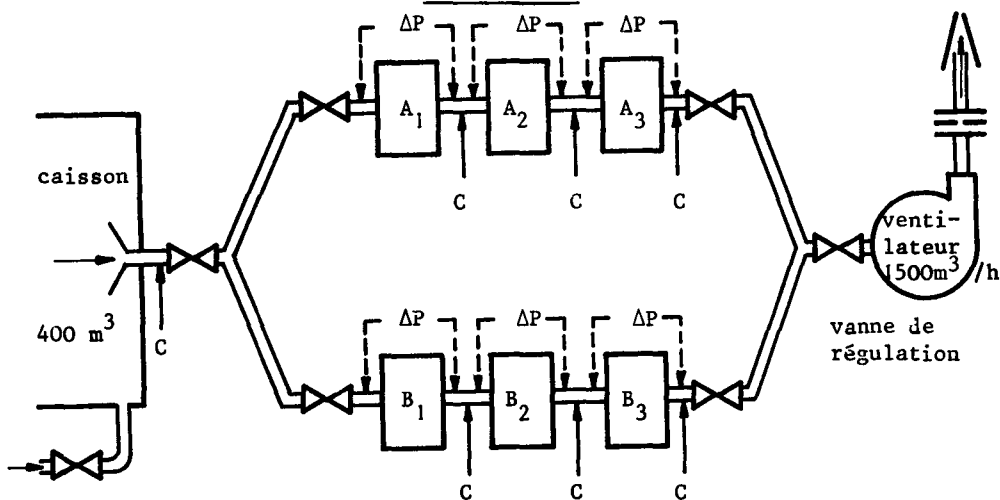
- l'efficacité de ces mêmes filtres est  $> 10^3$ .
- le préfiltre à cyclone agglomérateur est celui qui, parmi les préfiltres essayés, donne le plus grand pouvoir de rétention vis à vis des aérosols de sodium.

Encore faut-il dimensionner les filtres à très haute efficacité placés derrière, pour que l'ensemble préfiltres + filtres puisse contenir la totalité des aérosols sans colmatage des filtres de sortie.



CIRCUIT DE FILTRATION DES AEROSOLS DE SODIUM

SCHEMA N°1



CIRCUIT DE FILTRATION DES AEROSOLS DE SODIUM

PROGRAMME EFAS BOUCLE DE 1500 m³/h

SCHEMA N°2

BIBLIOGRAPHIE

- (1) COLOME (J.) GUERIN (PH.) JACQUES (J.) MALET (J.C.)  
Confinement et filtration d'aérosols produits par un feu de sodium sur un réacteur à neutrons rapides.  
VII<sup>ème</sup> congrès de la Société Française de radioprotection  
Versailles 28 - 31 Mai 1974
  
- (2) HOUNAM (RF.) SHERWOOD (R.J.)  
Centripeteur en cascade : un instrument pour déterminer la concentration et la répartition granulométrique des aérosols.  
American Association Journal - Mars-Avril 1965
  
- (3) RENOUX (A.) BUTOR (J.F.) TYMEN (G.) MADELAINE (G.)  
Détermination directe des caractéristiques d'un impacteur Andersen en atmosphère peu polluée.  
Application à l'étude granulométrique de l'aérosol atmosphérique  
Colloque ANDERSEN - PARIS - Décembre 1975

-----

## EXPERIMENTS ON HIGH EFFICIENCY AEROSOL FILTRATION

M. Mazzini  
University of Pisa  
Pisa - ITALY

A. Cuccuru and P. Kunz  
C. A. M. E. N. (\*)  
Pisa - ITALY

SUMMARY. Research on high efficiency aerosol filtration by the Nuclear Engineering Institute of Pisa University and by CAMEN in collaboration with CNEN (\*\*\*) is outlined.

HEPA filter efficiency was studied as a function of the type and size of the test aerosol, and as a function of flowrate ( $\pm 50$  % of the nominal value) air temperature (up to 70° C) relative humidity (up to 100 %) and durability in a corrosive atmosphere (up to 140 hours in NaCl mist).

In the selected experimental conditions these influences were appreciable but are not sufficient to be significant in industrial HEPA filter applications.

Planned future research is outlined :

- measurement of the efficiency of two HEPA filters in series using a fixed particle size;
- dependence of the efficiency on air temperatures up to 300-500° C;
- performance when subject to smoke from burning organic materials (natural rubber, neoprene, miscellaneous plastics).

Such studies are relevant to possible accidental fires in a plutonium laboratory.

KURZFASSUNG. VERSUCHE AUF DEM GEBIET DER HOCHWIRKSAMEN FILTRIERUNG VON AEROSOLEN. Das vom Institut für Nukleartechnik der Universität Pisa und dem CAMEN in Zusammenarbeit mit dem CNEN (\*\*\*) entwickelte Forschungsprogramm für hochwirksame Filtrierung von Aerosolen wird kurz dargestellt.

Die Wirksamkeit von HEPA-Filtern wurde als Funktion der granulometrischen Eigenschaften und der Art des Prüfaerosols, des Durchsatzes ( $\pm 50$  % des Nennwerts), der Lufttemperatur (bis zu 70° C) sowie der relativen Luftfeuchtigkeit (bis zu 100 %) und der Lebensdauer in einer korrodierenden Atmosphäre (bis zu 140 h in einem NaCl-Nebel) untersucht. Eine solche Beziehung ist unter den gewählten Versuchsbedingungen zwar feststellbar, doch ist sie ohne Bedeutung für eine industriemässige Anwendung der HEPA-Filter.

Es folgt eine kurze Uebersicht über die geplanten zukünftigen Forschungen :

- Messung der Wirksamkeit von zwei in Reihe geschalteten HEPA-Filtern unter Verwendung eines Prüfaerosols mit definierter Teilchengrösse;
- Abhängigkeit der Wirksamkeit von der Temperatur der durch den Filter strömenden Luft (bis zu 300° C oder 500° C);
- Verhalten des HEPA-Filters beim Filtrieren von Rauch, der beim Verbrennen organischen Materials (Kautschuk, Neopren, Kunststoffe) entsteht.

Diese Untersuchungen sind interessant im Hinblick auf einen Brand in einem Plutonium-Labor.

RESUME. EXPERIENCES SUR LA FILTRATION A HAUTE EFFICACITE DES AEROSOLS. Ce rapport présente le programme de recherche sur la filtration à haute efficacité des aérosols qui a été élaboré par l'Institut d'Ingénierie Nucléaire de l'Université de Pise et par le CAMEN en collaboration avec le CNEN (\*\*\*) .

Le rendement des filtres absolus a été étudié en fonction tant de la granu-

lométrie et de la nature de l'aérosol d'essai que du débit ( $\pm$  50 % de la valeur nominale), de la température de l'air (jusqu'à 70° C) et de son humidité relative (jusqu'à 100 %) ainsi que du temps de séjour en atmosphère corrosive (jusqu'à 140 heures dans un brouillard de NaCl).

Dans les conditions expérimentales choisies, l'influence de ces facteurs est sensible mais sans conséquence pour les applications industrielles des filtres absolus.

Les recherches s'orientent maintenant vers :

- la mesure de l'efficacité de deux filtres absolus en série, à l'aide d'un aérosol de granulométrie définie;
- l'étude de l'influence de la température de l'air (jusqu'à 300 ou 500° C) sur l'efficacité du filtre;
- l'étude du comportement de filtres absolus à des fumées de combustion de diverses matières organiques (caoutchouc, néoprène, plastiques).

Cette orientation est faite dans le contexte d'un incendie affectant un laboratoire de plutonium.

---

(\*) CAMEN = Centro Applicazione Militare Energia Nucleare

(\*\*) CNEN = Comitato Nazionale per l'Energia Nucleare



## 1. INTRODUCTION

HEPA filters have been on the market for several years: form and size are standardized and materials are selected for the most varied conditions of use. Utilization today of such filtering units is very extensive, particularly in nuclear plants and laboratories equipped with dynamic containment systems, for treating radio-active substances eventually released for process or accidental reasons.

However, it must be noted that HEPA filter efficiency is measured by standard tests: i.e. with standard aerosols and under standard conditions, generally different from the working ones.

Also the test methods on HEPA filter capability in not usual conditions are conventional. E.g., to study the high temperature effect, first the efficiency of the filter at room temperature is measured, the filter is placed in an oven and temperature is maintained constant for several hours; the filter is then cooled and the efficiency test is repeated. Clearly such a procedure allows only to verify the resistance of the filter under a heating cycle, but it doesn't give any indication about its efficiency to retain an aerosol transported by air at elevated temperatures.

On the basis of the above mentioned considerations and of the experience acquired in setting up various methods for control of HEPA filters (1)(2)(3), a complete analysis was carried out to determine the conditions in which the filters have to operate (4). A research program was then set, taking into account the appropriate equipment available by the Nuclear Engineering Institut of Pisa University and CAMEN.

During the last few years experiments have been carried out tending to verify the influence upon the HEPA filter's behaviour of :

- a) granulometry and nature of the aerosol;
- b) flow-rate through the filter (in the range  $0.5 \pm 2$  QN);
- c) temperature (up to 70 °C) and relative humidity (up to 100%) of the air.

## 2. TEST PROCEDURE AND EXPERIMENTAL EQUIPMENT

Two procedures were used in studying the influence of the granulometry and nature of the aerosol on the HEPA filters efficiency.

A series of commercial filters Vokes and Micretain (with QN = 1700 m<sup>3</sup>/h) was tested with standard procedure, using aerosols of different MMD.

In the second case aerosol samples were simultaneously collected up and downstream by Millipore filters. The collected aerosol was transferred onto Formvar discs, using a particular treatment (6), and photographed by electronic microscopy. The analysis of the photographs was conducted at the Health

Physics Laboratory of CNEN in Bologna.

Utilized was the circuit for HEPA filters classification, indicated in (2)(5). With this circuit, efficiency tests were carried out versus air flow-rate and temperature. Then a set of experiments were run to study how stay-time in a sodium chloride fog chamber may affect filter efficiency. These last tests were conducted on various types of commercial filters (60 x 60 x 30 cm dimensions), by the procedure further described. Each filter was closed in the "fog" chamber and then immersed in a salt atmosphere generated by spraying a 20% sodium chloride solution; the temperature in the "fog" chamber was maintained constant at 25 °C. After a fixed stay time in the "fog" chamber, the filter was removed and dried using a warm air flow (at 50 °C) for one day (also to remove the salt deposited on the filters). A visual examination was carried out to observe the condition of the filter and the efficiency measurement was repeated using the NaCl method.

To test the change in filter efficiency with the air's temperature and relative humidity, the method using an aerosol of condensation nuclei labelled with  $Pb^{212}$  was utilized (7). For this purpose a 10 mCi source of  $Th^{228}$  was employed. The source was inserted in the aerosol tracing unit whose flow-sheet is shown in Fig. 1. The tracing is conducted by circulating in a closed cycle the air inside the circuit, where the aerosol has been previously introduced. In this way the  $Rn^{220}$ , formed by decay of  $Th^{228}$ , is continuously extracted and decay permits the tracing of the aerosol with  $Pb^{212}$ .

In Fig. 2 the flow-sheet of the experimental equipment is shown. The main components of the equipment are the containment model<sup>(°)</sup> and the recycle circuit of the PSICO 10 facility (8). The MDC internal atmosphere is recycled and all the circuit is adjusted according to test conditions. The labelled aerosol is then conveyed to the experimental loop in about 10 mins; simultaneously two samples of the air flowing in the equipment are collected up- and downstream by Millipore filters. Finally the two sampling filters are removed and the activity deposited on them measured.

### 3. EXPERIMENTAL RESULTS

#### a) Influence of aerosol granulometry and nature on HEPA filter efficiency

In Table I the experimental conditions are shown in which the tests were carried out using an aerosol of condensation nuclei (Fig. 3).

In Fig. 4 the spectra of two aerosol samples collected up-and downstream the filter during the first run are shown.

<sup>(°)</sup> In the rest of this article the PSICO 10 containment model is indicated as MDC.

The analysis of the results clearly shows that, with the test aerosol, the filter presents a minimum efficiency ( $\epsilon_{\min} = 99.988$ ) for particles of diameter in the range  $0.02 \pm 0.025 \mu\text{m}$  (Fig. 5); the efficiency sharply increases for lower dimensions ( $\epsilon = 99.995$  for  $D = 0.01 \mu\text{m}$ ) and more gradually for greater dimensions ( $\epsilon = 99.995$  for  $D = 0.07 \mu\text{m}$ ).

The results of one repeated run agree with the first ones; the efficiency versus particle diameter curve (Fig. 5) shows a slight increase of efficiency, caused by filter blocking, indicated by  $\Delta_p$  increase (see Table I).

The presence of a minimum for values of particle diameters, a factor of roughly 10 lower with respect to what is generally in filtration theory (9)(10), is confirmed by these tests even though the found efficiency variation is relatively modest. It may be that the nature of the aerosol used, for phenomena of electrostatic type, influenced the position of the minimum of the efficiency versus particle diameter curve in the test indicated above.

A series of runs has also been carried out on Vokes and Micretain commercial filters using NaCl aerosols with MMD ranging from 0,3 to 12  $\mu\text{m}$ . The results, for all the examined filters, confirm the decrease of efficiency with the lowering of MMD (Table II); no filter yet, at least in the range of granulometry examined, shows a minimum of efficiency, perhaps also because the minimum value of MMD tested is always relatively high.

Surprising were on the contrary the results obtained on two other filters Vokes type H66 (QN = 425  $\text{m}^3/\text{h}$ ), with a DOP measured efficiency greater than 99.995 %: using an aerosol of condensation nuclei, the penetration increased of a factor between 100 and 300 (tests n° 1 + 4 of Table III).

Such results, in agreement with previous works, even though not in such high proportions (5), suggest keeping in consideration the granulometry and nature of the aerosol in installations having functions of safety and/or radioprotection.

#### b) Efficiency of HEPA filters versus air flow-rate

A series of runs was conducted on different types of HEPA filters (QN = 1700  $\text{m}^3/\text{h}$ ) using NaCl aerosols with MMD equal to 0.3  $\mu\text{m}$  varying the flow-rate between 1000 and 2250  $\text{m}^3/\text{h}$ .

From the analysis of the results (Table IV), a maximum of penetration for Q values around nominal value was found. The results are also confirmed by other tests carried out on filters with QN = 425  $\text{m}^3/\text{h}$  (runs 3, 5 of Table III).

#### c) Influence of permanence in a sodium chloride "fog" chamber on HEPA filter efficiency

The experimental results (Table V) indicate that the examined filters conserve almost unaltered the original efficiency:

the differences noted are imputable to normal experimental error. Only two types of filter (Vokes 55/5 and Micretain 7A), after 24 hours of permanence in the "fog" chamber, show a penetration increase, even though low. The filtering material in any case resisted the salt corrosion well.

In contrast, inconveniences are verified on the chassis, spacings and gaskets of all the examined filters. These phenomena in the long run may cause inefficiency of the filtration system: indeed, as suspected, after only 20 hours in the "fog" chamber, the wooden chassis absorbed water and swelled while the metal ones corroded and rusted.

d) Efficiency of HEPA filters versus air temperature and relative humidity

The tests were conducted in strict connection because it wasn't suitable to perform separately the tests on the influence of the temperature and those on the influence of the relative humidity, at least in the range of temperature selected. Indeed, the results of a series of preliminary runs, carried out on different filters using NaCl aerosol with MMD = 0.3  $\mu\text{m}$  in the range 20  $\pm$  70  $^{\circ}\text{C}$ , show no significant variations of efficiency (Table VI).

The series of runs at various relative humidities was performed on two HEPA filters (Vokes type H66), with QN = 425  $\text{m}^3/\text{h}$  and efficiency  $\geq 99.995\%$  (measured by the DOP method).

Naturally, these filters underwent preliminary tests with the DOP and condensation nuclei methods in the laboratory, to obtain reference data for the projected tests.

Only one filter was tested with the use of the aerosol of condensation nuclei traced by  $\text{Pb}^{212}$ ; the other filter, held in reserve, was not used. From the analysis of the results (Table II - runs 5  $\pm$  10) the following conclusions can be drawn:

- the efficiency measurements, carried out with the condensation nuclei method and with the traced aerosol, keeping still the other experimental parameters, are comparable.
- temperature (up to 65  $^{\circ}\text{C}$ ) and relative humidity (up to 90 %) don't seem to affect the efficiency of the examined filters: the differences of efficiency values obtained under these different operating conditions are within the limits of experimental error ( $^{\circ}$ ).

---

( $^{\circ}$ ) With regard to the high standard deviation of the results, it's opportune to point out that they are related to the modest level of activity in the traced aerosol ( $< 10\ \mu\text{Ci}$ ); it's noticeably smaller (by a factor 100) than that which one might expect with the use of a 10 mCi source of  $\text{Th}^{228}$ .

The further dilution of such a modest activity in the volume of air which passes through the HEPA filter during the run ( $\sim 80\ \text{m}^3$ ) and the sampling of a rather limited volume

→

#### 4. LINE OF FUTURE DEVELOPMENT

Even though not fully comprehensive, this work allowed the acquisition of considerable experience, sufficient to meet Italian demands of the last ten years. Such an experience is, moreover, the basis of the standards in vigour or in course of approval in our Country (5).

New demands in the radioprotection field have occurred in these last months in relation to plutonium processing laboratories.

The health hazard of such material is such as to require, before discharge, the filtration through HEPA filters in series of the air removed from work environments.

The first problem which comes up is to verify experimentally the penetration through two HEPA filters in series: supposing to be  $10^{-4}$  the penetration of each single filter, is the series efficiency really 99.999999 % ?

To answer the question, it is necessary the availability of a method having sufficient sensitivity for running the tests in a reasonable time period (several hours at the most). The uranine method has been considered, being the most sensitive of the standard methods: it permits indeed to determine, under normal conditions, penetration up to  $10^{-6}$ .

Using a fluorometer Turner -101, with particular operative accuracy we succeeded in extending the sensitivity range by a factor of 10 (see the curve of calibration in Fig. 6); penetration levels of  $10^{-8}$  can be therefore detected by increasing the concentration of the aerosol entering the filter series.

For such a purpose, it was thought to use a polydispersed aerosol with MMD of order of some  $\mu\text{m}$ , to cover the whole granulometry spectrum which the filters could be called on to treat (11).

Other problems arise with the consideration of possible accidents, before all that of a fire; it's necessary in such a case to verify that the filtrating system conserves its proper function if it treats for long periods air at high temperatures (up to  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) carrying large quantities of smoke which originate from the combustion of organic materials plastics, neoprene, etc.

In the above-mentioned perspective, preliminary tests were conducted on two glove box filters in series (Type Schneider-

→ of air ( $15 \pm 20$  liters) makes efficiency measurements difficult even though credible. Indeed the activity of the downstream Millipore sample results only  $3 \pm 5$  times greater than the background; the error that derives could hide, in part, the eventual variations of the efficiency of the examined filter, caused by the conditions in which the tests are carried out.

-Poelman amianthus paper and pink paper HYN 100 % with QN = 50 m<sup>3</sup>/h).

The efficiency of each filter was measured with aerosols of different nature and dimensions, before and after the tests on the series, and the results are shown in Table VII.

In Table VIII the results of the tests on the series are shown. Some couples of above indicated filters and different test aerosols<sup>(°)</sup> were used. While the efficiencies of the filters in amianthus paper (the first of the series) always agree with the values of Table VII, the penetration through the following filters in pink paper results 100 + 1000 times greater than those of the same filters tested singularly.

It's thought that the reason for such a behaviour is found in phenomena of electro-static nature (12), the same that justify the results shown at the end of point 3.a).

According to the lines previously mentioned it is our purpose of giving a new impulse to the research upon HEPA filters in the near future. In particular it is foreseen to conduct upon HEPA filters of 60x60x30 cms the following types of experiments:

- determination of the efficiency of two filters in series;
- determination of the resistance of a system of prefilter (spark catcher) and HEPA filter to blocking due, to the filtration of smokes produced by combustion of some tens of Kgs of organic materials;
- determination of the variation of the efficiency of a filter (or bank of filters) with the duration of exposition to a flow of air at high temperatures (up to 350 °C or 500 °C).

---

(°) The same result of the tests permitted the use of various methods.

REFERENCES

- 1 - MUZZI F. et alii: "Il controllo dei filtri assoluti installati sugli impianti nucleari". Notiziario C.N.E.N., anno 15, n. 10, ottobre 1969.
- 2 - LANZA S. et alii: "Il controllo dei sistemi filtranti installati negli impianti nucleari". Atti del Convegno Nucleare di Pisa, C.N.E.N., marzo 1971.
- 3 - DAVIES R.E., CLIFTON J.J.: "A new method for in situ testing high efficiency air filters using condensation nuclei as the test aerosol". Filtration - Separation, Nov.-Dec. 1966.
- 4 - ISTITUTO DI IMPIANTI NUCLEARI DELL'UNIVERSITA' DI PISA: "Relazione al CNEN sull'attività svolta nel campo della sicurezza nucleare nell'anno 1972". RL 142(73). Tip. Edit. Pisana, Pisa, gennaio 1973.
- 5 - MAZZINI M.: "In situ and in laboratory testing of HEPA Filters in Italy". Paper presented at the 3<sup>rd</sup> session of this Seminar.
- 6 - KALMUS E.H.: "Preparation of Aerosols for Electron Microscopy". J. Appl. Physic., 25-1-1954.
- 7 - HASENCLEVER D.: "The testing of high-efficiency filters for the collection of suspended particles". Inter. Symp. on Fission Product Release and Transport Under Accident Conditions, Conf. 650407 USAEC (1965) 805.
- 8 - GUERRINI et alii: "L'apparecchiatura sperimentale PSICO 10". Notiziario del CNEN, anno 18, n. 10, Roma, 1972.
- 9 - KEILHOLTZ G.W.: "Filters, sorbents and air cleaning systems as engineered safeguards in nuclear installations". ORNL-NSIC-13, Oak Ridge, october 1966.
- 10 - DAVIES G.N.: "Recent advances in aerosol research". Ed. Pergamon Press, London, 1965.
- 11 - CUCCURU A. et alii: "Misure di efficienza di un sistema costituito da due filtri per particelle, in serie". Atti del Convegno dell'Associazione Italiana di Fisica Sanitaria e Protezione dalle Radiazioni, Pisa, 28/29 ottobre 1976.
- 12 - ETTINGER H.J. et alii: "Performance of multiple HEPA filters against plutonium aerosols for period January 1 through June 30, 1973, LAS 349-PR, June 1973.

LIST OF SYMBOLS

$C_1$	: Uranine concentration	(gr/liter)
$C_m$	: Condensation nuclei concentration entering the filter	(nuclei/cm <sup>3</sup> )
$C_v$	: Condensation nuclei concentration leaving the filter	(nuclei/cm <sup>3</sup> )
$D$	: Diameter of Particles	( $\mu$ m)
$D_{min}$	: Diameter of minimum filtration efficiency Particles	( $\mu$ m)
$D_n$	: Mean numerical diameter of the aerosol	( $\mu$ m)
$f$	: Fraction of particles whose diameter is included in a stated range	
MMD	: Mean mass diameter of the aerosol	( $\mu$ m)
$p$	: Penetration through the filter	(%)
$Q$	: Flow rate across the filter	(m <sup>3</sup> /h)
$t$	: Permanence time in the fog chamber	(h)
$t_p$	: Aerosol sampling time	(min)
$T_a$	: Temperature of air entering the filter	(°C)
$R.$	: Relative humidity of air entering the filter	(%)
$\dot{V}$	: Aerosol sampling flow rate	(liters/min)
$\dot{V}$	: Nominal flow rate	(m <sup>3</sup> /h)
$\rho$	: Pressure drop in the filter	(cm H <sub>2</sub> O)
$p_i$	: Pressure drop in the filter at beginning of a run	(cm H <sub>2</sub> O)
$\Delta p_f$	: Pressure drop in the filter at end of a run	(cm H <sub>2</sub> O)
$\epsilon$	: Filter efficiency	(%)
$\epsilon_{min}$	: Filter minimum efficiency	(%)
$\sigma_g$	: Degree of scattering of aerosol dimensional spectrum	
$\sigma_\epsilon$	: Standard deviation of $\epsilon$ value	(%)



Experimental conditions

Run n°	Q (m <sup>3</sup> /h)	Δp <sub>i</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	Δp <sub>f</sub> (cmH <sub>2</sub> O)	U.R. (%)	C <sub>m</sub> nuclei (—/— <sup>3</sup> cm)	C <sub>v</sub> nuclei (—/— <sup>3</sup> cm)	P (%)
1	2100	1,40	1,45	50	2,6 · 10 <sup>5</sup>	20	0,008
2	2100	1,45	1,52	40	2,7 · 10 <sup>5</sup>	16	0,006

Results

Run n°	Data related to upstream sample					Data related to downstream sample					ε <sub>min</sub> (%)	D <sub>min</sub> (μm)
	W (—/— <sup>3</sup> liter/min)	t <sub>p</sub> (min)	D <sub>n</sub> (μm)	MMD (μm)	σ <sub>g</sub> (—)	W (—/— <sup>3</sup> liter/min)	t <sub>p</sub> (min)	D <sub>n</sub> (μm)	MMD (μm)	σ <sub>g</sub> (—)		
1	1,75	2,0	0,035	0,064	1,54	4,65	60	0,029	0,058	1,62	99,988	0,024
2	1,75	2,0	0,033	0,062	1,56	4,65	60	0,028	0,056	1,60	99,989	0,023

Table I - Influence of aerosol granulometry on the efficiency of a HEPA filter.

	Vokes 55/5	Vokes A/66	Vokes B/66	Vokes C/66	Vokes F/66	Vokes H/66	Micretain 1A	Micretain 1E	Micretain 7A	Micretain 7E
MMD ( $\mu\text{m}$ )	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)
0.3	99.980	99.991	99.990	99.985	99.977	99.991	99.997	99.997	99.0	98.8
0.5	99.985	99.995	99.991	99.988	99.982	99.995	99.997	99.997	99.0	98.8
0.9	99.988	99.999	99.991	99.992	99.990	99.996	99.997	99.997	99.3	99.2
5.1	99.988	99.999	99.993	99.994	99.991	99.996	99.998	99.997	99.5	99.4
8.5	99.989	99.999	99.995	99.995	99.996	99.997	99.998	99.998	99.7	99.7
12	99.995	99.999	99.996	99.997	99.997	99.997	99.998	99.998	99.8	99.8

Table II - Efficiencies of some HEPA filters and prefilters versus aerosol granulometry

RUN N°	VOKES FILTER	T <sub>a</sub> (°C)	U.R. (%)	Q (m <sup>3</sup> /h)	ε (%)	σ <sub>ε</sub> (%)	TESTING METHOD	TEST CIRCUIT
1	H66(n.27772)	22	65	460 ±10	99.5	0.05	Condensation Nuclei	Circuit for HEPA filter classification
2	H66(n.27772)	22	65	440 ±10	99.995	0.001	DOP	Circuit for HEPA filter classification
3	H66(n.26772)	22	65	460 ±10	99.3	0.05	Condensation Nuclei	Circuit for HEPA filter classification
4	H66(n.26772)	22	65	440 ±10	99.999	0.001	DOP	Circuit for HEPA filter classification
5	H66(n.26772)	16	70±80	770 ±30	99.85	0.02	Condensation Nuclei	Recycle Circuit of PSICO 10 facility
6	H66(n.26772)	16	70±80	770 ±30	99.80	0.2	Pb <sup>212</sup> labelled aerosol	Recycle Circuit of PSICO 10 facility
7	H66(n.26772)	17	70	425 ±20	99.20	0.2	Pb <sup>212</sup> labelled aerosol	Recycle Circuit of PSICO 10 facility
8	H66(n.26772)	28	85±90	430 ±20	99.35	0.1	Pb <sup>212</sup> labelled aerosol	Recycle Circuit of PSICO 10 facility
9	H66(n.26772)	58	15	450 ±20	99.50	0.1	Pb <sup>212</sup> labelled aerosol	Recycle Circuit of PSICO 10 facility
10	H66(n.26772)	65	n.r *	570 ±30	98.70	0.5	Pb <sup>212</sup> labelled aerosol	Recycle Circuit of PSICO 10 facility

\* Same tens of Kgs of water were sprayed in PSICO 10 MDC, to have a high relative humidity; the MDC internal atmosphere was then recycled through the filter for 2 hours before the test.

Tab. III - Influence of temperature and relative humidity on the efficiency of HEPA filters - experimental conditions and results.

	Vokes 55/5	Vokes A/66	Vokes B/66	Vokes C/66	Vokes F/66	Vokes H/66	Micretain 1A	Micretain 1E	Micretain 7A	Micretain 7E
Q (m <sup>3</sup> /h)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)
1000	99.984	99.993	99.991	99.987	99.980	99.995	99.997	99.997	99.25	99.20
1450	99.982	99.992	99.991	99.987	99.979	99.995	99.997	99.997	99.15	99.07
1800	99.980	99.991	99.990	99.985	99.977	99.995	99.996	99.996	99.0	98.8
2250	99.982	99.991	99.991	99.985	99.978	99.995	99.996	99.996	98.9	98.9

Table IV - Efficiencies of some HEPA filters and prefilters versus air flow rate

	Vokes 55/5	Vokes A/66	Vokes B/66	Vokes C/66	Vokes F/66	Vokes H/66	Micretain 1A	Micretain 1E	Micretain 7A	Micretain 7E
t (h)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)	$\epsilon$ (%)
0	99.98	99.990	99.988	99.985	99.970	99.995	99.997	99.997	99.00	98.80
20	99.97	99.990	99.987	99.984	99.969	99.994	99.996	99.997	98.90	98.78
60	99.968	99.989	99.987	99.984	99.969	99.994	99.996	99.997	98.85	98.75
140	99.968	99.989	99.987	99.984	99.969	99.994	99.996	99.997	98.85	98.77

Table V - Influence of permanence in corrosive saline atmosphere on the efficiency of HEPA filters and prefilters

	Vokes 55/5	Vokes A/66	Vokes B/66	Vokes C/66	Vokes F/66	Vokes H/66	Micretain 1A	Micretain 1E	Micretain 7A	Micretain 7E
T <sub>a</sub> (°C)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)	ε (%)
20	99.95	99.96	99.99	99.99	99.95	99.995	99.997	99.997	99.0	98.80
40	99.95	99.96	99.99	99.99	99.96	99.995	99.997	99.997	99.0	98.82
60	99.96	99.97	99.99	99.99	99.96	99.995	99.996	99.997	99.0	98.82

Table VI - Efficiencies of some HEPA filters and prefilters versus air flow temperature

Filter		$\Delta p_i$	$\Delta p_f$	$\epsilon_i$	$\epsilon_f$	Testing aerosol
type	n°	(cm H <sub>2</sub> O)	(cm H <sub>2</sub> O)	(%)	(%)	
Amianthus paper	1	2.7	5.7	-	99.998	NaCl (MMD = 0.73 $\mu$ m)
				99.98	-	Uranine (MMD = 0.51 $\mu$ m)
				-	99.995	NaCl Standard
-				99.996	DOP Standard	
2	3.5	6.8	99.97	99.999	DOP Standard	
3	3.3	5.2 <sup>(°)</sup>	99.99	99.99 <sup>(°)</sup>	NaCl (MMD = 0.73 $\mu$ m)	
			99.976	99.976 <sup>(°)</sup>	DOP Standard	
			99.97	99.925 <sup>(°)</sup>	NaCl Standard	
Pink paper	1	3.7	-	99.99	-	NaCl (MMD = 0.73 $\mu$ m)
				99.997	-	Uranine (MMD = 0.51 $\mu$ m)
				99.97	-	NaCl Standard
				99.98	-	DOP Standard
2	5.0	5.3	99.98	99.99	DOP Standard	
			-	99.95	NaCl Standard	

(°) Damaged filter

Table VII - Characteristics of the glove-box filters used for the tests on the efficiency of two filters in series.

Q (m <sup>3</sup> /h)	t <sub>p</sub> (min)	Δp <sub>i</sub> (°) (cm H <sub>2</sub> O)	Δp <sub>f</sub> (°) (cm H <sub>2</sub> O)	Aerosol	Amianthus paper filter		Pink paper filter		Series efficiency (%)
					n°	ε (%)	n°	ε (%)	
55	25	2.9	3.2	Uranine (MMD = 0.51 μm)	1	99.99	1	80	99.998
51	20	3.2	3.4	NaCl (MMD = 0.73 μm)	1	99.985	1	96	99.9995
51	10	3.4	3.5	NaCl Standard	1	99.96	1	90	99.996
50	25	3.5	4.6	NaCl (MMD = 0.73 μm)	1	n.m.	1	70 +	n.m.
50	20	4.6	5.4	NaCl (MMD = 0.73 μm)	1	99.99	1	70	99.997
49	2	3.9	3.9	NaCl (MMD = 0.73 μm)	2	n.m.	2	83 +	n.m.
49	20	3.6	3.9	NaCl (MMD = 0.73 μm)	3	n.m.	2	72 +	n.m.
51	20	3.9	4.2	NaCl (MMD = 0.73 μm)	3	99.98	2	90	99.998
50	5	-	-	NaCl (MMD = 0.73 μm)	3	99.97	2	96	99.999
50	3	-	-	Uranine (MMD = 0.51 μm)	3	99.92 <sup>(°)</sup>	2	97	99.997
51	5	4.7	5.2	NaCl (MMD = 0.73 μm)	3	99.98 <sup>(°)</sup>	2	92	99.999
52	5	-	-	NaCl Standard	3	99.92 <sup>(°)</sup>	2	67	99.975

n.m. not measured

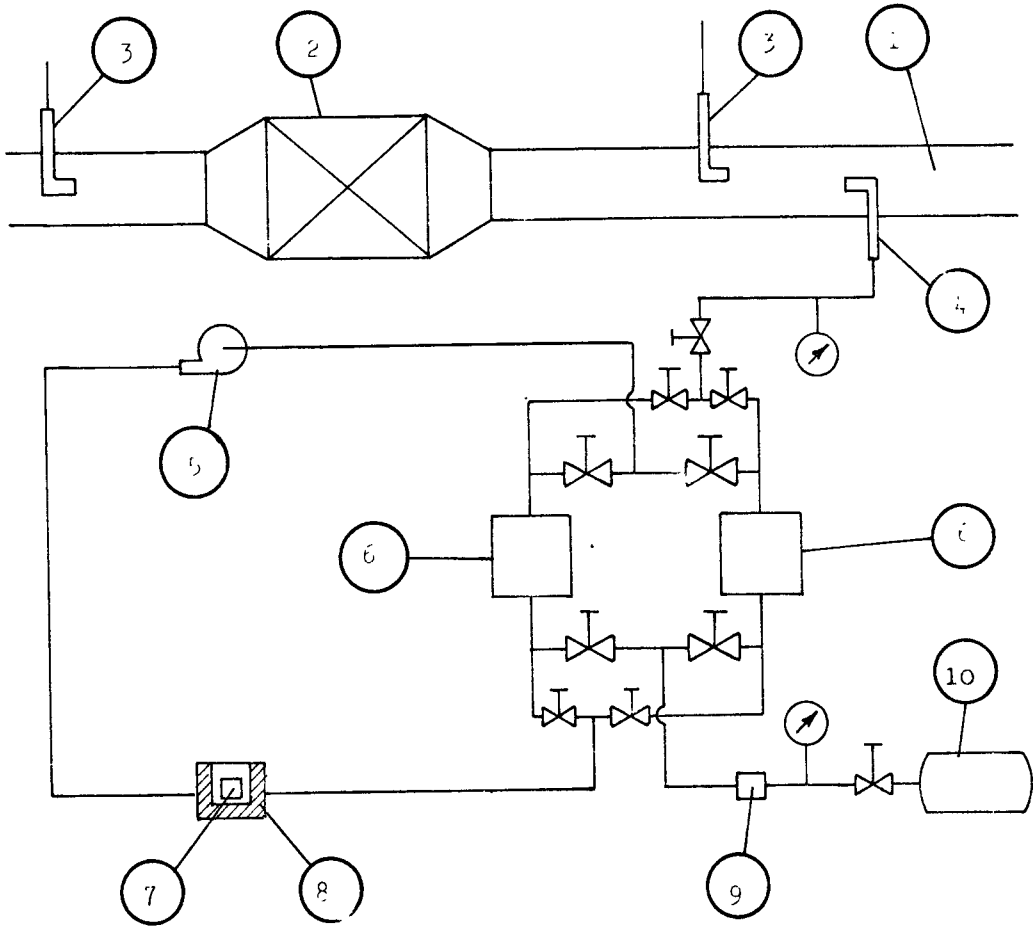
(°) Data concerning the amianthus paper filter

+ Data obtained through evaluation of uranine used as NaCl solution tracer

(°°) Data concerning a damaged amianthus paper filter

Table VIII - Results of the efficiency measurements on two HEPA filters in series.





LEGENDA

- 1 Recycle circuit
- 2 Filter under test
- 3 Aerosol sampling probe
- 4 Aerosol inlet pipe
- 5 Fan
- 6 Traced aerosol tank
- 7 Th<sup>228</sup> source
- 8 Lead shield
- 9 Nozzle
- 10 Compressed air cylinder

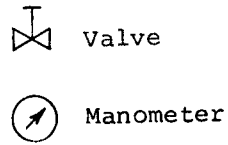
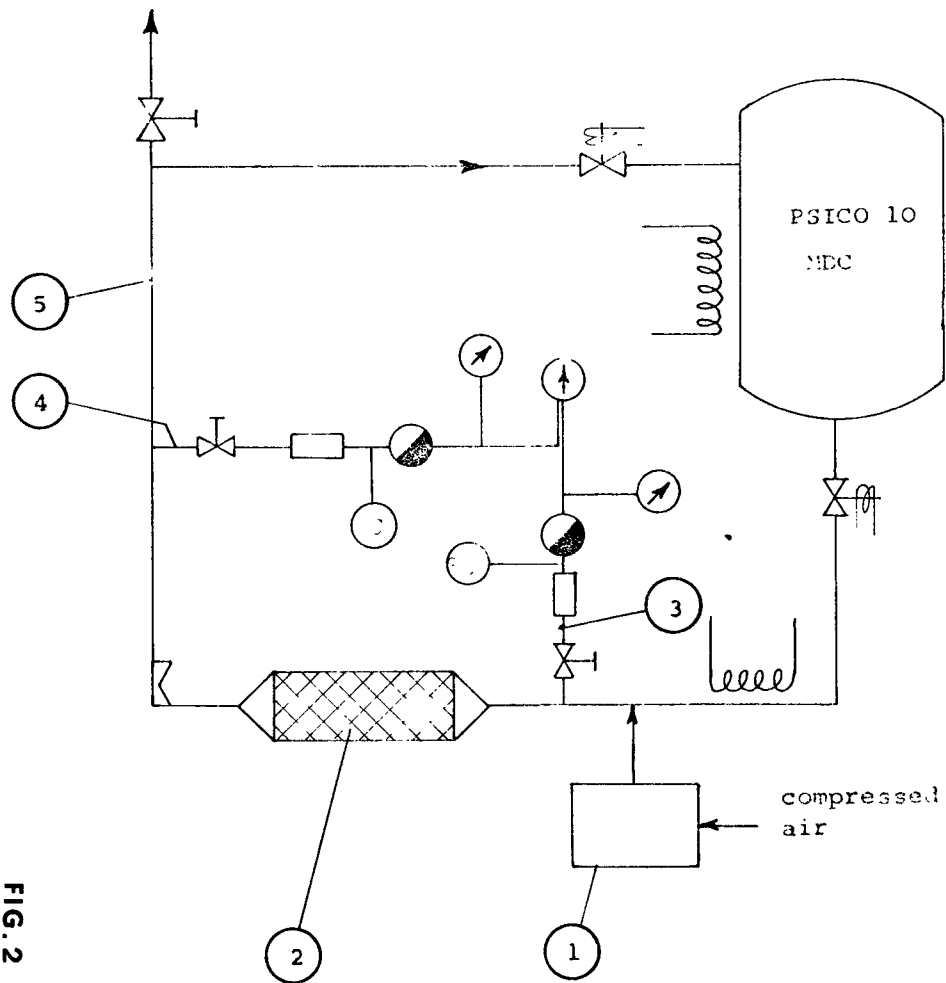


FIG. 1

Flow-sheet of the aerosol tracing equipment

Flow-sheet of the equipment used for testing the influence of temperature and relative humidity on the filter efficiency.



LEGENDA

- 1 Traced aerosol supply
- 2 Filter under test
- 3 Upstream sampling circuit
- 4 Downstream sampling circuit
- 5 Recycle circuit








-  Fan
-  Stop valve
-  Manometer
-  Flow-meter
-  Temperature gauge
-  Remote drive
-  Heating coil

FIG. 2



**FIG. 3**

Sample of aerosol composed of condensation nuclei.

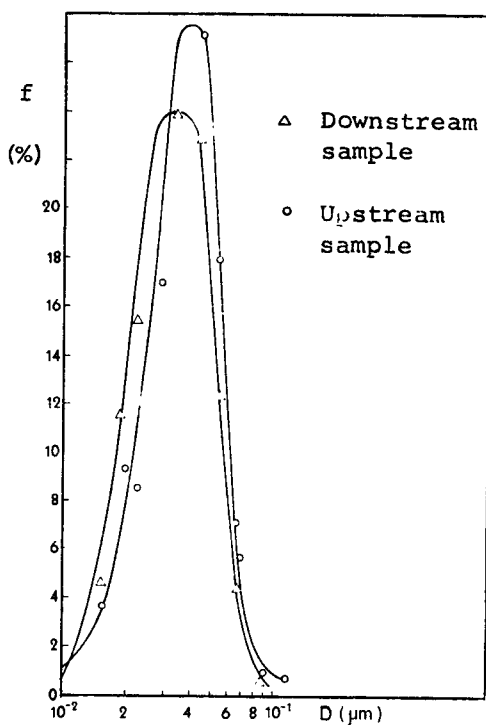
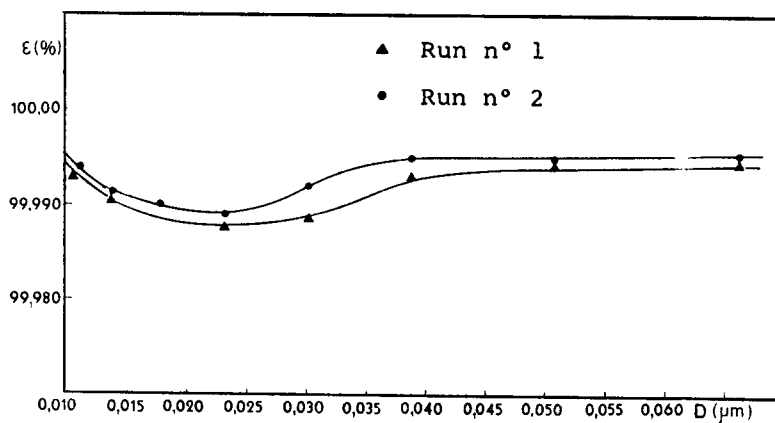


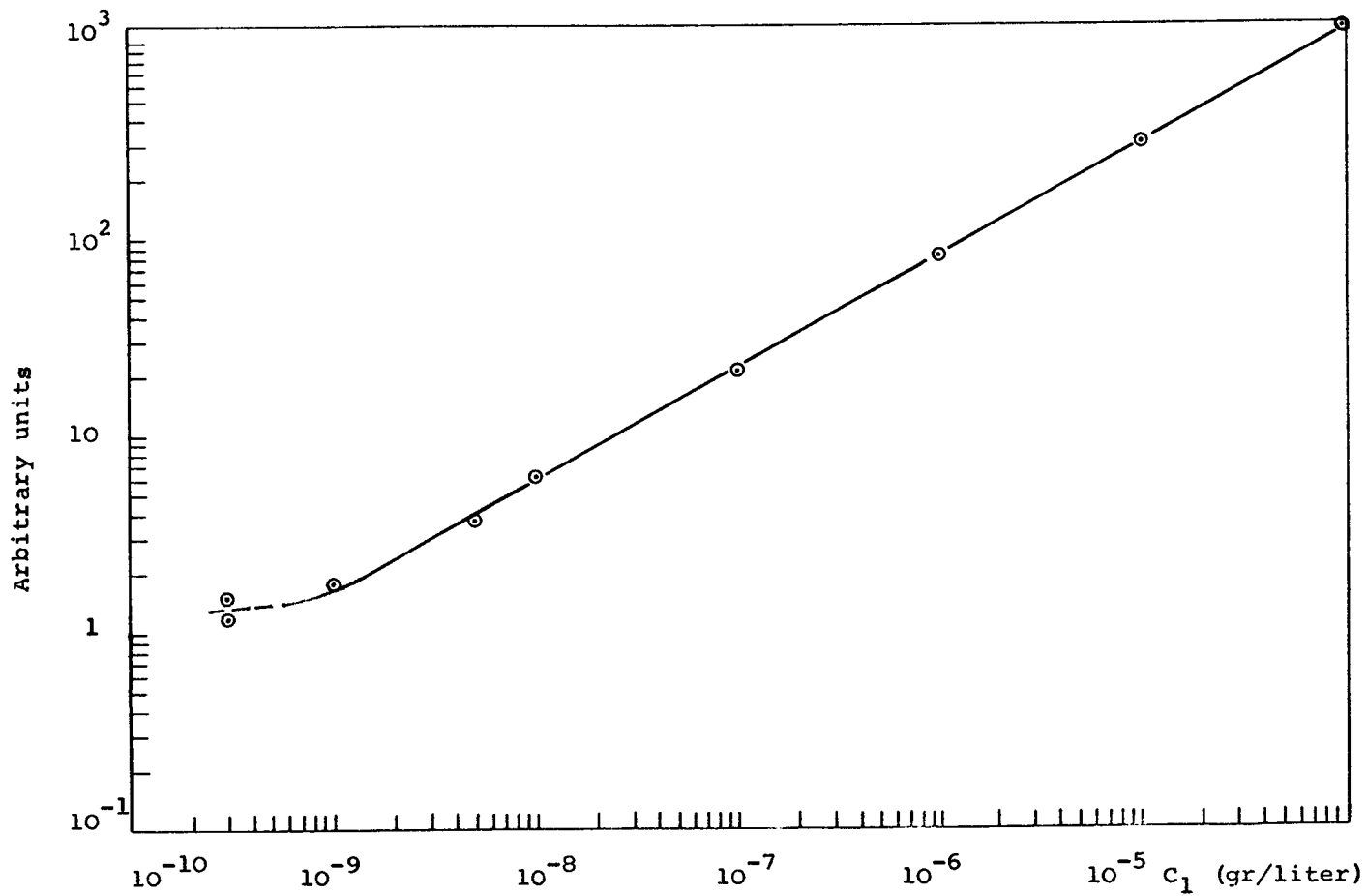
FIG. 4

Spectra of the aerosol samples taken off - and downstream the filter.



Filter efficiency versus aerosol granulometry.

FIG. 5



**FIG. 6** Calibration of the fluorometer used for uranine measure (solution PH = 10.50)



A CONSIDERATION OF THE CHANGES IN EFFICIENCY  
OF ABSOLUTE FILTERS UNDER VARIOUS CONDITIONS  
OF CONTAMINANT LOADING

B. Hoppitt

Vokes Air Filters Limited  
Burnley, Lancs. - UNITED KINGDOM

**SUMMARY.** The paper will detail the results of a test programme on normal 3 400 m<sup>3</sup>/h and 5 100 m<sup>3</sup>/h Absolute Filters repeated under various conditions of contaminant loading.

The contaminant used was sub-micron carbon particles (to simulate the particle size spectrum which should be present behind reasonably efficient pre-filters). At various conditions of contaminant-loading filters were re-tested utilizing a thermo-pneumatic D. O. P. cloud, but the grades of filter utilized in the experiment were initially selected on the basis of their initial efficiencies against the British Standard BS. 3928 Sodium Flame Test.

**KURZFASSUNG.** BETRACHTUNGEN UEBER AENDERUNGEN DER ABSCHIEDELEISTUNG VON ABSOLUTFILTERN BEI UNTERSCHIEDLICHER BELADUNG. Ergebnisse des Prüfprogramms an üblichen 3 400 m<sup>3</sup>/h- und 5 100 m<sup>3</sup>/h-Absolutfiltern, die bei unterschiedlicher Schmutzstoffbelastung geprüft wurden, werden mitgeteilt.

Als Schmutzstoff gelangten Submikron-Kohleteilchen zum Einsatz (um das Teilchengrößenspektrum zu simulieren, das hinter Vorfiltern mit angemessener Abscheideleistung angetroffen wird). Die Filter werden bei unterschiedlicher Schmutzstoffbelastung unter Verwendung einer thermo-pneumatisch erzeugten D. O. P. -Wolke wiederholt geprüft; die beim Versuch verwendete Qualität von Filtern war vorher jedoch auf Grund ihrer ursprünglichen Abscheideleistung beim Natriumflammentest British Standard BS. 3928 ausgewählt worden.

**RESUME.** ETUDE DES VARIATIONS D'EFFICACITE DES FILTRES ABSOLUS DANS DIVERSES CONDITIONS DE CHARGE D'AGENTS CONTAMINANTS. Le rapport expose les résultats du programme d'essais mené sur des filtres absolus ordinaires de 3 400 m<sup>3</sup>/h et de 5 100 m<sup>3</sup>/h soumis à des essais répétés en diverses conditions de charge d'agents contaminants.

L'agent contaminant utilisé est des particules de carbone de diamètre inférieur au micron (pour simuler le spectre granulométrique qui devrait être présent derrière des pré-filtres raisonnablement efficaces). Les filtres ont été testés une nouvelle fois dans diverses conditions de charge d'agents contaminants et en utilisant un aérosol de DOP généré à chaud sous CO<sub>2</sub>, mais les catégories de filtres employés dans l'expérience furent, au début, choisies en fonction de leur efficacité initiale, selon la norme britannique BS. 3928 test à la flamme de sodium.

We have included as an integral part of our research programme the testing of Absolute Filters by using fine carbon dust and plotting contaminant loading against pressure loss. The work within this present paper is an extension of that programme. Whilst carrying out on standard filters from the production line a series of tests to re-establish dust holding/pressure loss characteristics, we felt it would also be of interest to ascertain the changes in efficiency at various conditions of contaminant loading.

The filters for test were all Standard filters from the production line, selected from ranges of filters with NaCl penetrations of 5.0% maximum on the type 22 range filter to 0.003% maximum on the 77 range filter. All the filters were of the size 609mm x 609mm x 298mm deep including the seal and all were rated at 1,700 m<sup>3</sup>/h with the exception of the E.66MA which was rated at 2,550 m<sup>3</sup>/h.

#### METHOD OF TEST. (Fig. 1)

All filters when obtained from the production line had been subjected to the British Standard 3928 photo-electric Sodium Flame Test and the initial NaCl penetrations established. It is standard practice within our Company to test all Absolute Filters produced to this standard.

In the Laboratory Test-Rig an immediate penetration reading was taken utilizing thermo-pneumatic D.O.P. Aerosol, with a mass median size of 0.7µm. Carbon dust was then fed to the filters in regular increments utilizing a dust feeder designed by the American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers. Without removal from the test rig the filters were tested with di-octyl-pthalate (D.O.P) aerosol between each dust feed cycle. The test was terminated when the filters reached a final pressure loss of 150 mm.w.g. (1.5 KPa).(Fig.2)



After the completion of the test the contaminant loaded filters were also re-submitted to the British Standard 3928 test, to establish the final NaCl penetrations. (Fig.3)

As the filters had been submitted in a clean condition to both NaCl and D.O.P. penetrations, it was possible to establish a correlation of the penetration produced by these two methods of test.(Fig. 4)

From the graph fig.4 it will be seen that taking the lowest initial NaCl penetration of 0.01% the reduction on the initial penetration figure for the Thermo-Pneumatic D.O.P. was approximately 70% to a figure of 0.0028%. However, as penetration figures on NaCl become greater the D.O.P. penetration figure converged and at an NaCl penetration of 5% the Thermo-Pneumatic D.O.P. penetration was 3.6%, i.e. a reduction of 28% only on the NaCl result. It is possible that we will now be able to undertake further work to ascertain if the penetrations for the two methods of test eventually coincide.

When considering the final results on contaminated filters and the correlation of penetration between NaCl and D.O.P. it was found that on filters with penetrations of 0.01% the final D.O.P. penetrations maintained a reduction of approximately the same order as shown for the initial reduction from NaCl to D.O.P. at 70%. On filters with a penetration of 0.05% the reduction in penetration from NaCl to D.O.P. had increased from 64% to 77.5%, but the results at larger penetrations were found to be less meaningful. (Fig. 5 - 6 and 7)

When subjecting the filters to dust loading with initial, intermediate and final D.O.P. penetration figures, it was found that the rate of the reduction of penetration varied considerably, from the lowest efficiency filter type 22 MA/5 (maximum allowable NaCl penetration 5% actual penetration on the sample tested 3.6%), to the highest efficiency filter which we were able to test by this method type 66 MA/5 (initially tested at its maximum allowable NaCl penetration 0.01%). It will be noted that the lowest grade filter showed a considerable reduction in penetration after the first increment of dust loading, but reduction following that point became progressively less, whereas on the 55WK/5 filter (maximum NaCl penetration 0.05%, actual penetration on the unit tested 0.04%) the reduction in penetration was rather more gradual and this was also the case with the filter type 66MA/5. It is however worthy of note, that the penetration in every case tended to reduce with the incidence of contaminant loading, but on the lower grades of filter the penetration showed increases after the third dust feeding cycle.

The greatest D.O.P. penetration reductions achieved were in fact 99.5% on the lowest grade of filter from 2.5% to 0.012%, on the intermediate filter the reduction was 70.9% from 0.011% to 0.0032% and on the highest grade of filter tested the reduction was 50% from 0.004% to 0.002%. (Fig. 8)

Utilizing the BS.3928 photo-electric sodium flame test, only initial and final penetration figures were taken to avoid disturbance of the dust pattern on the filter media by constantly removing the filters from the test rig. It will be noted that the NaCl results do not follow the pattern established by di-octyl pthalate, neither do the results follow a pattern as established by the initial NaCl penetration figures. (Fig. 9)

The largest reductions in NaCl penetration were approximately 56% on the E.66MA/5 filter from an initial penetration of 0.005% to a final penetration of 0.0022%, and on the most efficient filter, the type 77MA/5 a reduction of 56.5% from 0.0023 to 0.001%. The smallest reduction in penetration occurred on the least efficient filter from a penetration of 3.6% to a penetration of 2.5%, therefore, it can be seen that in each case a reduction in NaCl penetration took place with an increase in dust loading.

The dust load carried by the filters was not high and this is probably a function of the clogging nature of the type of dust used, due to its chemical composition and the size spectrum utilized for the test. The dust was chosen in an endeavour to select a test dust which would bear a relationship to the type of dust and size spectrum which could be present behind a relatively efficient pre-filter.

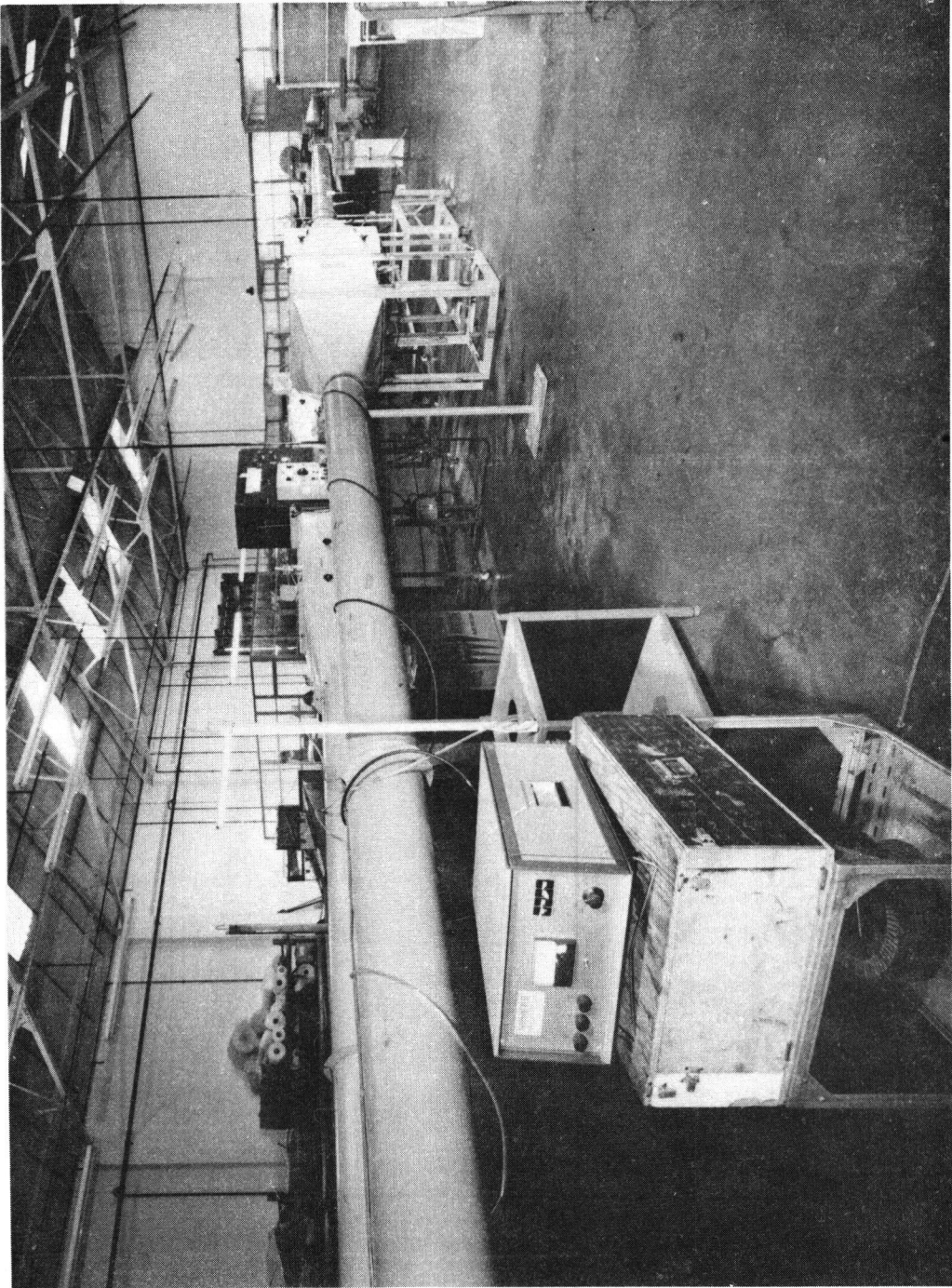
The carbon dust used varied in size from approximately 40 $\mu$ A up to 1070 $\mu$ A with physical agglomerations varying from 20 to 100 particles. We found that under test conditions further agglomeration up to approximately 2 $\mu$ m. took place during dust feeding.

The dust loads did not bear a direct relationship to the NaCl penetrations of the filters involved. From the graph it will be seen that the filter type 77MA the most efficient filter had the lowest dust holding characteristic. Whilst the filter type 66MA with an initial NaCl penetration of 0.01%, the second most efficient filter tested, had a larger dust holding capacity than the 55WK filter with an initial NaCl penetration of 0.04%. The largest dust holding capacity was the type 22MA filter with an initial NaCl penetration of 5%, primarily due to its favourable initial  $\Delta p$ .

In each case the rate of loading against pressure loss was almost linear, in all probability due to the low velocity at which the filter media is utilized in this type of filter. It should however, be repeated that the dust loadings obtained during this series of tests and detailed on the dust load/pressure loss graph (fig.10) below, are applicable to this type of dust only and dust loadings may well differ considerably if another type of dust had been used for the series of tests. (Fig.10)

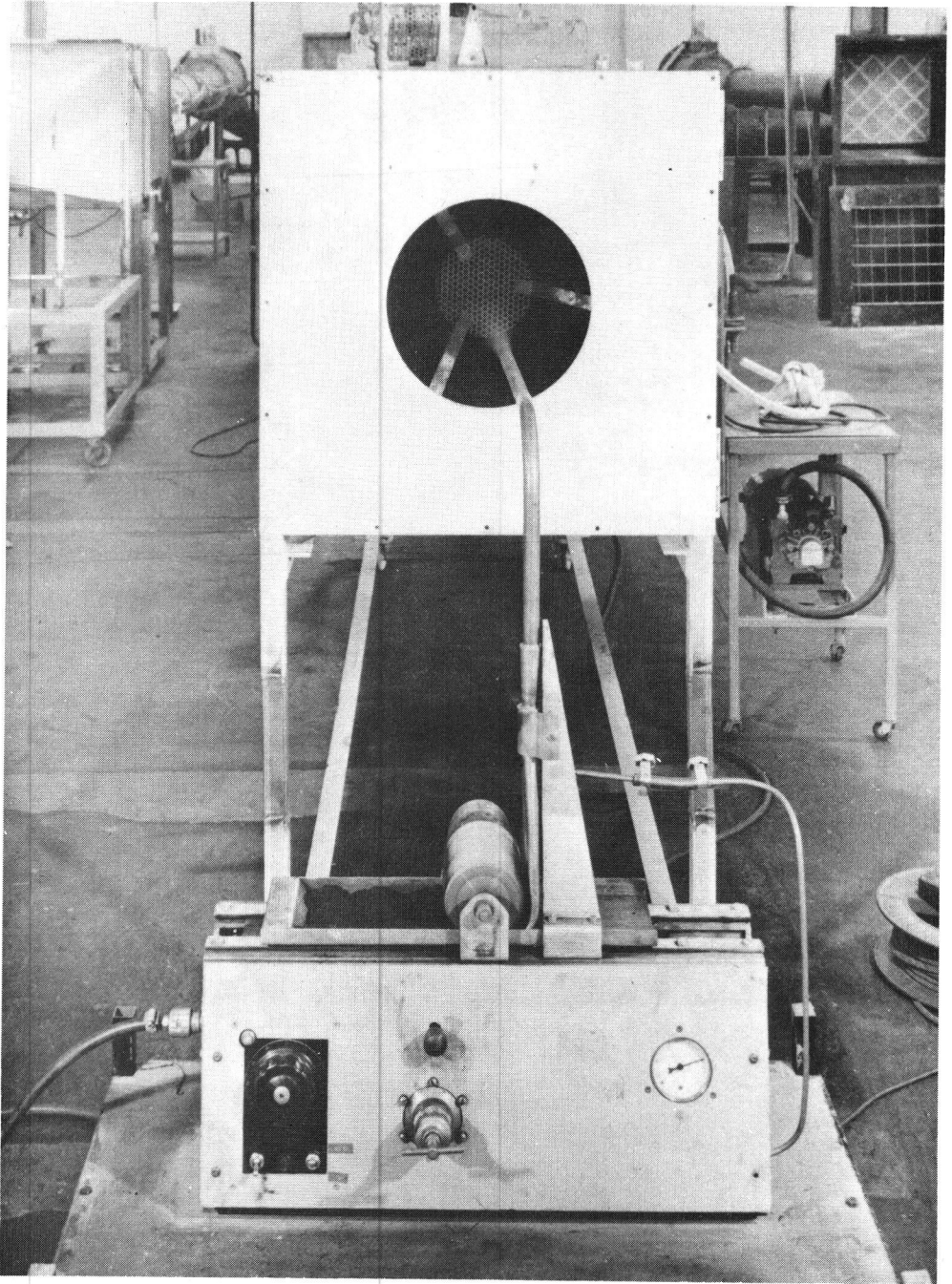
In conclusion it is now certain that in common with the majority of other types of filter working on the interception principle, where straining tends to commence, in the latter part of filter life, the efficiency rises with the incidence of dust loading. If one considers the dust load/pressure loss curve, it would appear that straining had not commenced to any great degree at a pressure loss of 150 mm.w.g. on the filters under test. It is probable that had straining commenced an increase in the gradient of the curve would have been observed, despite the low velocity through the filter media. (Fig.11)

It is our opinion that the results obtained by the series of tests described in this paper may only be considered preliminary and further work requires to be carried out. The main object of the test programme has been established and the results obtained by monitoring with thermo-pneumatic D.O.P. during the dust loading programme showed a lessening in the penetrations obtained, thus an increase in the efficiency of the filter involved within certain limits. The NaCl initial and final results utilizing the test methods established by British Standards 3928, also showed that the filters efficiency increased with the incidence of dust loading, but it is our intention to institute a further test programme which would include intermediate NaCl penetration values.



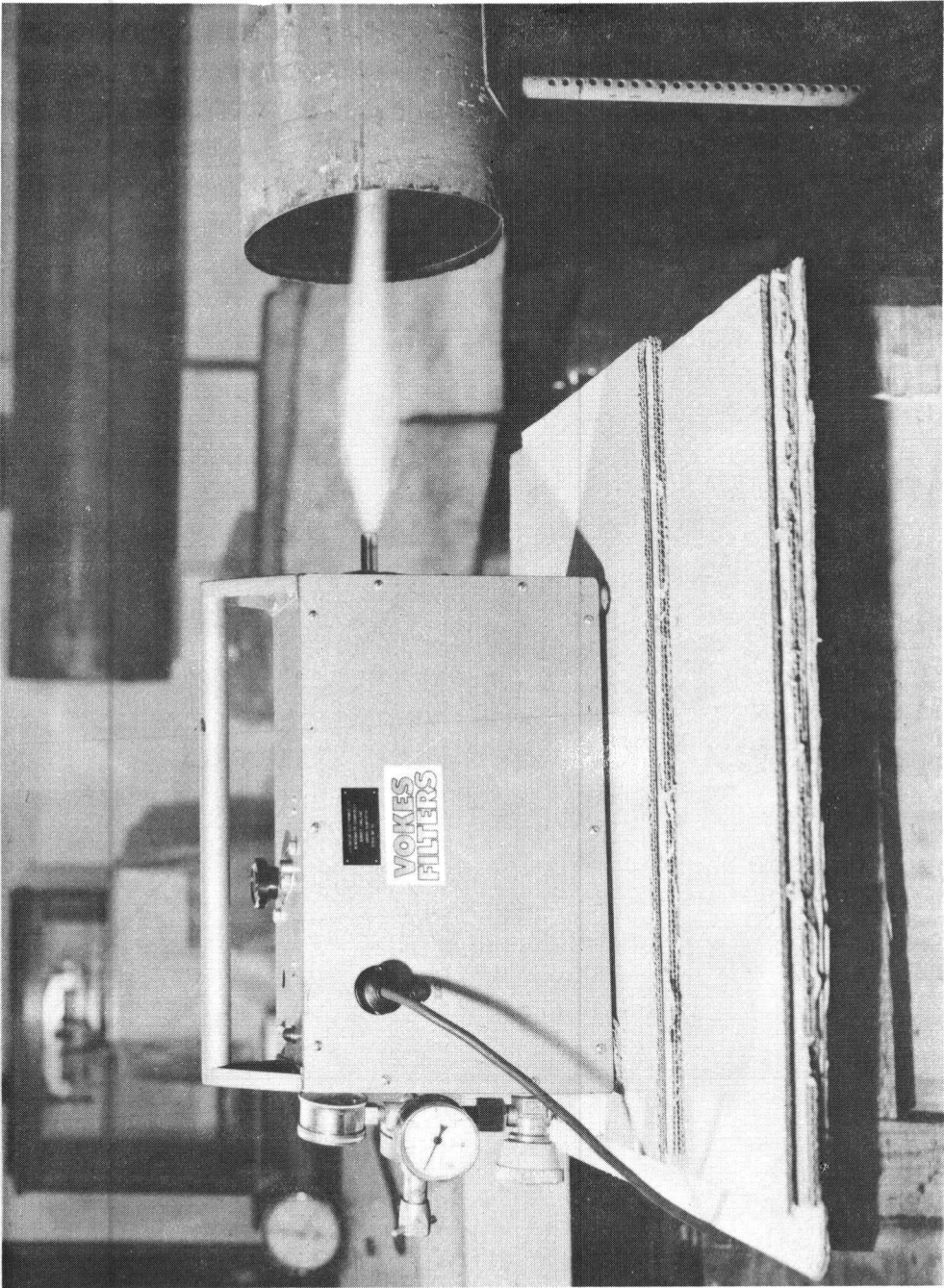
Test Rig for Dust Loading/D.O.P. Tests.

FIG. 1



ASHRAE Dust Feeder in Operation.

FIG. 2



Thermal Pneumatic D.O.P. Aerosol Generator.

FIG. 3

GRAPH SHOWING CORRELATION OF INITIAL NaCl(BS 3928)  
AGAINST INITIAL THERMAL PNEUMATIC D.O.P.

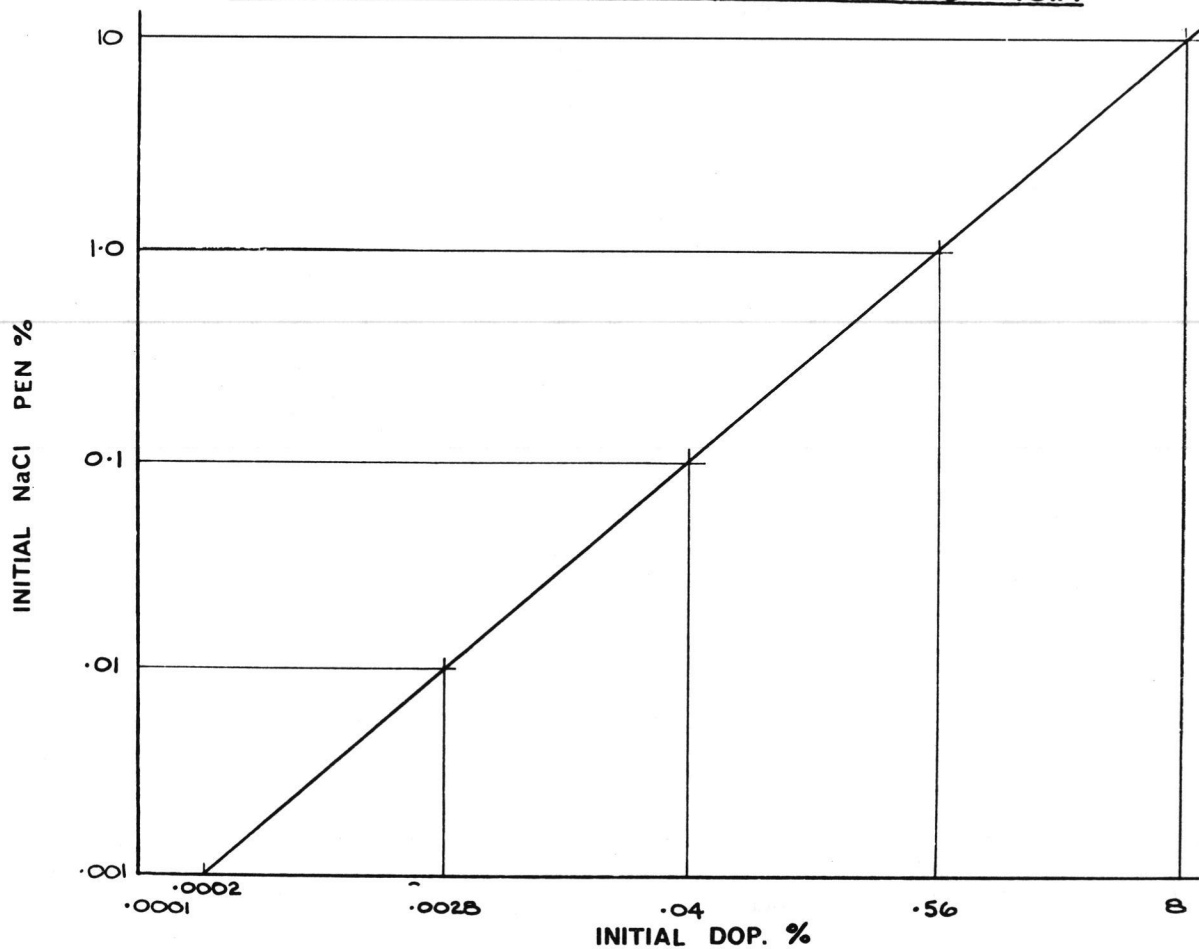


FIG.4



GRAPH SHOWING DUST  
LOADING/D.O.P. EFFICIENCY ON  
22 RANGE FILTER

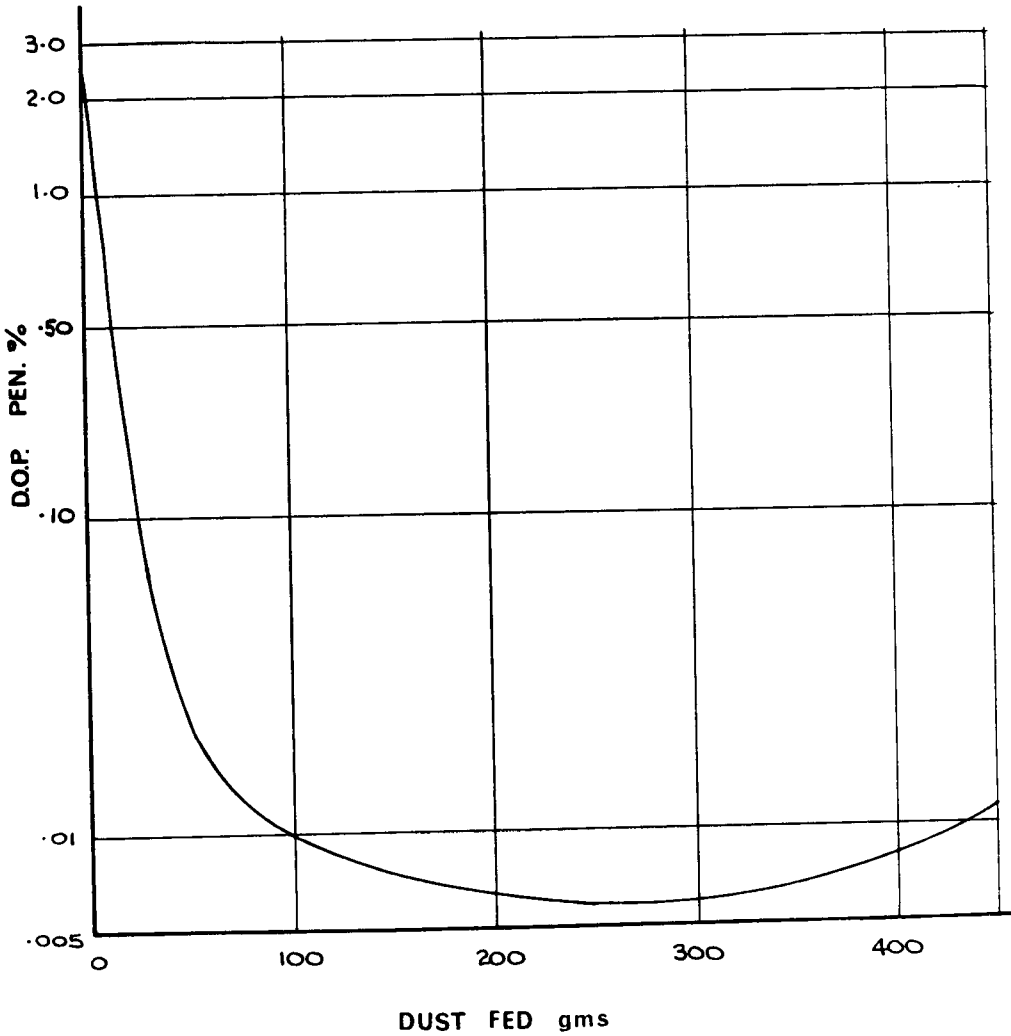


FIG. 5

GRAPH SHOWING DUST LOADING/D.O.P. EFFICIENCY ON  
55 RANGE FILTER

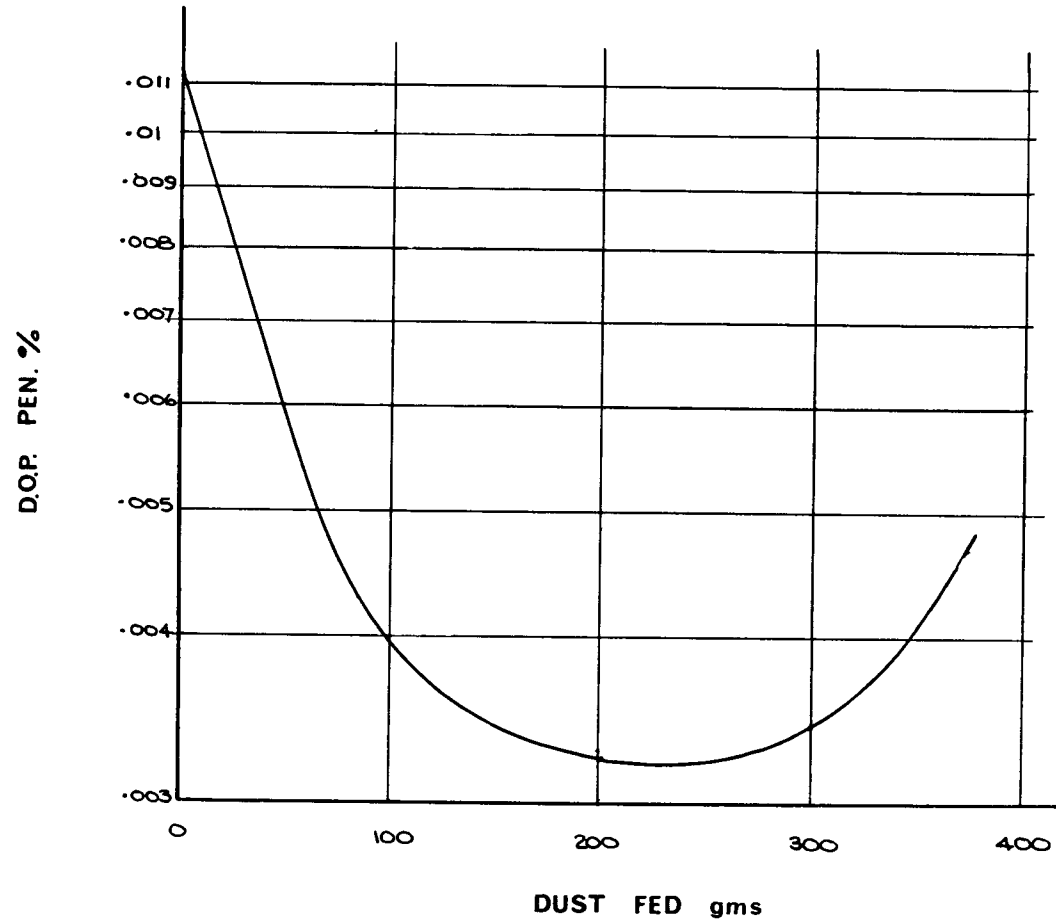


FIG. 6

GRAPH SHOWING DUST LOADING / D.O.P. EFFICIENCY ON  
66 RANGE FILTER

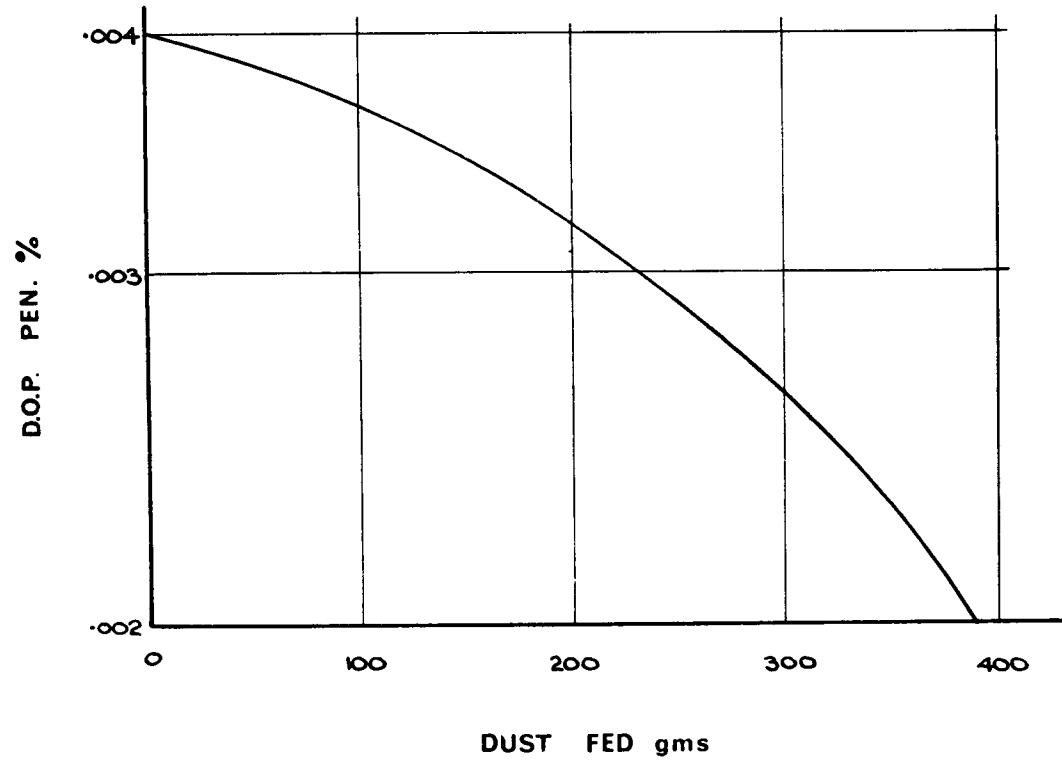


FIG. 7

GRAPH SHOWING INITIAL & FINAL THERMAL PNEUMATIC  
D.O.P. PENETRATION AT 150mm. wg., ON  
ABSOLUTE FILTERS TESTED

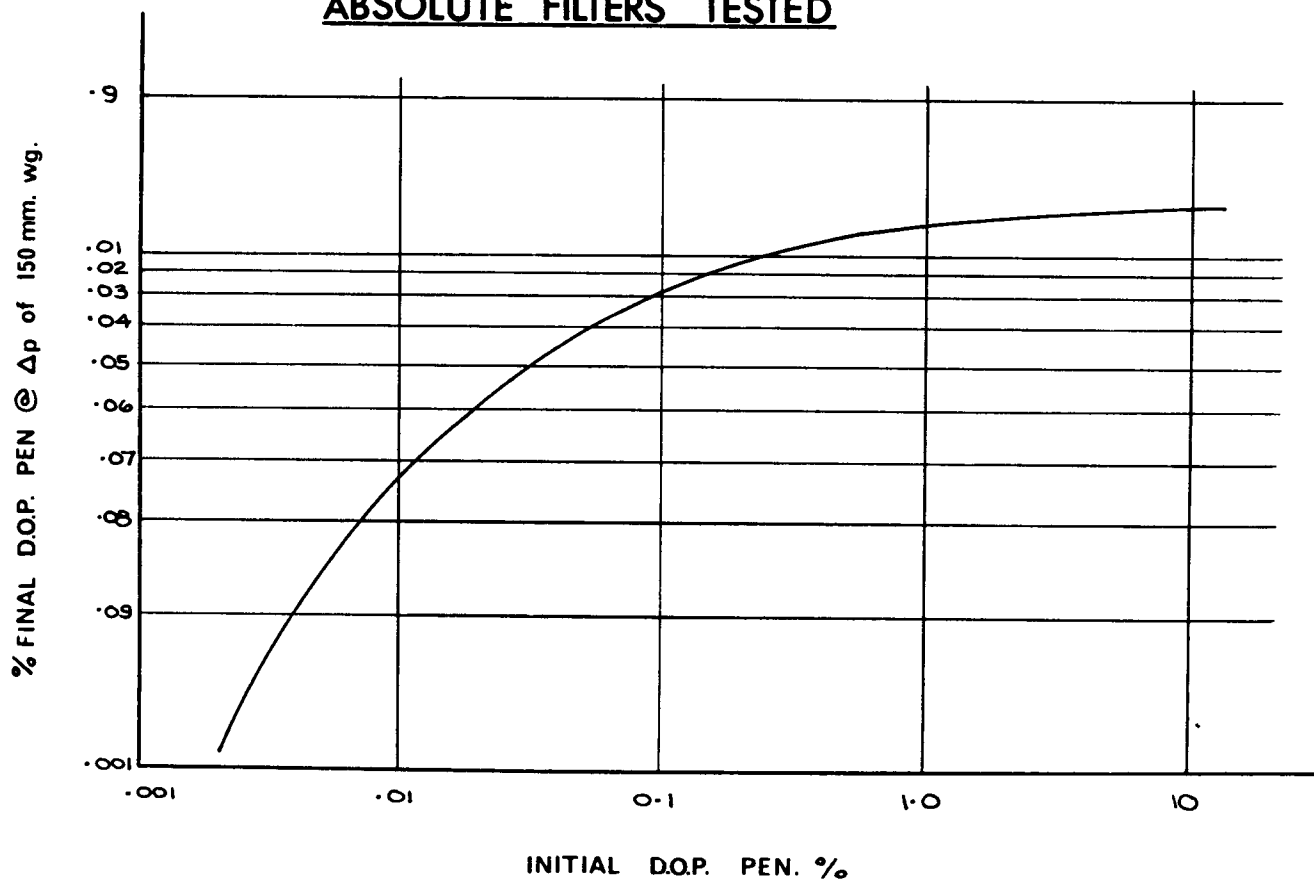


FIG. 8

GRAPH SHOWING INITIAL & FINAL PENETRATION  
ON NaCl (PHOTO ELECTRIC SODIUM FLAME TEST BS 3928)

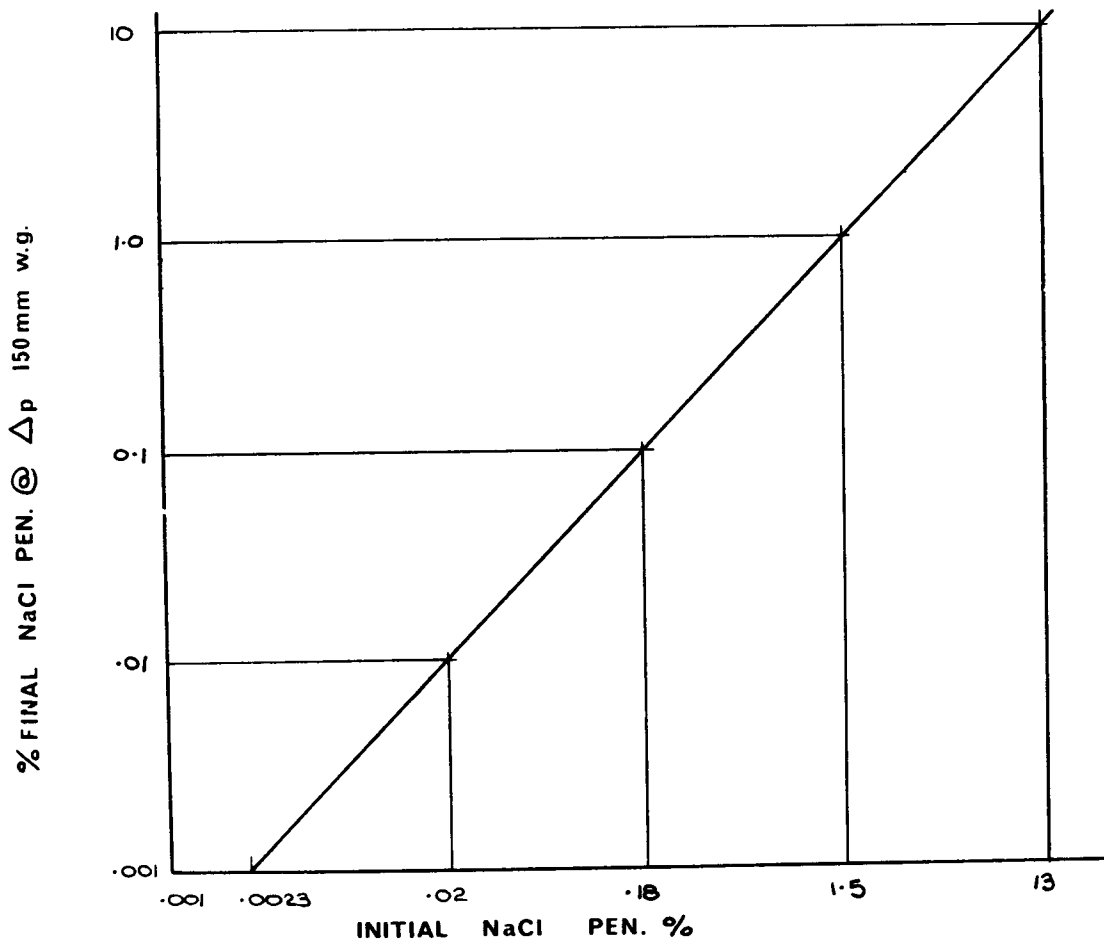


FIG. 9

GRAPH SHOWING DUST LOAD AGAINST PRESSURE LOSS ON ABSOLUTES TESTED

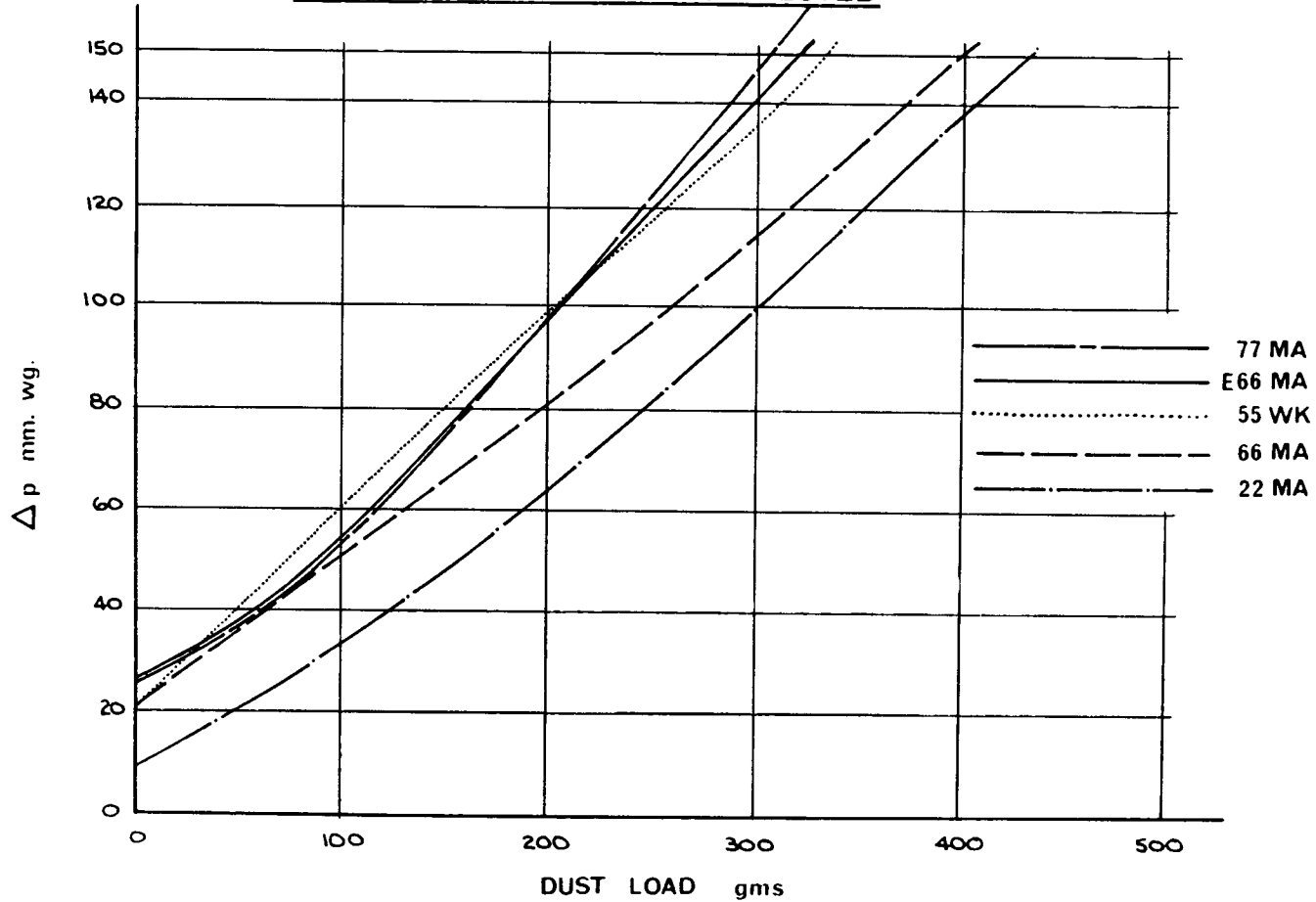
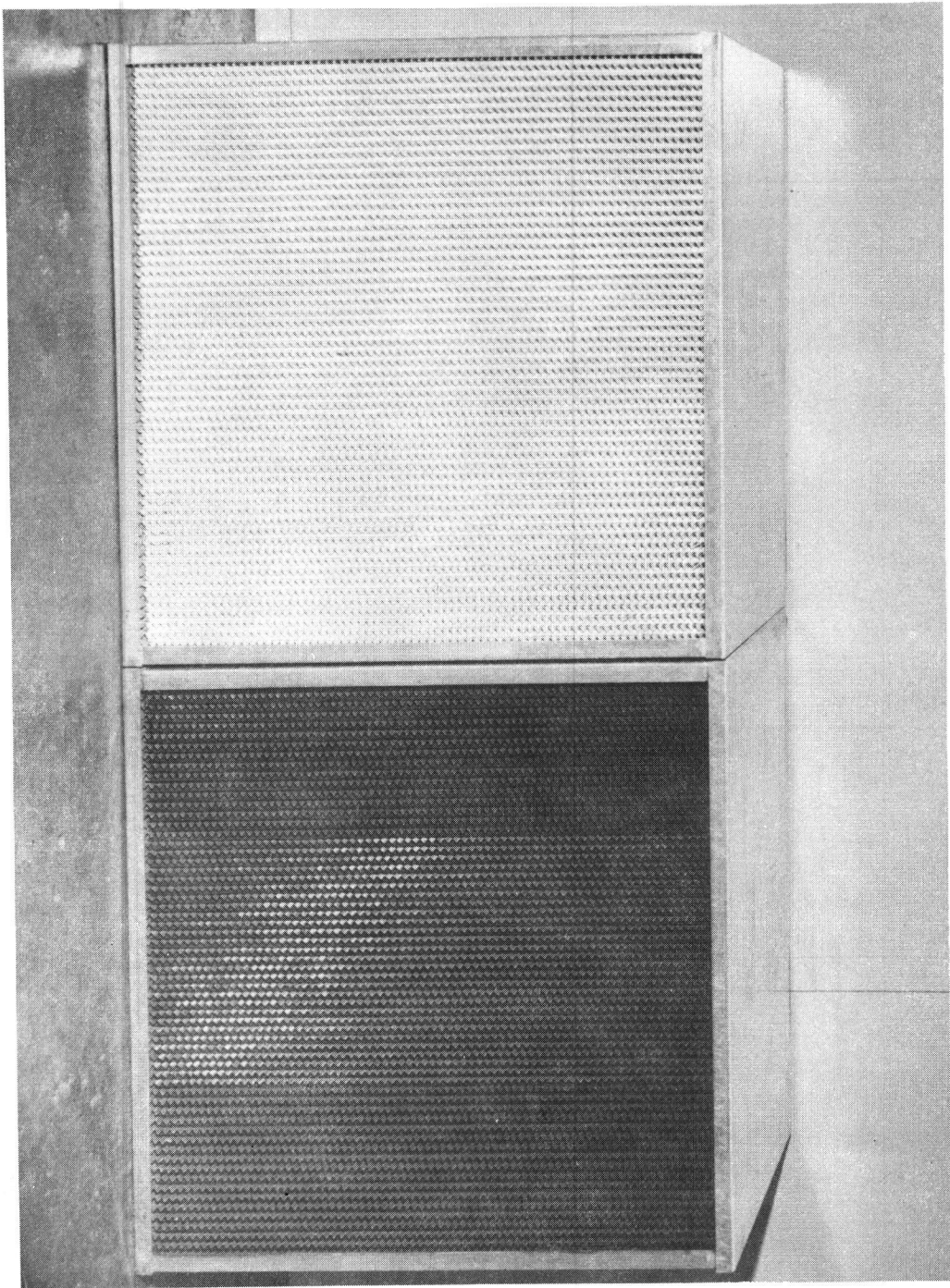


FIG. 10



Absolute filter before and after test .

FIG.11





## PRESSURE TRANSIENTS ACROSS HEPA FILTERS

W. Gregory

Los Alamos Scientific Laboratory  
New Mexico - U. S. A.

G. Reynolds, C. Ricketts and P.R. Smith  
New Mexico State University  
New Mexico - U. S. A.

SUMMARY. Nuclear fuel cycle facilities require ventilation for health and safety reasons. High efficiency particulate air (HEPA) filters are located within ventilation systems to trap radioactive dust released in reprocessing and fabrication operations.

Pressure transients within the air cleaning systems may be such that the effectiveness of the filtration system is questioned under certain accident conditions. These pressure transients can result from both natural and man-caused phenomena: atmospheric pressure drop caused by a tornado or explosions and nuclear excursions initiate pressure pulses that could create undesirable conditions across HEPA filters. Tornado depressurization is a relatively slow transient as compared to pressure pulses that result from combustible hydrogen-air mixtures. Experimental investigation of these pressure transients across air cleaning equipment has been undertaken by Los Alamos Scientific Laboratory and New Mexico State University.

An experimental apparatus has been constructed to impose pressure pulses across HEPA filters. The experimental equipment is described as well as preliminary results using variable pressurization rates. Two modes of filtration failure are examined. In addition to structural failure, ineffective filtration of an aerosol injected upstream of the filter is examined. A laser instrumentation for measuring the aerosol release, during the transient, is described.

KURZFASSUNG. DRUCKTRANSIENTEN UEBER HEPA-FILTER. Kerntechnische Anlagen benötigen aus Gesundheits- und Sicherheitsgründen Lüftungseinrichtungen. Hochleistungs-Luftfilterelemente (HEPA-Filter) werden in die Lüftungssysteme eingebaut, um den bei der Wiederaufarbeitung und Herstellung von Kernbrennstoffen freigesetzten radioaktiven Staub abzuscheiden.

Druckschwankungen in Luftreinigungssystemen können eine Beeinträchtigung der Abscheideleistung des Filtersystems bei bestimmten Störfällen bewirken. Die Druckänderungen können auf natürliche und künstliche Ursachen zurückgehen: Luftdruckabfall durch Tornados, Explosionen und Leistungsausbrüche im Reaktor rufen Druckstöße hervor, die in den HEPA-Filtern zu unerwünschten Zuständen führen können. Luftdruckabfälle durch Tornados sind relativ langsame Änderungen im Vergleich zu Druckstößen infolge Entzündungen von Wasserstoff-Luft-Gemischen. Diese Druckstöße durch die Luftreinigungsanlagen hindurch wurden vom Los Alamos Scientific Laboratory und der New Mexico State University experimentell untersucht.

Eine Versuchsanlage wurde konstruiert, um HEPA-Filter mit Druckstößen zu beaufschlagen. Die Versuchsanlage sowie erste bei variablen Druckanstiegen erzielte Ergebnisse werden beschrieben. Zwei Arten der Filterstörungen werden untersucht. Neben strukturellen Beeinträchtigungen wird auch die Abnahme der Rückhaltung eines oberhalb der Filter injizierten Aerosols geprüft. Eine Laser-Einrichtung zur Messung des während der Ueberdruckphase freigesetzten Aerosols wird beschrieben.

RESUME. TRANSITOIRES DE PRESSION DANS LES FILTRES HEPA.

Les installations du cycle du combustible nucléaire exigent une ventilation pour des raisons de santé et de sécurité. Les filtres d'aérosols à haut rendement (HEPA) sont placés dans les systèmes de ventilation pour arrêter les poussières radioactives dégagées lors des opérations de retraitement et de fabrication.

Les transitoires de pression à l'intérieur des systèmes d'épuration de l'air peuvent être tels que l'efficacité du système de filtration est mise en question dans certaines conditions accidentelles. Ces transitoires peuvent être soit naturels, soit provoqués par l'homme. Une baisse de pression atmosphérique à la suite d'un cyclone ou d'explosions et excursions nucléaires crée des mouvements de pression pouvant engendrer des conditions peu souhaitables dans les filtres HEPA. La dépressurisation créée par un cyclone est un phénomène relativement lent comparé aux mouvements de pression résultant de la combustion de mélanges hydrogène/air. Une étude expérimentale de ces phénomènes de pression dans des installations d'épuration de l'air a été entreprise par le Los Alamos Scientific Laboratory et la New Mexico State University.

Un dispositif expérimental a été construit pour créer des mouvements de pression dans des filtres HEPA. L'équipement expérimental est décrit et les résultats préliminaires obtenus à partir de taux de pressurisation variables sont présentés. Deux types de filtration imparfaite sont étudiés. A côté du défaut de structure, on étudie la filtration imparfaite d'un flux d'aérosol injecté en amont du filtre. Un appareil laser destiné à mesurer le dégagement d'aérosol au cours du transitoire est aussi décrit.

## I. INTRODUCTION

Nuclear facilities require ventilation for occupant health and safety reasons. Ideally, the ventilation systems in these facilities collect any radioactive particulates released during reprocessing and fabrication operations or as a result of abnormal conditions. Safety considerations for these systems go beyond the plant occupants and must extend to the protection of the population in the surrounding area. Air that is circulated through contaminated areas must have the particulate material removed before discharge to the environment. Filtration devices such as high efficiency particulate air (HEPA) filters are located within the ventilation system to assure removal of such material from the exhaust air. These devices require a narrow range of flow conditions for optimum performance. A drop in efficiency and possibly complete loss of filtration capability can occur under the abnormal flow conditions caused by pressure transients.

Pressure transients can result from both natural and man-caused phenomena. An atmospheric pressure drop caused by a tornado can initiate undesirable flows and pressures within a ventilation system. Man-caused pressure transients can result from sonic booms, internal explosions, or nuclear excursions. The characteristics of such transients are extremely varied. The tornado depressurization results in a relatively slow pressure pulse that originates outside the facility and can create a large volume of air flow. Internal explosions or nuclear excursions create high pressure, short duration transients (shock conditions) and occur inside the plant near the most contaminated filters. Figure 1 illustrates the pressure-time profiles for these types of transients.

As shown in Fig. 1, an internal explosion would cause a sudden impulse loading on the filters, while a tornado depressurization can generate a large air flow through the filter from both directions. This long duration

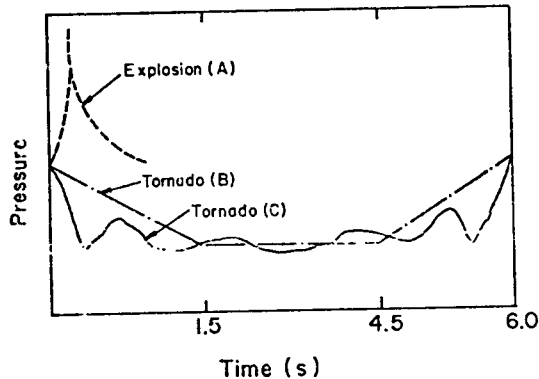


Fig. 1 Pressure transients.

oscillatory flow through the filter represents a unique loading condition that has not been experienced in shock testing. The Tornado (B) plot (Fig. 1) is based on the United States Nuclear Regulatory (NRC) Region I tornado (1). Considerable uncertainty exists, however, concerning the shape and size of a tornado generated pressure transient, so this is an idealized curve. T. Fujita suggests that some tornados may consist of smaller "suction spots" rotating around the center of the tornado system (2). If these smaller vortices exist, the Tornado (C) plot might be a better representation of an actual tornado induced pressure transient.

The depressurization rate could increase because of small vortices, thereby increasing the potential for filter failure. As shown in Fig. 1, the time required to establish a pressure differential across the filter can range from several milliseconds for an explosion to several seconds for a tornado. Therefore, the pressurization rate has been included as a parameter in this study.

## II. REVIEW OF PAST INVESTIGATIONS

### A. Shock Transients

C. E. Billings has reported his results of shock overpressures on filtration devices (3). Apparently, he was primarily concerned with external explosions because the shock overpressures were imposed in a direction opposite to normal flow. His experimental apparatus consisted of a pressurized tank connected to a shock tube. Paper disks were used to seal the pressure tank from the shock tube that contained the filter to be tested. Sudden rupture of the paper disks was used to create a shock wave that was allowed to propagate down the shock tube and impinge upon the test filter. No attempt was made to shape the pressure pulse or control the duration. Measurement of filter resistance after a test was used as an indicator of the effect of the shock wave. A drop in filter resistance caused Billings to conclude that some degree of damage had been sustained. An attempt was made to evaluate the amount of dust that was re-entrained by the shock transient. The following results were reported:

- Moderate damage to 0.61-by 0.61-by 0.15-m filters by 17.2-kPa pressure transients was found.
- Re-entrainment studies using artificially "loaded" filters indicated that large amounts of particulate would be dislodged.

W. L. Anderson and T. Anderson also performed a series of shock transient tests on high efficiency filters (4). Their study was principally concerned with determining the shock overpressure necessary for failure of several sizes of filters. As in Billings's investigation, simulation of

external explosions was a prime requirement for these tests. The experimental apparatus consisted of a firing chamber that was connected to a shock tube. The explosive charges detonated in the firing chamber generated a pressure transient of 50 millisecond duration. Failure was defined as greater than or equal to 0.03% filter penetration using a smoke test rig and DOP (dioctylphthalate). New filters were pulsed repeatedly until the failure point was found. Quantitative determination of particulate re-entrainment or loading loss was not made. The following results were reported

- The 0.20-by 0.20-by 0.15-m and 0.61-by 0.61-by 0.15-m filters failed at pressures of 31.0 kPa and 15.2 kPa respectively.
- An increase in failure resistance was found for thicker filters.
- An increase in filter width resulted in lower resistance to shock damage.
- Dust loading resulted in a 15 percent drop in shock wave resistance capability.

#### B. Tornado Transients

Small 0.20-by 0.20-m filters were tested under simulated tornado transients by the Los Alamos Scientific Laboratory (LASL) and New Mexico State University (NMSU) (5). A blow-down system was used to impose a 20.7-kPa, 3-s duration pressure differential across the test filters. A pressurized tank (Fig. 2) supplied the air needed to create the transient.

The mass flow rate was regulated by sonically choking the flow and expanding to the desired pressure in a chamber. The chamber allowed the air to be prefiltered through two 0.61-by 0.61-by 0.31-m HEPA filters at design capacity. The air then passed through a test section that was long enough to achieve uniform flow before impinging on the test filter. Flow timing was accomplished by controlling the opening rate of a pneumatically operated ball valve upstream from the sonic orifice.

New 0.20-by 0.20-m HEPA filters having thickness of 0.08 and 0.15 m were tested to overpressures of 20.7 kPa with a 6.9-kPa/s pressurization rate. The results of these tests are listed below:

- A pressure of 20.7 kPa with a pressurization rate of 6.9 kPa/s did not cause any apparent physical damage to the filters.
- In calibration tests, higher pressurization rates caused failure in the downstream filter face.
- Flow-resistance data indicated that at high flow rates the pressure drop across the filter does not depend on filter depth (Fig. 3).

- Flow-resistance changes significantly at flow rates greater than 0.52 cubic meters per second (Fig. 3).

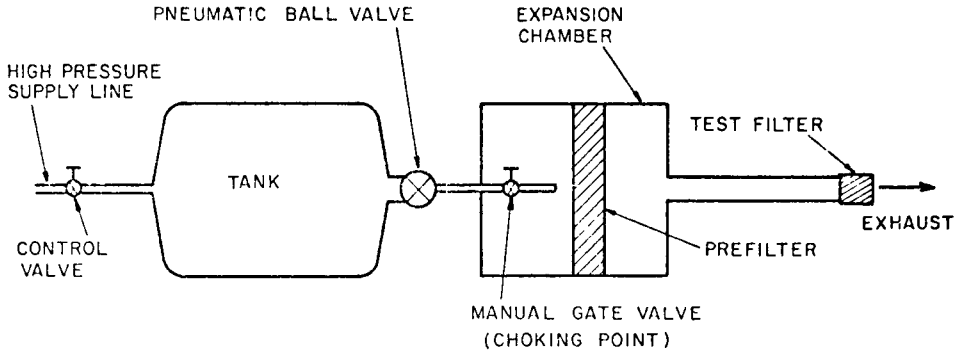


Fig. 2 Experimental apparatus.

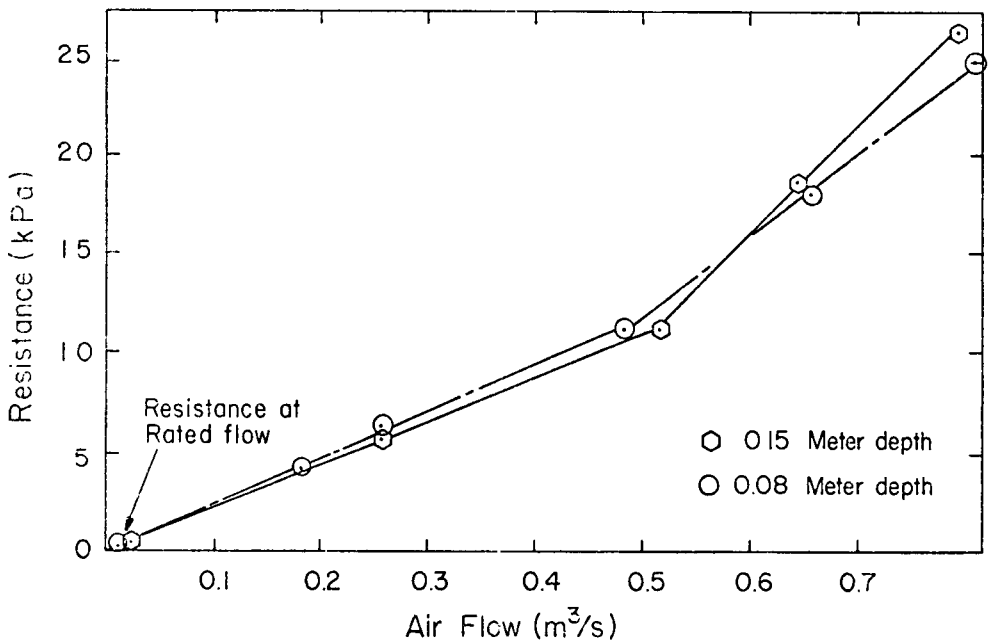


Fig. 3 Flow-resistance curve.

### C. Variable Pressurization Rates

The small filter experimental apparatus used in the tornado transient studies was modified for preliminary investigations of the effect of different pressurization rates on 0.2-by 0.2-by 0.15-m HEPA filters. The modifications included elimination of the prefiltering chamber and replacing the pneumatic ball valve and the choking valve by eight solenoid valves (Fig. 4). An electronic timing device coupled with the multiple valves

allowed selection of any pressurization rate up to that limited by the response of a single valve.

A Hycam high-speed camera was located downstream of the filter and protected from the high velocity air stream by a plastic shield (Fig. 5). The camera was used to study the response of the separators and fiber mat to the transient air flow.

A test series was run at a pressure of 20.7 kPa with pressurization rates of 13.8 to 413.7 kPa/s. In addition to these tests, a series of tests was run using a constant pressure rise time of 0.5 s and varying the differential pressure across the filter from 24.1 to 48.3 kPa. This resulted in pressurization rates of 48.3 to 96.5 kPa/s.

Each filter was subjected to a single pressure pulse. The efficiency of the filters was measured after each test using a poly-dispersed aerosol ranging in size from 0.7 to 1.1 microns. The results of this study are summarized below:

- No apparent structural failure or change in filter efficiency occurred for pressurization rates that varied from 13.8 to 413.7 kPa/s with a pressure differential of 20.7 kPa across the filter.
- A 96.5-kPa/s pressurization rate with a 48.3-kPa differential pressure across the test filter resulted in structural failure and a 20% loss in filter efficiency.

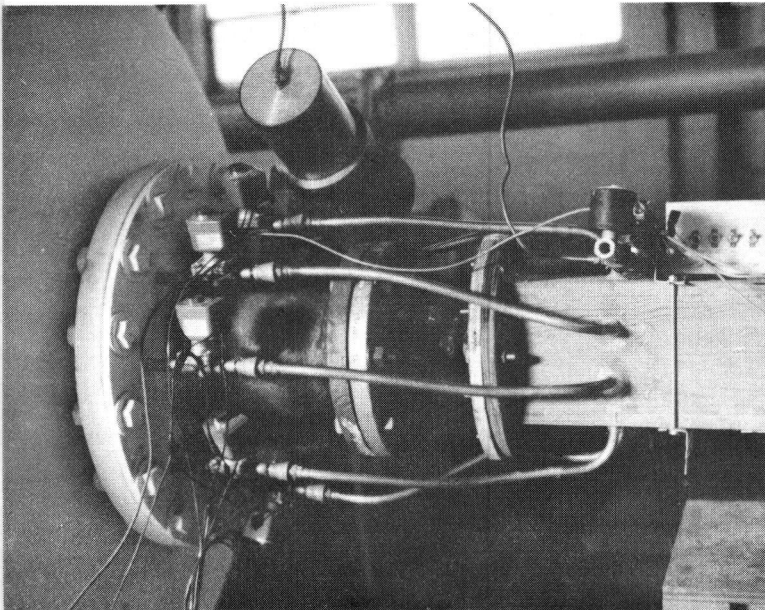


Fig. 4 Multiple valve apparatus.

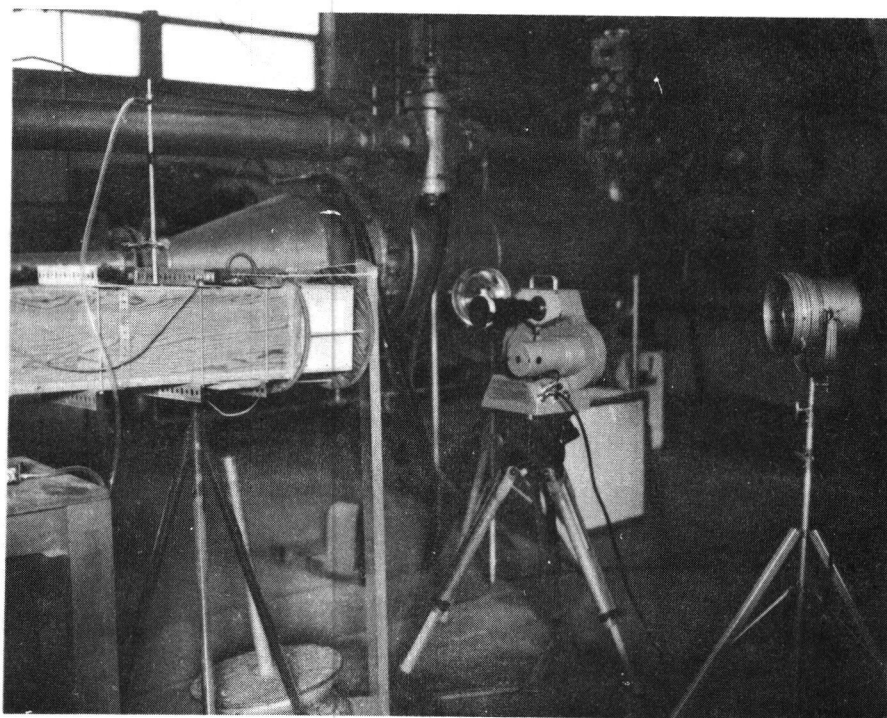


Fig. 5 Experiment and Hycam Camera .

### III. DISCUSSION OF PRESSURE TRANSIENT INVESTIGATIONS

A review of available data on the response of HEPA filters to pressure transients indicates that there is little information on slow rise time tornado-generated pressure transients. Large 0.61-by 0.61-m HEPA filters have been subjected to shock overpressures, but have not been subjected to simulated tornado depressurization.

Interpretation of the tornado transient test results on 0.20-by 0.20-m HEPA filters indicates that the air flow through the filter passes only through the folded ends of the fiber mat under high flow rate conditions, Fig. 6. The flow-resistance curve (Fig. 3) indicates a change from laminar to turbulent flow under high flow rate conditions. The high velocity air through the folded ends may open up mat fibers allowing high velocity air to pass through. After the pressure transient, the fibers close, leaving no evidence of structural failure. Entrapment of particulate by the velocity-dependent diffusion mechanism may not occur during turbulent air flow, and re-entrainment of smaller particles without a second entrapment could also occur under reversed high flow rate conditions.



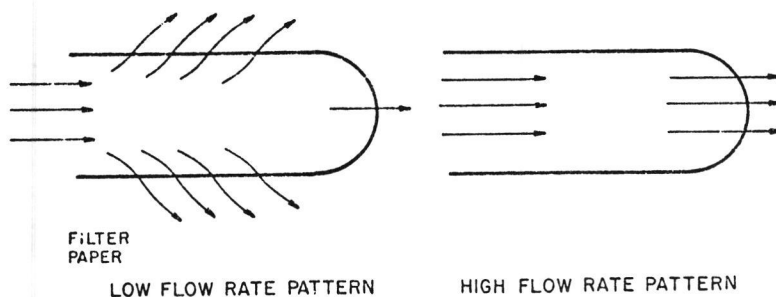


Fig. 6 Flow patterns through HEPA filter.

The previous investigations of small filters have generated the following partial list of questions concerning the effect of tornado pressure transients on 0.61-by 0.61-m filters:

- Will the structural integrity of the filters be maintained throughout the pressure pulse?
- How critical is the pressurization rate?
- What is the mechanism for structural failure?
- What is the actual flow path through the filter during the transient?
- How does the porosity change during the pressure transient?
- If the filters do not fail structurally, is filter effectiveness maintained during the transient?
- Is filter effectiveness different after the transient?
- How effective are "loaded" filters during the transient?
- Does the degree of loading have an effect upon structural failure of the filters?
- How effective are the filters under high flow rates with particulate entrained in the air stream?
- How much "release" can be expected during the transient for various degrees of loading or particle entrainment?

A number of additional questions remain for shock pressure transients.

These are listed below.

- What effect do shock transients have on separatorless filters?
- What is the effect of shock transients on "aged" filters?
- Can the amount of "unloading" be quantified for shock conditions?
- Is there release of airstream entrained particulate under shock transients?

- What is the failure mechanism under shock loading?

We conclude that there is a need for additional analytical and experimental work in the area of pressure transients across HEPA filters. A central test facility would be advantageous in obtaining answers to these and other questions, as well as provide a common experimental basis for all pressure transient work.

#### IV. PRESENT INVESTIGATIONS

An experimental program to investigate the effect of pressure transients on ventilation system components has been undertaken by LASL and NMSU. Pressure transients from shock to slow tornado pressurization will be used. Initially we will be concerned with evaluating the effect of the NRC Region I tornado.

##### B. Proposed Test Methods and Equipment

The equipment used to test the 0.61-by 0.61-m HEPA filters will be a scaled-up version of the preliminary experimental equipment (Fig. 2) Two large pressure tanks and compressor equipment were obtained from the United States Energy Research and Development Administration, Nevada Test Site, and are now located at NMSU at Las Cruces, New Mexico. The pressure tanks are each 1.5-m diam and 19.8-m long (Fig. 7) and were designed to contain oxygen at pressures to 19.3 MPa. The compressor is capable of supplying air at 1.7 MPa.

As in the small filter experiment, the mass flow rate will be regulated by sonically choking the flow and expanding into a 3.05-by 3.05-by 3.05-m chamber (Fig. 8). This chamber will contain 25 HEPA filters for prefiltering the air. The air will travel through a duct of sufficient length to achieve uniform flow before impinging on the test filter.

The pressure pulse rise time will be regulated by controlling the opening rate of valves between the expansion chamber and the high pressure air supply tanks. An electronically controlled multiple solenoid valve arrangement will be used to achieve pressure rise times shorter than the 1.5-s NRC Region I tornado.

The key to obtaining answers to questions of effective filtration is an ability to measure filter behavior during a transient pressure pulse. This can be accomplished by injecting particles of uniform size into the supply duct upstream of the filter, and simultaneously measuring particle density upstream and downstream from the filter. Care must be taken to distribute the particles uniformly across the duct cross section. Also, particles of a size and density comparable to those found in reprocessing ventilation systems should be used.

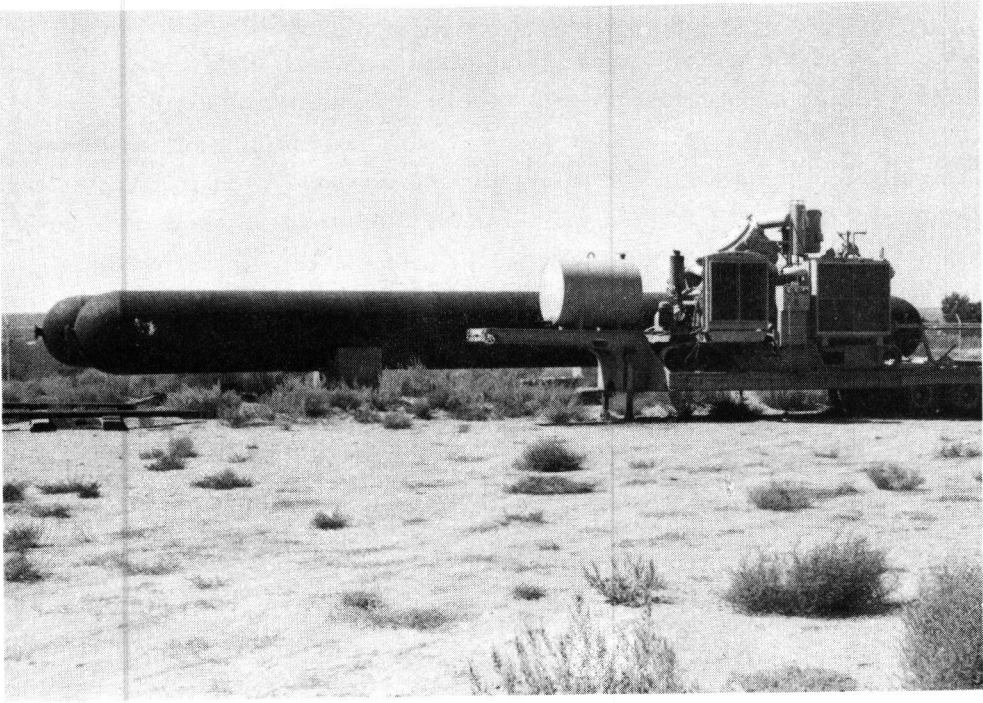


Fig. 7 Pressure tanks and compressor.

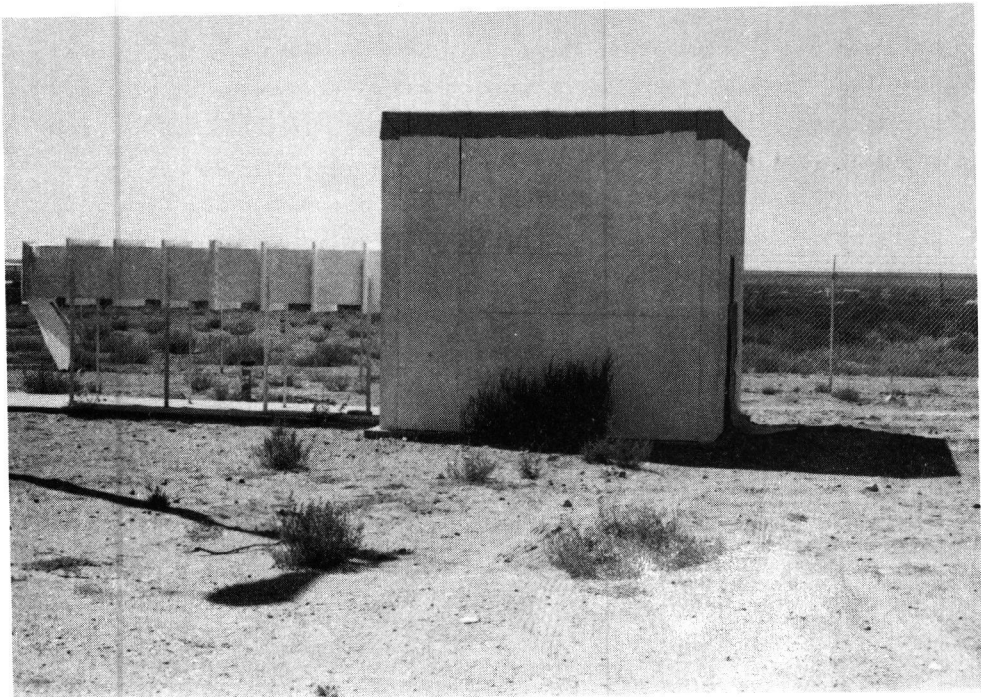


Fig. 8 Expansion chamber and test section.

Several methods for determining the particle density upstream and downstream of the filter during the pressure transient were considered. These included nuclear tracer, x-ray defraction, and light diffusion or scattering. The safety problems inherent with the handling of radioactive materials and x-ray equipment as well as the expense of the instrumentation eliminated the nuclear tracer and x-ray defraction methods from consideration. The further requirement to investigate filter material porosity during a transient pressure pulse virtually required use of a light scattering method. The fact that particle density must be measured in an airstream having a velocity of 30 m/s during a time interval of approximately 3 s led to the consideration of a Laser Doppler Velocimeter (LDV) as both a particle counter and velocity meter.

The measured particle density will be related to the number of particles passing through a small volume per unit time. The data measured by the LDV is proportional to the number of particles passing through its measurement volume per unit time. Hence, the differences between the particle count upstream and downstream across the filter gives the filter effectiveness ( $F_{eff}$ ) during the pulse.

$$F_{eff} = \frac{\text{Particle Count Upstream} - \text{Particle Count Downstream}}{\text{Particle Count Upstream}} \quad (1)$$

A possible configuration of such a system is shown in Fig. 9. We believe that the LDV system could monitor the effectiveness of clean and loaded filters during a pressure pulse. Further, it could give a quantitative measurement of particles released from loaded filters during a pressure transient.

The LDV system would give the mean flow velocity upstream and downstream of the filters, as well as the turbulence level at these points. Furthermore, by traversing the LDV measuring volume (the crossing point of the beams) across the cross-section of the duct downstream of the filters, the flow path of the air through the filters can be determined. Porosity of the filter material during the pressure pulse could be investigated by passing a laser beam through the filter and measuring the change in beam intensity.

To study shock transients, a modification of the existing facility will be used. The experience gained by using the laser instrumentation system to obtain quantitative particle release information during tornado transients will be useful in determining the feasibility of obtaining the same

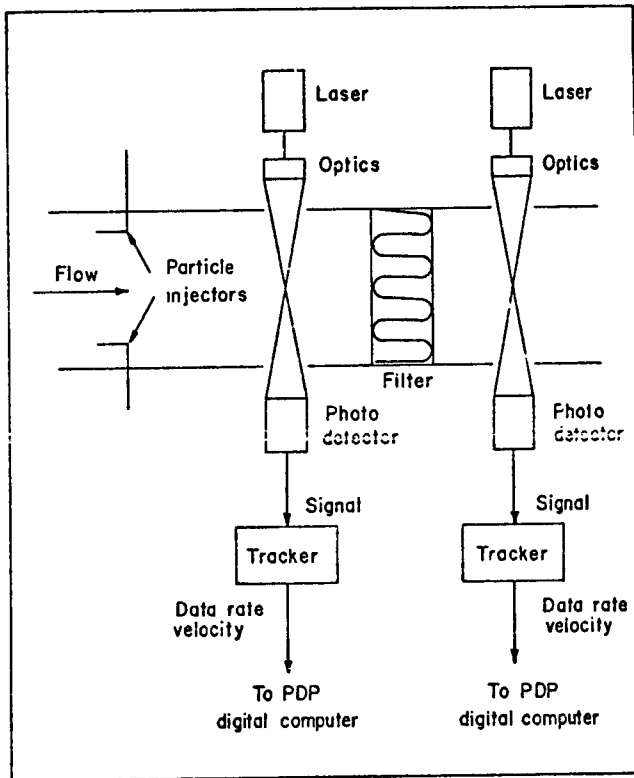


Fig. 9 Laser instrumentation system.

type of information for shock transients.

#### V. CONCLUSIONS

The studies carried out by the authors and other investigations indicate that there is much to be learned about the response of HEPA filters to pressure transients. Knowledge of HEPA filter effectiveness under various pressure transients is critical to maintaining and assuring nuclear plant safety. The facility now being constructed at New Mexico State University has been designed to provide information that can be used to predict the response of HEPA filters when subjected to various pressure transients.

#### VI. ACKNOWLEDGEMENTS

The support of this program by the United States Nuclear Regulatory Commission is gratefully acknowledged.

#### VII. REFERENCES

1. E. H. Markee, Jr., J. G. Beckerley, K. E. Sanders, "Technical Basis for Interim Regional Tornado Criteria," U. S. Atomic Energy Commission, Office of Regulation, Wash-1300, 1974.
2. T. Fujita, "The Lubbock Tornadoes: A Study of Suction Spots," *Weatherwise*, 23, 161-173, 1970.

3. C. E. Billings, "Blast Effects on Air Cleaning Equipment," 4th A.E.C. Air Cleaning Conference.
4. W. L. Anderson, T. Anderson, "Effects of Shock Overpressure on High Efficiency Filter Units," 9th A.E.C. Air Cleaning Conference, CONF-660904, Vol. 1.
5. W. S. Gregory, "HEPA Filter Effectiveness during Tornado Conditions," Los Alamos Scientific Laboratory, LA-5352-MS, 1973.

A NEW ELECTROSTATIC PRECIPITATOR  
FOR HEPA PREFILTER USE IN THE NUCLEAR INDUSTRIES

J. K. Thompson, R. C. Clark and G. H. Fielding  
U.S. Naval Research Laboratory  
Washington - U. S. A.

SUMMARY. Fibrous prefilters extend the service life of HEPA filters by removing most of the larger airborne particles. Such prefilters, however, are less effective in removing submicron particles until they are well loaded and a substantial pressure drop exists.

We propose for HEPA prefilter service a radically new design of two-stage electrostatic precipitator (ESP) which is under development in our laboratory. It has the advantages of washability, efficiency largely independent of aerosol particle size, and very low pressure drop, all of which are common to conventional ESP's. In addition, however, the efficiency of the new design is improved by an order of magnitude or more over conventional ESP's. Moreover, the new design appears to be largely or entirely sparkproof, an important consideration in the filtration of combustible aerosols.

KURZFASSUNG. EIN NEUER ELEKTROFILTER ALS VORFILTER FUER HEPA-FILTER IN DER KERNINDUSTRIE. Glasfaservorfilter verlängern die Lebensdauer von HEPA-Filtern, da sie den grössten Teil der grössten Schwebstoffteilchen abscheiden. Vorfilter dieser Art haben jedoch bezüglich der Abscheidung von Teilchen im Submikronbereich einen geringeren Wirkungsgrad solange sie wenig belastet sind und somit kein beträchtlicher Druckgradient herrscht.

Wir schlagen für den Einsatz von HEPA-Vorfiltern eine vollkommen neue Konstruktion eines Zweistufen-Elektrofilters vor, der gegenwärtig in unserem Labor entwickelt wird. Diese Konstruktion hat folgende Vorteile: Auswaschbarkeit, der Wirkungsgrad ist weitgehend von der Aerosolpartikelgrösse unabhängig und Druckabfall ist sehr gering; herkömmliche Elektrofilter weisen alle diese Merkmale auf. Darüber hinaus wird jedoch bei der neuen Konstruktion der Wirkungsgrad gegenüber herkömmlichen Elektrofiltern um mindestens eine Grössenordnung verbessert. Die neue Konstruktion erscheint ausserdem weitestgehend oder vollständig als funktionsicher, was bei der Filtration brennbarer Aerosole von grosser Wichtigkeit ist.

RESUME. UN NOUVEAU PRECIPITATEUR ELECTROSTATIQUE UTILISABLE COMME PREFILTRE DE FILTRES ABSOLUS DANS L'INDUSTRIE NUCLEAIRE. Les préfiltres fibreux augmentent la durée de vie des filtres absolus en éliminant la plupart des gros aérosols. Toutefois, ces préfiltres s'avèrent moins efficaces dans la rétention de particules submicroscopiques tant qu'ils ne sont pas assez chargés et donc qu'ils ne présentent pas une notable perte de charge.

Nous proposons pour servir de préfiltre à des filtres absolus un précipitateur électrostatique à deux étages d'une conception toute nouvelle qui est en cours de mise au point dans nos laboratoires. Ses avantages sont d'être lavable, d'avoir une efficacité largement indépendante de la taille des aérosols ainsi qu'une perte de charge très faible. Ces propriétés sont communes à tous les précipitateurs électrostatiques mais, en plus, l'efficacité du nouveau modèle est améliorée d'un ordre de grandeur ou plus par rapport aux précipitateurs électrostatiques conventionnels et, en outre, chose importante dans la filtration d'aérosols combustibles, ce modèle offre une protection anti-étincelles excellente, voire complète.

In a seminar dedicated to consideration of air filtration systems having a submicron particle decontamination factor of  $10^3$  or more, introduction of the subject of very high efficiency prefilters is appropriate. Prefilters of some type are almost indispensable for extending the service life of HEPA filters, in view of the high initial and disposal costs of the latter. The common fibrous prefilters do not function well when new against the submicron particles which are largely responsible for increasing the pressure drop in the HEPA filters. The fibrous prefilters improve in efficiency against submicron particles if left in service until heavily loaded, but this measure involves increased air-moving costs.

Ideally, a prefilter should have a low pressure drop at all times, a sustained high efficiency for all aerosol particle sizes, a low annual cost (including initial, handling, and disposal costs) and no tendency to ignite deposits of combustible materials. The conventional two-stage electrostatic precipitator (ESP) meets some of these requirements and fails in others. Its very low pressure drop is all that could be asked for, and its efficiency, while not particularly high (85-90 %) is relatively constant for all particle sizes. However, it is not cost-effective because the initial cost is high for the filtration efficiency it provides, even though maintenance costs are low and the service life is measured in years. A further serious handicap to placing conventional ESP's in certain installations is the occasional-to-frequent inter-plate sparking, which is capable of igniting combustible deposits.

A new type of two-stage ESP, under development in our laboratory eliminates many of the disadvantages of conventional ESP stated above, while retaining all of the inherent advantages. The heart of the new design is replacement of the usual metallic ground and high-voltage plates by non-metallic plates which are only slightly conductive. Such plates are constructed of, for example, glass-reinforced plastic circuit board coated with (or containing) a small amount of carbon black. The desired degree of conductivity is such that there is an insignificant voltage drop in the plates due to the particle deposition current (voltage drop equals current times resistance). At the same time the resistance to point discharges, such as sparking between plates, completely inhibits the initiation of such discharges. Two factors combine to prevent spark discharges, high current, point-discharge events. First, by setting the resistance times capacitance (RC) time constant for plate discharge high enough, sparks, which are millisecond, or shorter, events, cannot occur. Secondly, the resistance between (1) a point in a uniformly resistant plate and (2) the remainder of the plate, can be shown to be largely concentrated near the point. Thus, the particle deposition current can flow readily, since it is current through an area, whereas a spark current "sees" a much larger resistance in that it is a current through a point.

Our experiments thus far are largely qualitative, and we cannot yet be sure of the degree of spark inhibition attainable. Other favorable characteristics of the new design are clear, however. For example, the high resistance plates can be supported only at their edges, resting in longitudinal grooves in a non-conducting plastic housing. Plates in conventional two-stage ESP's on the other hand, must be supported free of the housing, to avoid sparkover. This distorts both the precipitation electric field and the flow of air and results in efficiencies in the range of 85-90 %, decontamination factors (DF's) of 7-10. Our principle has previously been shown in our laboratory to produce efficiencies - at comparable air flows - of 99.5 %, a DF of 200. Three such units in series yielded an



efficiency beyond the range of our light scattering instrument, but which was measured by a micro-biological aerosol technique to be in excess of 99.999 % a DF of 10 +.

Much more experimentation will be necessary to clarify the capabilities and limitations of the new ESP design in nuclear industry prefilter service. We believe, however, that the advantages in principle are so large that a new milestone in air filtration technology can be anticipated.



## IMPROVING THE COST-EFFECTIVENESS OF HEPA FILTERS VIA DIELECTROPHORETIC PREFILTERS

J. K. Thompson, R. C. Clark and G. H. Fielding  
U. S. Naval Research Laboratory  
Washington - U. S. A.

SUMMARY. Dielectrophoresis is the movement of uncharged particles in non-uniform electric fields. It is a pure field, zero current, zero corona phenomenon. Dielectrophoresis has been applied to improve the normal decontamination factors (DF's) of high quality glass fiber prefilter media by an order of magnitude or more at a face velocity of 20 cm/sec and a pressure drop of 1 cm H<sub>2</sub>O (the manufacturer's rated condition). These data apply to aerosols of 0.3 and one micron Dioctyl Phthalate (DOP), and a DC voltage gradient of 11 kV/cm. Further developments are foreseen which will eliminate the unacceptable process of interelectrode sparking through the medium, and provide electrode configuration suitable for pleated media.

KURZFASSUNG. VERBESSERUNG DES KOSTEN-WIRKUNGSGRAD-VERHÄLTNISSSES BEI HEPA-FILTERN DURCH DIELEKTROPHORETISCHE VORFILTER. Unter Dielektrophorese versteht man die Bewegung nicht geladener Partikel in inhomogenen elektrischen Feldern. Hierbei handelt es sich um ein Phänomen reiner Feldwirkung, bei dem kein Strom und keine Korona in Erscheinung treten. Die Dielektrophorese wurde benutzt, um die normalen Dekontaminationsfaktoren von hochwertigem Glasfaser-material für Vorfilter bei einer Anströmgeschwindigkeit von 20 cm/s und einem Druckgefälle von 1 cm WS (Richtwert des Herstellers) um mindestens eine Größenordnung zu verbessern. Diese Daten gelten für Aerosole von 0,3 und 1 Mikron des Dioktyl-Phthalat (DOP) und einem Gleichspannungsgefälle von 11 kV/cm. Es sind weitere Entwicklungen vorgesehen, bei denen der unerwünschte Vorgang des Funkendurchschlags durch das Filtermaterial zwischen den Elektroden vermieden und eine Elektrodenkonfiguration gefunden wird, die mit der Gegenwart von gefaltetem Filtermaterial verträglich ist.

RESUME. AMELIORATION DU RAPPORT EFFICACITE-COUTS DES FILTRES HEPA GRACE AUX PREFILTRES DIELECTROPHORETIQUES. La diélectrophorèse est le mouvement des particules non chargées dans des champs électriques non uniformes. C'est un champ pur, courant zéro, effet de couronne zéro. La diélectrophorèse a été appliquée en vue d'améliorer les facteurs normaux de décontamination des milieux filtrants de préfiltres en fibre de verre de haute qualité d'un ordre de grandeur ou plus à une vitesse superficielle de 20 cm/s et une chute de pression de 1 cm H<sub>2</sub>O (conditions du fabricant). Ces données s'appliquent aux aérosols de dioctyle phtalate de 0,3 et 1 micron, avec gradient de potentiel CC de 11 kV/cm. Des développements ultérieurs sont prévus pour éliminer l'action inacceptable de la formation d'étincelles entre électrodes à travers le milieu et pour fournir une configuration d'électrodes adaptable aux milieux filtrants plissés.

HEPA filters have reached a very high degree of development in agreement with their importance in the nuclear industries, and only marginal further improvement can be expected at best. In decided contrast, orders-of-magnitude improvement in prefilter performance appear possible. It is, of course, not entirely clear as to what extent an increase in the decontamination factor (DF) of a typical prefilter from 2 to 20, will be reflected in the service life of an associated HEPA filter. Much depends on whether or not the DF increase applies to the filtration of a small, e. g., 0.3 micron, aerosol. Since the NRL work reported on here is based on both one and 0.3 micron aerosols, and discloses improvement of prefilter performance by factors well in excess of one order of magnitude, we believe that dielectrophoretic augmentation of HEPA prefilters is a very promising route to major improvements in overall HEPA/prefilter systems.

Although dielectrophoretic mechanisms or processes are evident in the scientific literature hundreds of years old, recent interest began with the work of H. A. Pohl at this laboratory in the 1940's. Pohl also coined the term "dielectrophoresis", which has since become rather generally adopted. Pohl's extensive studies appear to have been entirely in the liquid phase. The first studies in dielectrophoretic air filtration seem to have been made by Sproul of the Western Precipitation Corporation at Los Angeles, California, in the early 1950's. Subsequent studies were reported by Rivers, of the American Air Filtration Corporation. For various reasons, air filtration improvements obtained in those early studies were modest.

Work in our laboratory began three years ago under US AEC (now US ERDA) sponsorship. We began with a commercial glass fiber filter medium only 6.5 mm thick, and having an efficiency of 67 % (DF = 3.0) for 0.3 micron Dioctyl Phthalate (DOP) aerosol and 77 % (DF = 4.3) for one micron DOP. At an applied DC voltage (using flat wire screen electrodes) of 7 kV (11 kV per cm) the efficiencies rose to about 98+ and 99 % respectively, with respective DF's of approximately 50 and 100. Thus, the DF's were augmented in both cases by more than an order of magnitude. These data were obtained on flat samples of the filter medium and at a face air velocity of 17 cm/sec and 10 mm H<sub>2</sub>O pressure drop, the manufacturer's rated conditions. If the medium were pleated to decrease the air velocity through the medium by a factor of 2.5, the respective DF's would be increased by two orders of magnitude or more, relative to the flat medium at zero voltage. Pleating the filter medium would also allow a heavier loading of the prefilter before the pressure drop became excessive.

Two substantial problems must be solved before the technique of dielectrophoretic air filtration becomes a technology. The first problem is that of sparking through the medium as the result of voltage pulses and/or the development of conductive paths through the medium as aerosol deposits build up. Once such a sparkthrough occurs a permanent "short" is established between typical metal-screen electrodes (moreover, sparks may ignite combustible deposits). This difficulty was a major one in the rejection of the Sproul device by the USAEC. The other problem is that of configuration of the electrodes for pleated filters.

To approach the second problem first, we believe that it can be solved either by the use of rigid pleated conformal electrodes, or by the use of flexible conducting glass scrim electrodes permanently attached to the medium at manufacture.

The most serious problem, that of sparking through the medium, can be

solved in principle by a new design principle also adopted at our laboratory to produce nonsparking electrostatic precipitator plates. This principle is that of the high resistance electrode. In a uniformly resistant plate or grid, most of the resistance "seen" by a spark originating or terminating at a point (and sparks are point discharge events) is in an area lying close to the point. Two advantages accrue because of this interesting phenomenon. One is that, if a spark does occur, only the electrode voltage close to the sparking point is seriously decreased. The other is that, since the resistance between the entire electrode and any point in the electrode is always high, the RC (resistance x capacitance) time constant for the capacitive discharge of the parallel electrode system is too large to permit a spark - essentially a millisecond, or briefer event - to start or be sustained.

We should add that high resistance mesh electrode for a dielectrophoretic filter can be constructed by an overall application of a slightly conducting coating to glass fiber scrim after weaving, by printing the scrim with a maze grid pattern of a conductive coating, or by weaving the scrim with, e. g., a non-conducting warp and a conductive filling.

Much work clearly remains to be done to reduce dielectrophoretic air filtration to practice. However, the potential advantages to air filtration systems of the highest quality are impressive.

It should be noted that research in dielectrophoretic air filtration is also in progress at the Lawrence Livermore Laboratory of the USERDA, Livermore, California, USA.



MOEGLICHKEITEN UND GRENZEN DES EINZATZES ELEKTROSTATISCHER  
ABSCHIEDER IN WIEDERAUFARBEITUNGSANLAGEN

H. Beaujean  
Gesellschaft für Wiederaufarbeitung  
Karlsruhe - B.R. DEUTSCHLAND

M. Laser, H. Barnert-Wiener und H. Vygen  
Kernforschungsanlage Jülich  
Jülich - B.R. DEUTSCHLAND

KURZFASSUNG. Elektrostatische Abscheider haben sich in der allgemeinen Technologie bei der Aerosolabscheidung gut bewährt. In der Kerntechnik wurden damit allerdings widersprüchliche Ergebnisse erzielt. Haupthindernis für ihre Anwendung in radioaktiv kontaminierten Gasströmen ist die Beta-Aktivität, die das Gas ionisiert. Die erzeugten positiven Ionen rekombinieren sich mit den negativ geladenen Aerosolen und verhindern damit die Abscheidung der Aerosole. Diese Wirkung nimmt mit steigender Beta-Aktivität und grösserem Durchmesser der Entladungsröhre zu.

Befriedigende Ergebnisse wurden bei der Abscheidung von Zäsium-Aerosolen von Brennerabgasen bei der Wiederaufarbeitung von HTR-Brennelementen erzielt, wo Dekontaminationsfaktoren bis zu  $10^4$  festgestellt wurden. Der Innendurchmesser der Entladungsröhre betrug 45 mm, die Aktivität des Abgases lag unter  $1 \text{ Ci/m}^3$ .

Zur Zeit werden die elektrostatistischen Abscheider auf ihre Eignung für die Trennung von Aerosolen, die als Tropfen oder Partikel im Abgas einer Spaltproduktverfestigungsanlage auftreten, geprüft. Erste Versuche verliefen überaus vielversprechend.

SUMMARY. APPLICABILITY OF ELECTROSTATIC PRECIPITATORS IN REPROCESSING PLANTS

AND THEIR LIMITS. Electrostatic precipitators are well proven in current technology for the separation of aerosols. In the field of nuclear technology, however, contradictory results have been found. The main obstacle for an application in radioactive contaminated gas streams is the beta-activity, which ionizes the gas. The positive ions produced recombine with the negatively charged aerosols and therefore prevent the deposition of the aerosols. This effect increases with increased beta-activity and increased discharge tube diameter.

Good results have been achieved with the separation of caesium aerosols from the burner off-gas in reprocessing of HTR fuel elements, where decontamination factors up to  $10^4$  were found. The inner diameter of the tube was 45 mm and the activity of the off-gas was below  $1 \text{ Ci/m}^3$ .

The applicability of electrostatic precipitators in the separation of liquid and solid aerosols from the off-gas of a fission product solidification plant is presently being tested. Initial experiments are very promising.

RESUME. POSSIBILITE ET LIMITES D'EMPLOI DE PRECIPITATEURS ELECTROSTATIQUES

DANS LES USINES DE RETRAITEMENT. Les précipitateurs électrostatiques ont fait leurs preuves dans la technologie courante pour la séparation des aérosols. Cependant, en technologie nucléaire, des résultats contradictoires ont été observés. Le principal obstacle à leur emploi dans les courants de gaz contaminés radioactifs est l'activité bêta qui provoque l'ionisation du gaz. Les ions positifs produits se recombinent aux aérosols chargés négativement, empêchant ainsi ces deux derniers de se déposer. Cet effet augmente avec l'accroissement de l'activité bêta et avec l'augmentation du diamètre du tube de décharge.

Des bons résultats ont été obtenus en séparant des aérosols de césium du

gaz d'échappement du brûleur lors du retraitement des éléments de combustible HTR, où l'on a trouvé des facteurs de décontamination atteignant  $10^4$ . Le diamètre intérieur du tube était de 45 mm et l'activité du gaz d'échappement était inférieure à  $1 \text{ Ci/m}^3$ .

La possibilité d'utiliser les précipitateurs électrostatiques pour la séparation d'aérosols liquides et solides issus du gaz d'échappement d'une usine de solidification de produits de fission fait actuellement l'objet d'essais. Les premières expériences sont très prometteuses.



## EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Elektrostatistische Abscheider, oder auch einfach Elektrofilter genannt, dienen in der Verfahrenstechnik zur Abscheidung von Feinstäuben, Rauch und Nebel in einem elektrischen Feld. Eine negative Sprühelektrode, meist als Draht ausgebildet, erzeugt wegen des hohen Feldes in unmittelbarer Nähe des Drahtes eine Korona. Die dabei entstehenden positiv geladenen Ionen wandern zur Sprühelektrode und schlagen hier weitere Elektronen aus der Kathode heraus. Die Elektronen laden auf ihrem Weg zur Anode Staubteilchen und Aerosole negativ auf, wodurch diese nun im elektrischen Feld zur Anode wandern und dort entladen und abgeschieden werden.

Die Wirkungsgrade der Elektrofilter liegen in der Regel bei 99 % oder gar darunter. Durch geeignete Auslegung bei entsprechend höherem Aufwand lassen sich aber wesentlich höhere Abscheidegrade erreichen.

Zuverlässigkeit und Wirksamkeit der Elektrofilter legen es nahe, sie auch in der Kerntechnik für ausgewählte Aufgaben einzusetzen. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß Elektrofilter "aktive" Rückhalteeinrichtungen sind, die gegebenenfalls durch eine "passive" Einheit, z. B. durch herkömmliche Aerosolfilter, ergänzt werden müssen, wenn das Abgas oder die Abluft in die Atmosphäre abgeleitet werden soll. Der Einsatz der Elektrofilter zusätzlich zu den Aerosolfiltern kann dann zu einer erheblichen Erhöhung der Standzeit der Aerosolfilter führen.

Bisher wurden von uns Elektrofilter mit gutem Erfolg zur Abscheidung von radioaktiven Aerosolen aus dem Abgas der Verbrennung von verbrauchten HTR-Brennelementen eingesetzt. HTR-Brennelemente bestehen aus einer Graphitmatrix, in der der Brennstoff in Form von beschichteten Teilchen, sog. "coated particles" eingebettet ist. Diese Graphitmatrix und die Beschichtung aus Pyrokohlenstoff werden im ersten Schritt der Wiederaufarbeitung der verbrauchten Brennelemente verbrannt, wobei Spaltprodukte, vor allem  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{129+131}\text{J}$  und  $^{134+137}\text{Cs}$ , ins Abgas gelangen. Die Aktivität dieser Abgase betrug bis zu etwa  $1 \text{ Ci/m}^3$ . Für die Aerosole, die überwiegend Cäsium enthielten, wurden Dekontaminationsfaktoren bis zu 10 000 erzielt (1, 2). Für Jod schwankten die Dekontaminationsfaktoren sehr stark, was aber offensichtlich auf eine unterschiedliche Verteilung des Jods auf Aerosole und gasförmige Spezies zurückzuführen ist.

Eine weitere Einsatzmöglichkeit sehen wir in der Reinigung des Abgases aus der Verfestigung der hochradioaktiven Spaltproduktlösung. Nach dem von uns

entwickelten FIPS-Verfahren (3) werden die Spaltproduktlösungen nach dem Zusatz von Glasbildnern auf einem Walzentrockner verfestigt und das Produkt anschließend zu einer glasartigen Masse verschmolzen. Bei diesem letzten Schritt gelangen gasförmige Zersetzungsprodukte wie  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{SO}_3$  und Wasser sowie hochradioaktive Stäube in das Abgas. Die entstehenden Nebel ließen sich in inaktiven Laborversuchen sehr gut abscheiden. Heiße Versuche stehen allerdings noch aus.

Der Einsatz der Elektrofilter in der Kerntechnik findet möglicherweise eine Grenze, wenn ein starkes Strahlenfeld zu einer merklichen Ionisation im Elektrofilter, jedoch außerhalb der Korona, führt. Dann nämlich besteht die Möglichkeit, daß positive Ionen auf negativ geladene Aerosole treffen und diese vorzeitig entladen. Die Aerosole erreichen dann möglicherweise nicht die Wand, sondern werden mit dem Gasstrom ausgetragen. Der Wirkungsgrad sinkt also.

Die Wirkung ionisierender Strahlen wird aus Abb. 1 deutlich. Die durch die ionisierende Strahlung erzeugten Ionen wandern wie ein Vorhang dem negativ geladenen Aerosol entgegen und fangen es ab. Zur Beurteilung dieses Effekts muß auf einige Grundlagen der elektrostatischen Abscheidung eingegangen werden (4).

#### THEORIE DES ELEKTROFILTERS

Die einfachste Form des Elektrofilters ist das Röhrenfilter. Es besteht aus einem zylinderförmigen Mantel, der als Anode geschaltet ist, und einem im Zentrum gespannten Draht als Sprühkathode. Beim Anlegen einer Hochspannung bildet sich in unmittelbarer Nähe des Drahtes ein sehr starkes Feld aus, das zur Ionisation des Gases führt. Mit zunehmendem Abstand vom Draht nimmt das elektrische Feld schnell ab. Es reicht dann nicht mehr aus, um Ionen oder Elektronen so stark zu beschleunigen, daß sie ihrerseits eine Ionisation auslösen können. So bleibt die Ionisation auf einen engen Bereich in der Nähe des Drahtes, auf die Korona, beschränkt.

Die Mindestfeldstärke  $E_a$  zur Einleitung der Korona läßt sich nach einer empirischen Gleichung von WHITEHEAD berechnen:

$$E_a = 30,5 \left( 1 + \frac{0,305}{\sqrt{r_K}} \right) \text{ [kV/cm]}$$

Die Feldstärke im Zylinder läßt sich beschreiben durch die Gleichung

$$E = U / r_K \ln \frac{r_A}{r_K} \quad \begin{array}{l} r_A = \text{Radius der Anode cm} \\ r_K = \text{Radius der Kathode cm} \end{array}$$

Daraus ergibt sich die Mindestspannung

$$U_a = 30,5 \left( 1 + \frac{0,305}{\sqrt{r_K}} \right) r_K \ln \frac{r_A}{r_K} \quad [\text{kV}]$$

Die in der Korona entstehenden positiven Ionen werden zur Sprühkathode hin stark beschleunigt und schlagen beim Auftreffen neue Elektronen aus der Elektrode. Die Elektronen wandern zur Anode und treffen auf ihrem Weg auf die Aerosole, die dadurch negativ aufgeladen werden.

Die maximale Ladung  $n_{\max}$ , die ein Teilchen aufnehmen kann, ist eine Funktion der Feldstärke E, des Teilchenradius r und der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon_r$ . Sie läßt sich errechnen nach der Gleichung

$$n_{\max} = 4\pi \epsilon_a \frac{E}{e} \left[ 1 + 2 \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} \right) \right] r^2 \quad \begin{array}{l} \epsilon_a = \text{Verschiebungskonstante} \\ e = \text{Elementarladung} \end{array}$$

Bei Teilchendurchmesser von 10  $\mu\text{m}$  beträgt  $n_{\max}$  etwa 10 000, bei 1  $\mu\text{m}$  etwa 100 und bei 0,1  $\mu\text{m}$  etwa 10.

Die Wanderungsgeschwindigkeit w der Teilchen im elektrischen Feld ergibt sich nach dem STOKESschen Gesetz:

$$w = \frac{n_{\max} \cdot e \cdot E}{6\pi r \cdot \eta} \quad \eta = \text{dynamische Gaszähigkeit}$$

Setzt man  $n_{\max}$  in diese Gleichung ein, so erkennt man, daß die Wanderungsgeschwindigkeit proportional der Teilchengröße ist. Diese Beziehung gilt recht gut für Teilchenradien über 1  $\mu\text{m}$ . Bei kleineren Teilchen nimmt w mit abnehmender Teilchengröße zu, bis sie die Wanderungsgeschwindigkeit der Ionen im elektrischen Feld erreicht. Damit liegt die in Bezug auf die Abscheidungsgeschwindigkeit kritische Teilchengröße bei etwa 1  $\mu\text{m}$ . Bei mittleren Feldstärken beträgt w für diese Teilchen etwa 6 cm/s.

Um eine vollständige Abscheidung der Teilchen zu erreichen, muß die Verweilzeit des Gases im Elektrofilter größer sein als die sich aus der Wanderungsgeschwindigkeit ergebende Zeit zur Abscheidung der Teilchen. Der Abscheidegrad y ist daher vor allem abhängig von der Wanderungsgeschwindigkeit

keit der Teilchen  $w$ , der Gasgeschwindigkeit  $v$ , der Länge des Elektrofilters  $L$  sowie dessen Radius  $r$ .

$$y = 1 - e^{-\frac{2 w L}{v r}}$$

Für eine 99,9 %ige Abscheidung muß der Wert des Exponenten theoretisch bei 6,9, für eine 99,99 %ige Abscheidung bei 9,2 liegen. Zwar werden diese theoretischen Werte wegen unvollständiger Abscheidung an der Anode oder wegen Wiederaufwirbelung bereits abgeschiedener Teilchen in der Regel nicht erreicht. Doch bereitet, wie sich aus den Daten abschätzen läßt, eine hinreichende Überdimensionierung der Anlage keine Schwierigkeiten.

So wie beim Wirkungsgrad teilweise beträchtliche Abweichungen von der Theorie auftreten, können auch bei der Berechnung der anderen charakteristischen Daten deutliche Differenzen auftreten. Bei der Auslegung eines Elektrofilters muß man sich daher stets genügend Reserve vorbehalten. Diese Einschränkungen gelten selbstverständlich auch für die folgenden Abschätzungen.

#### BEEINFLUSSUNG DER ABSCHIEDUNG DURCH IONISIERENDE STRAHLUNG

Eine merkliche Beeinflussung der Abscheidung durch ionisierende Strahlung ist zu erwarten, wenn in erster Näherung die Zahl der durch das Strahlenfeld erzeugten Ionenpaare die gleiche Größenordnung erreicht wie die Zahl der den Koronastrom verursachenden Ladungsträger.

Diese vereinfachende Betrachtungsweise läßt eine möglicherweise unterschiedliche Kombinationswahrscheinlichkeit der durch Strahlung erzeugten positiven Ionen mit den verschiedenen negativen Ladungsträgern (Elektronen, Ionen, Aerosolc) außer Betracht.

Eine Ionisation durch Strahlung kann sowohl durch die im Abgas mitgeführte Radioaktivität, insbesondere die  $\beta$ -Aktivität, wie auch durch ein hohes  $\gamma$ -Strahlenfeld verursacht werden.

Für die Ionisation durch  $\beta$ -Strahlen läßt sich unter der Annahme einer mittleren Energie von 1 MeV/Zerfall und einem Energieverbrauch von 35 eV/Ionenpaar die Zahl der erzeugten Ionenpaare errechnen:

$$I_{\beta} = \frac{Ci}{m^3} \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \frac{Zerf.}{Ci \cdot s} \cdot 1 \cdot 10^6 \frac{eV}{Zerf.} \cdot \frac{1 \text{ Ionenpaar}}{35 \text{ eV}} = 1 \cdot 10^{15} \frac{\text{Ionenpaare}}{m^3 \cdot s}$$

Ein  $\gamma$ -Strahlenfeld von 1 R/h erzeugte in Luft eine Ionisation von

$$I_{\gamma} = \frac{1 \text{ R/h}}{3600 \text{ s/h}} \cdot 1,6 \cdot 10^{12} \frac{\text{Ionenpaare}}{\text{R} \cdot \text{g Luft}} \cdot 1226 \frac{\text{g Luft}}{\text{m}^3} = 5,4 \cdot 10^{11} \frac{\text{Ionenpaare}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}}$$

Die Ionenpaarbildung durch ionisierende Strahlung ist nun in Beziehung zu setzen zum Volumen und dem Koronastrom der Elektrofilter. Als Beispiele seien hier 2 kleine Laborfilter und ein größeres technisches Filter gewählt:

- a) ein kleines Röhrenfilter

$$r_A = 23 \text{ mm}, \quad L = 1000 \text{ mm}, \quad \text{Koronastrom } I = 0,5 \text{ mA}$$

- b) ein kleines Hochleistungsfilter (Abb. 2)

$$r_A = 32,5 \text{ mm}, \quad r_K (\text{Zylinder}) = 12,5 \text{ mm}, \quad r_K (\text{Draht}) = 0,14 \text{ mm}, \\ r_K (\text{Scheibe}) = 17,5 \text{ mm}, \quad L = 1000 \text{ mm}, \quad I = 0,05 \text{ mA}$$

Die Ionisation erfolgt nur an der Spitze und an einer Scheibe in der Mitte. Im Bereich der Elektrodenverdickung setzen sich die Stäube und Aerosole ab. Diese Konstruktion ermöglicht einen höheren Wirkungsgrad bei einem breiten Kornspektrum bei vergleichsweise geringem Energieverbrauch.

- c) ein konventionelles Röhrenfilter

$$r_A = 125 \text{ mm}, \quad L = 3500 \text{ mm}, \quad \text{Koronastrom } I = 1,5 \text{ mA}$$

In Tab. I sind für diese drei Filter die Koronaströme der Ionenpaarbildung durch ionisierende Strahlung gegenüber gestellt, und zwar jeweils für ein Verbrennungsabgas mit 1 Ci/m und einem Strahlenfeld von 100 R/h und ein Abgas aus der Spaltproduktverfestigung mit 10 Ci/m<sup>3</sup> und einem Strahlenfeld von 10 000 R/h. Diese eingesetzten Werte entsprechen weitgehend der bisherigen Erfahrung.

Nach diesen Berechnungen müßte das kleine Röhrenfilter für beide Probleme einsetzbar sein; denn die Zahl der durch den Koronastrom transportierten Ladungen liegt noch mehr als zwei Größenordnungen über der Zahl der durch die Strahlung erzeugten Ionenpaare. Das kleine Hochleistungsfilter ist zwar für das Verbrennungsabgas einsetzbar, bei dem Verfestigungsabgas aber ist die Anwendbarkeit zumindest fraglich. Bei dem großen Röhrenfilter dagegen

ist offensichtlich das Volumen zu groß und damit die Zahl der gebildeten Ionen zu hoch, so daß ein Einsatz solcher großer Filter nicht anzuraten ist. Lediglich für erheblich niedrigere Aktivitäten kommen sie in Frage. Um hohe Gasdurchsätze zu erzielen, müßten daher zahlreiche kleine Elektrofilter parallel geschaltet werden.

Eine Berücksichtigung einer unterschiedlichen Kombinationswahrscheinlichkeit der positiven Ionen mit den negativen Ladungsträgern kann möglicherweise zu niedrigeren Werten für die noch tragbare Ionisation durch  $\beta$ - oder  $\gamma$ -Strahlung führen.

	Verbrennungsabgas 1 Ci $\beta/m^3$ 100 R/h	Anwendbarkeit	Verfestigungsabgas 10 Ci $\beta/m^3$ 10 000 R/h	Anwendbarkeit
kleines Röhrenfilter $V = 1,7 \cdot 10^{-3} m^3$ $D = 0,023 m$ $I = 0,5 mA$ $= 3 \cdot 10^{15}$ Ladungen/s	$I_{\beta} = 1,8 \cdot 10^{12}$ $I_{\gamma} = 9,3 \cdot 10^{10}$	+	$I_{\beta} = 1,8 \cdot 10^{13}$ $I_{\gamma} = 9,3 \cdot 10^{12}$	+
kleines Hochleistungsfilter $V = 1,7 \cdot 10^{-3} m^3$ $I = 0,05 mA$ $= 3 \cdot 10^{14}$ Ladungen/s	$I_{\beta} = 1,8 \cdot 10^{12}$ $I_{\gamma} = 9,3 \cdot 10^{10}$	+	$I_{\beta} = 1,8 \cdot 10^{13}$ $I_{\gamma} = 9,3 \cdot 10^{12}$	-
großes Röhrenfilter $V = 0,170 m^3$ $D = 0,25 m$ $I = 1,5 mA$ $= 9,4 \cdot 10^{15}$ Ladungen/s	$I_{\beta} = 1,8 \cdot 10^{14}$ $I_{\gamma} = 9,3 \cdot 10^{12}$	-	$I_{\beta} = 1,8 \cdot 10^{15}$ $I_{\gamma} = 9,3 \cdot 10^{14}$	-

Tab. I: Vergleich der Korona- und Ionisationsströme bei verschiedenen Elektrofiltertypen und für verschiedene Strahlenbelastungen

## EXPERIMENTELLE DATEN

In heißen Versuchen wurden bisher

- ein kleines Röhrenfilter
- und
- ein kleines Hochleistungsfilter

zur Dekontamination des Verbrennungsabgases eingesetzt. Die technischen Daten entsprechen den oben angegebenen.

Das Röhrenfilter war selbstgefertigt. Seine Einsatzspannung lag zwischen 20 kV und 25 kV. Das stimmt gut mit dem errechneten Wert von 23 kV überein. Die gemessene Stromstärke lag zwischen 1 und 2 mA, im Mittel bei 1,5 mA. Es ist allerdings nicht auszuschließen, daß in diesem Wert ein merklicher Kriechstromanteil enthalten ist. Der eigentliche Koronastrom lag wahrscheinlich nicht über 0,5 mA, was mit der üblichen Auslegung von Röhrenfiltern übereinstimmt. Die Abgasaktivität betrug im Maximum etwa  $1 \text{ Ci/m}^3$ , im Mittel ca.  $0,1 \text{ Ci/m}^3$ . Die Gasgeschwindigkeit lag bei 8 cm/s.

An der Wand des Filters baute sich allmählich eine Kontamination auf, die auch nicht durch Spülen zu entfernen war. Sie führte zu einem  $\gamma$ -Strahlenfeld von etwa 100 R/h.

Die abgeschiedenen Aerosole enthielten überwiegend Cäsium. Die Teilchengröße ist nicht bekannt, es kann jedoch aufgrund des Bildungsmechanismus angenommen werden, daß sie sehr klein waren. Der Dekontaminationsfaktor lag zwischen 100 und 10 000. Das Abgas enthielt außer den Cäsiumaerosolen auch Graphitstaub, der sich allerdings wesentlich schlechter abscheiden ließ. Dieser Effekt ist auf die hohe Leitfähigkeit des Graphits zurückzuführen und aus der konventionellen Elektrofildertechnik bekannt.

In späteren Versuchen wurde ein kleines Hochleistungsfilter (Abb. 2) eingesetzt. Die Einsatzspannung betrug etwa 12 kV, der Koronastrom ca. 0,05 mA. Die Gasgeschwindigkeit lag bei ca. 8 cm/s.

Die Abgasaktivität lag bei maximal etwa  $0,1 \text{ Ci/m}^3$ . Die Dekontaminationsfaktoren für Aerosole lagen bei 1000 und darüber.

Beide Filter arbeiteten also zur vollen Zufriedenheit. Da aber nie der Grenzstand erreicht wurde, läßt sich z. Zt. noch nicht die Gültigkeit der abgeschätzten Grenzwerte bestätigen.

Für die Reinigung des Verfestigungsabgases liegen außer orientierenden Vorversuchen keine Messungen vor. Die Vorversuche zeigten allerdings, daß zumindest die bei nicht radioaktiven Versuchen erzeugten Aerosole gut ab-scheidbar sind.

Bei der Verfestigung der hochradioaktiven Abfälle muß mit einer Abgasradioaktivität von ca.  $10 \text{ Ci/m}^3$  gerechnet werden, wenn man davon ausgehen kann, daß gröberer Staub bereits vorher abgeschieden worden ist. Außerdem ist mit einem Strahlenfeld von ca. 10 000 R/h aufgrund der hohen Aktivitäten in der Zelle zu rechnen. Diese Werte entsprechen der Erfahrung mit einer kleinen Verfestigungsanlage und wurden den Abschätzungen in Tab. I zugrunde gelegt.

#### SCHLUSSFOLGERUNG

Experimentelle Ergebnisse in kleinen Heißzellenanlagen haben gezeigt, daß Elektrofilter bei Abgasaktivitäten bis  $1 \text{ Ci/m}^3$  erfolgreich eingesetzt werden können. Eine Extrapolation aufgrund erster theoretischer Überlegungen zeigt, daß auch Abgasaktivitäten bis etwa  $10 \text{ Ci/m}^3$  bei gleichzeitiger Anwesenheit eines Strahlenfeldes von etwa 10 000 R/h toleriert werden können, wenn Elektrofilter mit kleinem Durchmesser und hohem Koronastrom eingesetzt werden.

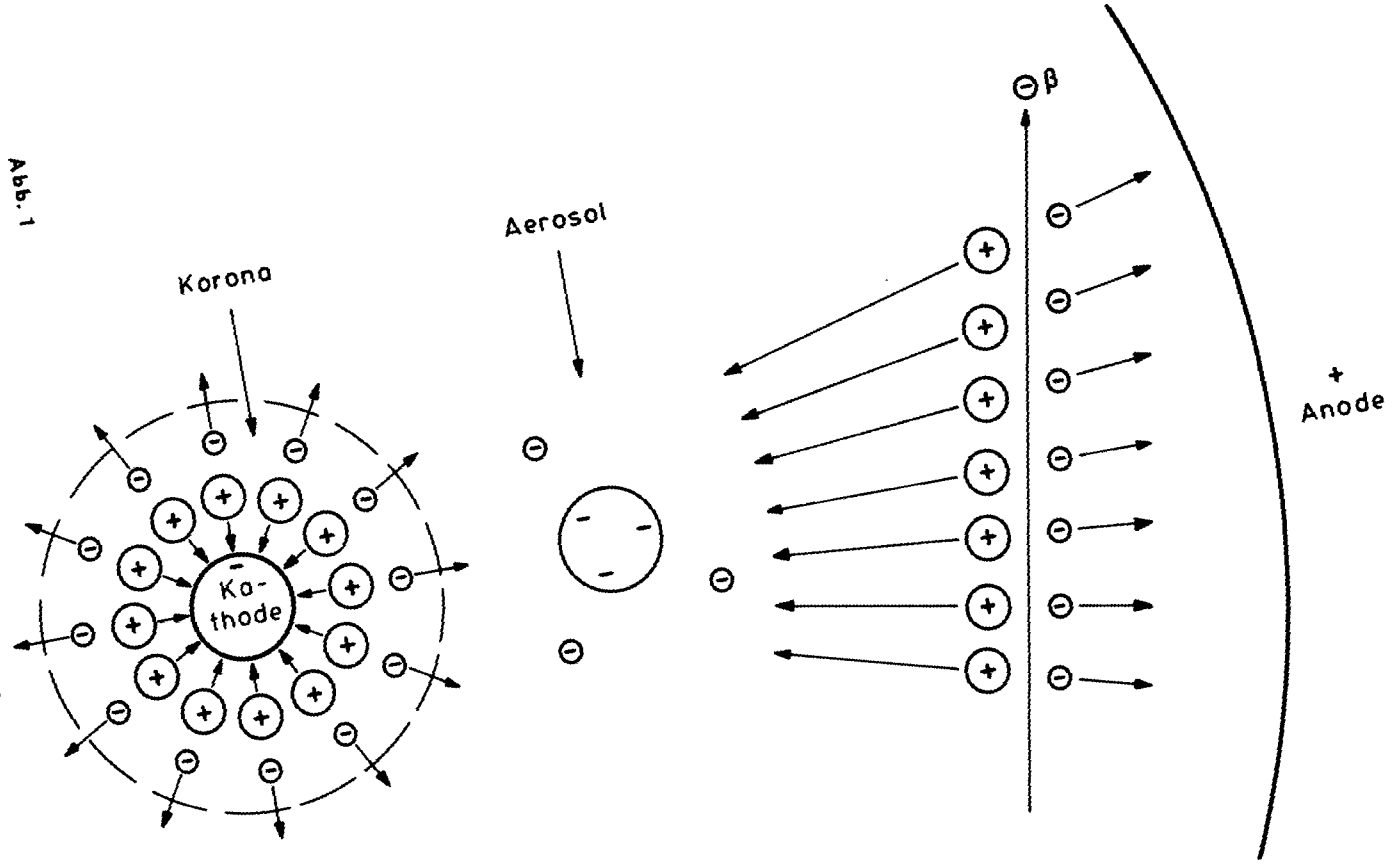
Es ist allerdings möglich, daß der Einsatz einer größeren Anzahl dieser Einheiten für hohe Gasdurchsätze neue Probleme bei der Installation und im Betrieb bringt.

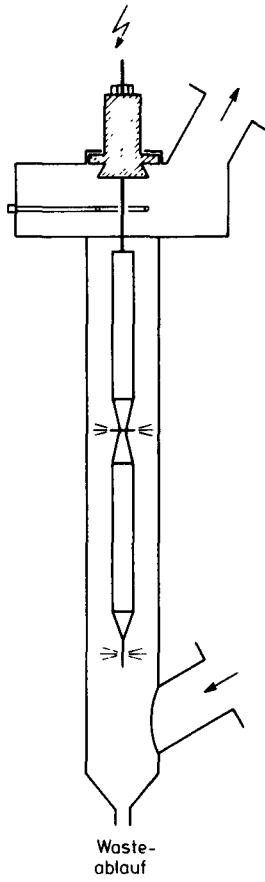


LITERATUR

- (1) H. Beaujean, P. Filss, U. Grahmann, M. Laser, E. Merz und U. Tillessen:  
Reinigung der Verbrennungsabgase bei der Wiederaufarbeitung von HTR-Brennelementen;  
Bericht JÜL-925-CT (1973)
  
- (2) M. Laser, H. Barnert-Wiemer, H. Beaujean, E. Merz and H. Vygen:  
AKUT - A process for the separation of aerosols, krypton and tritium from burner off-gas in HTR fuel reprocessing;  
13th USAEC Air Cleaning Conference, CONF-740807, p. 246, (1974)
  
- (3) St. Halaszovich, M. Laser, E. Merz and D. Thiele:  
FIPS - A process for the solidification of fission product solutions using a drum drier;  
International Symposium on the Management of Radioactive Wastes from the Nuclear Fuel Cycle  
IAEA-SM-207/19 (1976)
  
- (4) R.F. Heinrich and J.R. Anderson:  
Electroprecipitation;  
in Chemical Engineering Practice; Vol. 3, p. 484  
(Editor H.W. Cremer and T. Davies)

Abb. 1  
Koronaström und Ionenparbildung durch ionisierende  
Strahlung im Elektrofilter





Laborhochleistungselektrofilter

**Abb. 2**



AN EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE RETENTION  
OF SUBMICRON PARTICLES IN FIBROUS MATERIALS

J. I. T. Stenhouse, J. Formby and I. Sinclair  
University of Technology  
Loughborough - UNITED KINGDOM

SUMMARY. A method of determining the grade efficiency for the collection of submicron particles in fibrous materials is described. A polydispersed submicron salt aerosol is used and the Sartorius scintillation counter is employed as a detection system.

The results of tests on a fibrous mat are presented and are compared with theory. The influence of filter packing density particularly is described.

KURZFASSUNG. EXPERIMENTELLE ERMITTLUNG DER RUECKHALTUNG SUBMIKROSKOPISCHER TEILCHEN DURCH FASERSTOFFE.

Beschrieben wird ein Verfahren zur Ermittlung des Abscheidewirkungsgrads bei submikroskopischen Teilchen in Faserstoffen. Es wird ein polydisperses submikroskopisches Salz-Aerosol und als Nachweisgerät ein Sartorius-Szintillationszähler verwendet.

Die Ergebnisse der Versuche mit Fasermatten werden vorgelegt und mit den theoretischen Werten verglichen. Insbesondere wird der Einfluss der Filterpackungsdichte beschrieben.

RESUME. DETERMINATION EXPERIMENTALE DE L'ADSORPTION DES PARTICULES SUBMICRONIQUES DANS LES MATIERES FIBREUSES

Une méthode de détermination du niveau d'efficacité de la rétention de particules submicroniques par des matières fibreuses est décrite. On utilise un aérosol salin submicronique polydispersé; la détection est faite à l'aide d'un compteur à scintillations Sartorius.

Les résultats de tests effectués sur un tapis fibreux sont présentés et confrontés à la théorie. En particulier, l'influence de la densité des couches des filtres est décrite.

## Introduction

The behaviour of fibrous filters in the minimum efficiency regime has been the subject of a number of experimental and theoretical studies as is shown in two recent reviews (1,2) on the subject. This regime is obviously one which is difficult to study experimentally mainly because of the small aerosol particle sizes involved. It is desirable when testing, particularly for research and development purposes, to obtain the grade efficiency curve of the filter rather than an overall collection efficiency of some prescribed test aerosol. A convenient method of achieving this is to measure the size distribution as well as the concentration of a polydispersed aerosol before and after the filter. The alternative is to use a range of sizes of monodispersed test aerosols (11). This method raises accompanying difficulties in the generation of suitable aerosols and in the time required to carry out the tests. As well as determining the size and quantity of the aerosol during a test an assessment of the selectivity of a filter to different species of aerosol is desirable. This is of special relevance in the nuclear industry where a determination of particles containing sodium or uranium for example would be advantageous.

This paper describes the preliminary results of an experimental programme to measure the efficiency of filters in the minimum efficiency regime. A polydispersed aerosol was used and the concentration and size analyses were determined before and after the filter using a scintillation particle counter. In this case salt particles were used as the aerosol but the method could be employed for the detection and analysis of other materials. The results are compared with theory.

## Experimental

A polydispersed sodium chloride aerosol was generated using a Wright nebuliser. The number average particle size was  $0.14 \mu\text{m}$  and the relative humidity was controlled at  $24 \pm 2\%$ . The filter tested was comprised of  $4 \mu\text{m}$  dia. steel fibres and it was fitted into a 38 mm dia. holder in which its packing density could be altered. Analysis of aerosol samples taken before and after filtration allowed calculation of its collection efficiency.

The aerosol analysis was carried out using a Sartorius scintillation counter (3). The principle of operation of this instrument is that the particles are passed individually into a hydrogen flame where they are heated to their excitation temperature and emit a pulse of light of a wave-

length characteristic of their chemical composition. The pulses are detected by a photomultiplier and recorded using a pulse height analyser. Use of a monochromator gives the instrument chemical selectivity so that it can be employed to carry out a quantitative elemental analysis. In the present case sodium was detected. The pulse height is proportional to particle mass and the signal to noise ratio is such that salt particles down to 0.03  $\mu\text{m}$  are detected.

A coincidence error is caused if more than one particle is in the flame at any time. This limits the total count rate to about 3000 per minute, a level which was confirmed in our laboratories during assessment trials (4). Despite an excellent dilution system in the instrument this often introduces the limitation that either a very dilute aerosol must be used in testing or a further external dilution system must be introduced. In the present case a very low concentration was employed.

A second and lower limitation is placed on the number of particles of any size counted by the statistics of random sampling. Theoretically the sampling error on the number of particles counted in any channel is the square root of that number. A compromise must, therefore, be made which satisfies both criteria. In these experiments the count was carried out over a period of 5 minutes and the upper and lower particle sizes were restricted by statistical considerations because of the low counts obtained at the tail ends of the distribution.

## Results

The filter was tested over a range of face velocities and packing densities. The results are shown in Figures 1-3. In Figures 1 and 2 the single fibre efficiencies are compared with theory. These were obtained by recourse to the Wong and Johnstone (5) equation with the correction for pressure drop as proposed by Kirsch and Fuchs (6) included:-

$$E = 1 - \exp \left\{ \frac{-4 \eta_s^\alpha L}{\pi (1 - \alpha) \epsilon d_f} \right\} \quad (1)$$

The correction factor  $\epsilon$  is the ratio of the theoretical to experimental pressure drop and is a measure of the non-uniformity of the filter mat. This is theoretically valid in situations where the single fibre efficiency does not vary greatly with gas velocity as is the case in the minimum efficiency regime.

### Discussion

The theoretical values for the single fibre efficiency were calculated using the 'fan' model developed by Stechkina et al (7). In this the single fibre efficiency is taken as the sum of contributions due to the mechanisms of diffusion, interception and inertia together with a term which takes account of a combination of diffusion and interception:-

$$\eta_s = \eta_D + \eta_R + \eta_{st} + \eta_{DR} \quad (2)$$

Each of these terms was computed using the Kuwabara (8) flow field as a model for gas flow through the filter. The model is that of a cylinder surrounded by a concentric annulus of fluid. The cylinder is allowed to move across the cell with a velocity equal to the interstitial velocity of the gas in the filter. Kuwabara solved the creeping motion equation using the boundary conditions of zero vorticity at the outside cell surface and the no slip condition at the cylinder surface. When the main flow velocity is superimposed the velocity field thus produced is applicable to the flow through a bank of parallel cylinders. A reduction in thickness of the fluid envelope is used to simulate an increase in filter packing density. The slip flow boundary condition was later applied to this model (9) to take into account the effect of finite fibre Knudsen numbers.

Expression 2 is valid only for low values of  $\eta_{st}$ , i.e. at low Stokes numbers. Some corrections to the model were made by Yeh and Liu (10). Figures 1 and 2 show some general agreement between the theoretical and experimental results, both in the values for single fibre efficiency and in the influence of velocity. There is as predicted an increase in inertial interception and a reduction in diffusional collection as the velocity is increased. The minimum is not, however, as sharp as expected and the efficiency of collection due to diffusion is less than expected. One of the main reasons for this is probably lack of filter uniformity. In zones of low packing density the local gas velocity will be considerably in excess of the average which is used in the theoretical predictions. This will cause a reduction in the efficiency of diffusional collection. The uniformity correction in Equation 1 merely takes into account the increased volume of gas through low porosity sections of the filter, where it encounters less fibres, as an overall mass balance correction. Changes in the single fibre efficiencies due to local variations in velocity are not allowed for.



In Figure 3 the overall collection efficiencies based on total number counts are shown. The influence of face velocity clearly shows that the predominant mechanism is diffusional collection. The agreement between results of tests conducted with filters over a range of packing densities (0.007-0.107) shows clearly that this parameter has no significant influence on efficiency in this regime. The measured filter pressure drop however substantially increased with  $\alpha$  in agreement with theory. The results on the influence of packing density on collection efficiency are in agreement with the observations reported by Fuchs (1).

As a general test method this was found easy to operate but care had to be taken to maintain particle counts within low coincidence levels. Use of a more widely sized aerosol containing more particles up to 2-3  $\mu\text{m}$  would have been desirable.

#### Conclusions

- i) The experimental single fibre efficiencies are in general agreement with predictions made using the fan model.
- ii) The experimental results for particles in the diffusion regime are less than predicted. It is suggested that this is due to real filter non uniformity.
- iii) The collection efficiency in the diffusion controlled regime is independent of filter packing density.
- iv) The scintillation particle counter has been used to test a filter. It provides a method which offers discrimination between particle sizes and chemical composition. Care is required, however, in maintaining particle count levels of the right order.

#### Nomenclature

E	Overall filtration efficiency
L	Filter depth
$U_o$	Filter interstitial velocity
$d_f$	Fibre size
$d_p$	Particle size
$\alpha$	Packing density
$\eta_s$	Single fibre efficiency

$\eta_D$ , R, St, DR      Single fibre efficiencies due to diffusional collection, interception, inertia, and an added term due to combined operation of diffusional collection and interception.

### References

1. Davies C.N., 'Air Filtration' Academic Press (1973)
2. Dorman R.G., 'Dust Control and Air Cleaning' Pergamon (1974)
3. Binek B., Staub-Reinhalt.Luft, 30 (11), 31, (1970)
4. Scarlett B., Treasure C.R.G., Buxton R.E., Pap. Soc. Anal. Chem. Meet., Loughborough 25 Sept. 1976
5. Wong J.B., Johnstone H.F., Univ. Illinois Eng. Exp. Stn. Tech. Rep. 11 (1953)
6. Kirsh A.A., Fuchs N.A., Colloid J. USSR, 30, 630, (1968)
7. Stechkina I.B., Kirsh A.A., Fuchs N.A., Colloid J. USSR, 31, 97, (1969)
8. Kuwabara S., J. Phys. Soc. Jpn., 14, 527, (1959)
9. Pich J., J. Colloid Interface Sci., 37 (4), 912, (1971)
10. Yeh H.C., Liu B.Y.A., J. Aerosol Sci. 5, 191 and 205 (1974)
11. Stenhouse J.I.T., Harrop J.A. Freshwater D.C., J. Aerosol Sci. 1, 41, (1970)

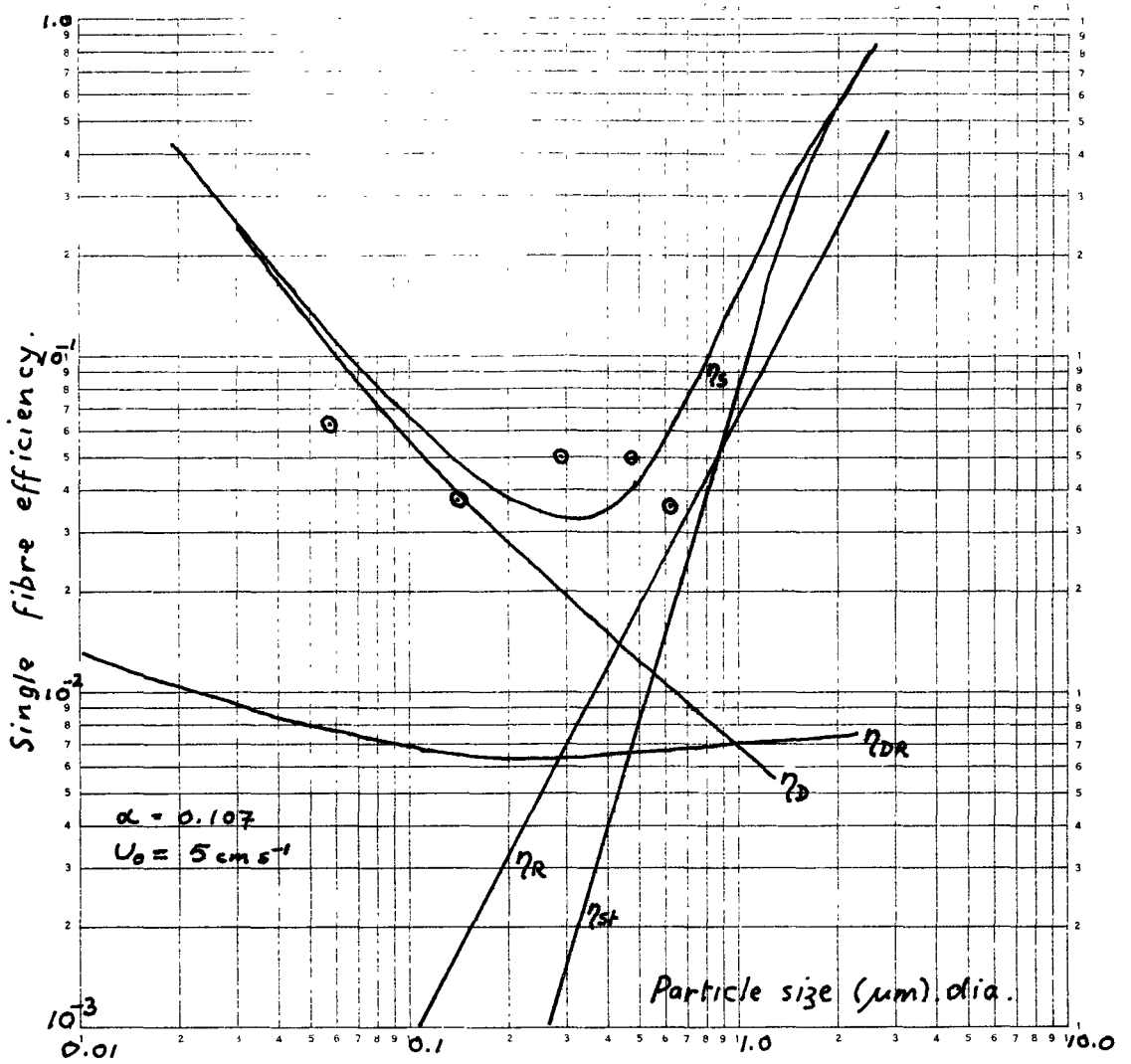


Fig 1

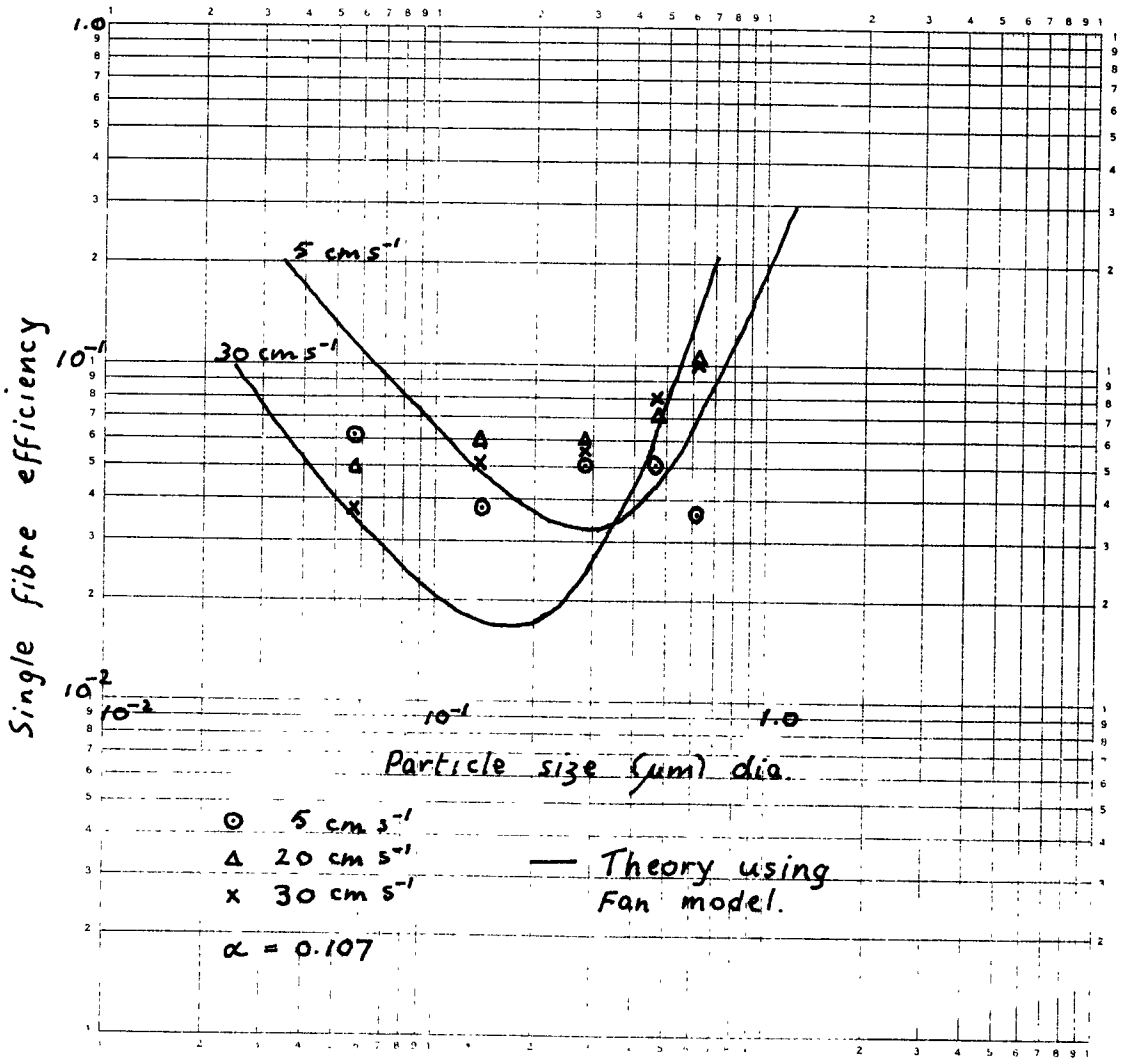
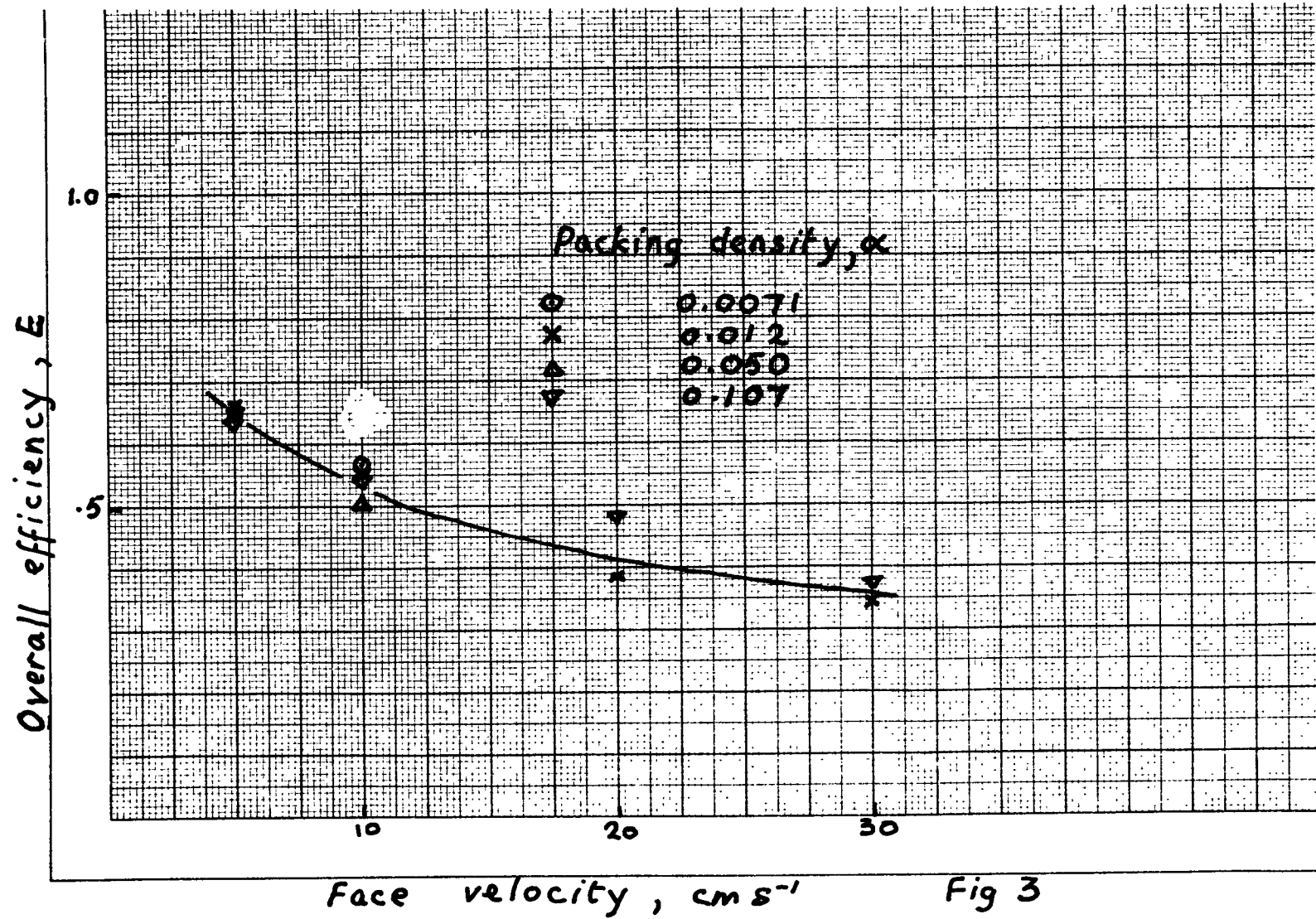
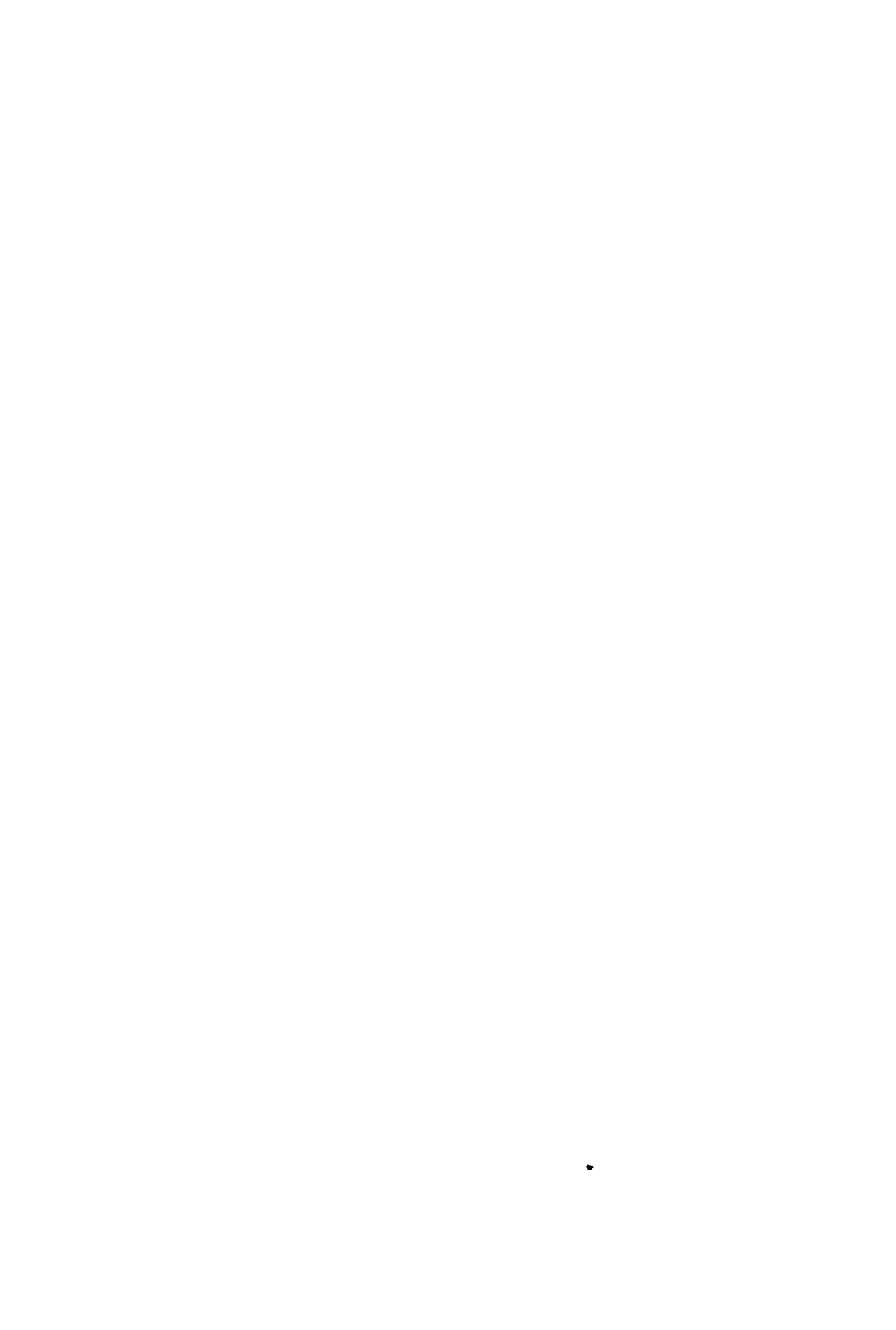


Fig 2





AUTOMATISIERTE FILTERPRUEFUNG  
MIT EINEM PARTIKELZAEHLER

P. Haller, B. Bumbovic, W. Ruchti und R. Steiner  
Gruppe für Rüstungsdienste  
Wimmis - SCHWEIZ

**KURZFASSUNG.** Zur Bestimmung der Abscheideleistung hochwirksamer Schwebstofffilter, resp. Filtermedien, wurde ein Messplatz aufgebaut der gestattet, mit hoher Auflösung Partikelgrößen mit Durchmessern von 0,3 - 5  $\mu\text{m}$  zu messen. Hauptkomponenten des Messplatzes bilden ein Streulichtfotometer als Partikelzähler sowie ein Vielkanalanalysator zur Auswertung der Partikelgrößenverteilungen. Mit Hilfe eines Rechners kann die gemessene Partikelgrößenverteilung in eine Gewichtsverteilung umgewandelt werden. Damit ist es möglich, für beliebige Partikelgrößen innerhalb des Messbereichs Fraktionsabscheidegrade wahlweise in bezug auf Partikelzahl oder gravimetrisch zu bestimmen. Aufgrund der Erfahrungen mit diesem Messplatz wurde ein automatisierter Filterprüfstand für Filter zwischen 2 - 1 200  $\text{m}^3/\text{h}$  Nennluftmenge entwickelt, der folgende Eigenschaften aufweist :

Automatischer Aufbau der Aerosolkonzentration sowie deren dauernde Ueberwachung, selbsttätige Messung der Partikelzahl nach dem Prüfling. Auswertung der Resultate durch den Vergleich der Partikelzahlen vor und nach dem Prüfling und daraus folgende Bestimmung des Abscheidegrades. Ueblicherweise werden Partikelzähler mit quasi-monodispersen Latex-Teilchen geeicht, gemessen werden aber Teilchen mit andern optischen Konstanten.

Zur Eliminierung des daraus entstehenden Messfehlers wurde ein Computer-Programm, basierend auf der Mie-Theorie entwickelt, das gestattet, die Spektren entsprechend zu korrigieren.

**SUMMARY.** AUTOMATIZED FILTER TESTING WITH A PARTICLE-COUNTER. For the determination of the separatory efficiency of high efficiency aerosol filters and filter media respectively an apparatus was built for the high-resolution determination of particle sizes of 0.3 - 5  $\mu\text{m}$ . The main components of the apparatus are a scattered-light photometer as particle-counter and a multichannel analyser for the evaluation of the size distribution. The measured particle size distribution can be transformed to a weight distribution by computer. Thus the separation into fractions by particle numbers or weight within the measuring range can be achieved. Based on experience with this unit an automated filter test rig was developed for filters with a nominal flow of 2 - 1 200  $\text{m}^3/\text{h}$ . It has the following characteristics :

Automatic generation and continuous monitoring of aerosol concentration with automatic particle counting downstream of the filter under test; evaluation of the results by comparison of the particle numbers before and after the filter allows determination of the efficiency. Particle-counters are usually calibrated with quasi-monodisperse latex particles but are thereafter used for the measurement of particles with other optical constants.

For the elimination of the error thus created a computer program derived from the Mie theory was developed which permits an appropriate correction for the spectra.

**RESUME.** CONTROLE AUTOMATIQUE DES FILTRES A L'AIDE D'UN COMPTEUR DE PARTICULES. En vue de déterminer le rendement des filtres d'aérosols et des milieux de filtrage à haute efficacité, il a été construit une installation de mesure permettant de définir avec une limite de résolution élevée des particules de diamètre entre 0,3 et 5  $\mu\text{m}$ . Cette installation de mesure se compose essentiellement d'un photomètre à lu-

mière diffuse qui sert de compteur de particules, et d'un analyseur à multicanaux destiné à l'évaluation des distributions granulométriques des particules. A l'aide d'un ordinateur, la distribution des dimensions mesurées peut être transformée en distribution pondérée. Il est ainsi possible de déterminer le rendement fractionnaire soit en nombre de particules, soit par gravimétrie pour toutes les dimensions comprises dans le champ de mesure. Grâce à l'expérience acquise avec cette installation de mesure, un banc d'essai automatisé a été mis au point pour les filtres à débit nominal de 2 à 1 200 m<sup>3</sup>/h. Ses caractéristiques sont : production automatique et surveillance permanente de la concentration de l'aérosol, comptage automatique des particules en aval du filtre testé. Exploitation des résultats par comparaison des nombres de particules avant et après le filtre permettant la détermination du rendement. Habituellement, les compteurs de particules sont étalonnés à l'aide de particules de Latex quasi monodispersées, mais ils servent ensuite à mesurer des particules présentant d'autres constantes optiques. Afin d'éliminer l'erreur de mesure qui en résulte, on a établi un programme d'ordinateur basé sur la théorie de Mie qui permet de corriger les spectres en conséquence.



Nachstehend soll eine Apparatur zur Prüfung von Schwebstofffiltern hoher Abscheideleistung beschrieben werden, bei der der Aufbau der Aerosolkonzentration, deren Ueberwachung sowie die Messung des Abscheidegrades automatisch kontrolliert und gesteuert werden.

Eine Filterprüfanlage, wie sie vom Schweizerischen Bundesamt für Zivilschutz zur Abnahme des Schwebstofffilterteils von Schutzmasken- resp. Grossraumfiltern benötigt wird, hat folgenden Anforderungen zu genügen:

- Es müssen Filter mit Nennluftmengen von 2 - 1200 m<sup>3</sup>/h geprüft werden können.
- Für eine Teilchengrößenverteilung mit Durchmessern zwischen 0,3 und 5 μm soll noch eine Durchlässigkeit im Bereich 0,001 %, bezogen auf das Gewichtsverhältnis nach dem Filter / vor dem Filter, gemessen werden können.
- Das Primäraerosol muss bezüglich Konzentration und Korngrößenverteilung während der Filterprüfung unter dauernder Kontrolle stehen.
- Die Aerosolkonzentration soll möglichst klein gewählt werden, um eine Ueberbelastung des Filters bei Mehrfachmessungen zu vermeiden.

Bei der Evaluation einer Messmethode, die diese Anforderungen erfüllt, erwies sich die Streulichtfotometrie mit Partikelzählern als die geeignetste. Sie führt auch bei extrem kleinen Partikelkonzentrationen, wie sie nach einem HEPA-Filter auftreten, schnell zu reproduzierbaren Resultaten.

Als Vorbereitung zur Konstruktion der eigentlichen Prüfanlage wurde im Labor eine Messkette aufgebaut, die gestattet, verschiedene Parameter wie Aerosolkonzentration, Korngrößenverteilung, Luftgeschwindigkeit im Filtermedium usw. in weiten Bereichen zu variieren und zu messen. Aufgrund dieser Messungen wurde eine Aerosolkonzentration von 2,75 mg/m<sup>3</sup> für eine Verteilung zwischen 0,3 und ca. 4 μm gewählt.

Diese Konzentration reicht aus, um den Abscheidegrad auch von hochwertigen Filtermaterialien zu differenzieren und ist zudem mit einem Partikelzähler erfassbar.

Als Prüfaerosol verwenden wir einen Paraffinölnebel. Das in Bild 1 gezeigte Teilchengrössenspektrum dieses Aerosols ist geeignet, einen Abscheidegrad in Funktion der Teilchengröße zu messen. Dies im Gegensatz zu einem monodispersen Aerosol.

Für verschiedene Anwendungen ist aber nicht nur die Partikelkonzentration nach dem Filter von Bedeutung, sondern ebensosehr die Gewichtskonzentration.

Dank der hohen erreichbaren Auflösung - ca.  $0,005 \mu\text{m}$  - kann jedem Partikeldurchmesser ein entsprechendes Gewicht zugeordnet und damit die Gewichtsverteilung berechnet werden, was eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit ergibt. Durch Aufsummierung der Gewichte gemäss der gemessenen Teilchenzahl kann nämlich überprüft werden, ob das Sollgewicht, das vom Gerät verarbeitet werden muss, erreicht wurde oder ob z. B. durch Verluste in Zuleitungen eine zu kleine Partikelzahl gemessen wird.

Dabei gilt es zu berücksichtigen, dass eine Korrektur bezüglich der optischen Konstanten der Teilchen zu erfolgen hat. Ueblicherweise werden Partikelzähler, die nach dem Streulichtprinzip arbeiten, mit quasi-monodispersen Latex-Aerosolen geeicht. Das Paraffinaerosol besitzt einen andern Brechungsindex gegenüber demjenigen von Latex und damit ändert die Intensität des gestreuten Lichts bei Partikeln gleichen Durchmessers. Die Korrektur des resultierenden Fehlers erfolgt mithilfe eines Computerprogrammes, das, basierend auf der Mie-Theorie, aus dem gemessenen Durchmesser den wahren Durchmesser berechnet.

Die eigentliche Filterprüfanlage für Routinemessungen ist in Bild 2 dargestellt:

Die Hauptkomponenten bilden:

1. Die Messstrecke, in der mit einem Ventilator konstant  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$  filtrierte Luft gefördert wird. Die Ueberwachung der Fördermenge erfolgt durch eine Messblende.
2. Der Aerosolgenerator besteht aus einer Druckluftzerstäuberdüse und einer Dauerinfusionspumpe, die für eine konstante Zuführung des Paraffinöls sorgt.
3. Die Ueberwachung des Prüfaerosols geschieht durch ein integrales Streulichtfotometer und hat zwei Aufgaben:

Einerseits wird die Gewichtskonzentration kontrolliert, um zu verhindern, dass Fehlmessungen erfolgen. Dies wäre zum Beispiel möglich, wenn das Prüfaerosol bei einem Durchbruch des Filters am Eingang der Messstrecke durch den Staub der Raumluft angereichert würde. Andererseits kann wohl die Gewichtskonzentration des Prüfaerosols konstant bleiben, aber durch äussere Einflüsse eine Veränderung der Partikelgrössenverteilung eintreten. Dies hat eine veränderte Streulichtausbeute zur Folge, was vom Ueberwachungssystem ebenfalls gemeldet und angezeigt wird.

4. Die Sonden, in denen eine der Nennluftmenge des Prüflings entsprechende Teilluftmenge weitgehend isokinetisch abgesaugt wird, sind je nach Filtertyp auswechselbar.
5. Der Partikelzähler klassiert die vom Prüfling nicht abgeschiedenen Teilchen in 2 Messbereichen, nämlich Teilchen mit einem Durchmesser von 0,3 bis 0,55  $\mu\text{m}$  und Teilchen mit einem Durchmesser grösser als 0,55  $\mu\text{m}$ . Diese Einteilung hat folgenden Grund:

Unser Partikelzähler arbeitet im Streuwinkelbereich  $11 - 30^\circ$ . Dies hat im Bereich 0,6 - 1,2  $\mu\text{m}$  Doppeldeutigkeiten in der Zuordnung Streulichtintensität-Partikelgrösse zur Folge. Zusätzlich gilt für Filter höchster Abscheideleistung, und nur diese sind für den Zivilschutz von Bedeutung, dass die Zahl der durchtretenden Partikel  $> 0,5 \mu\text{m}$  vernachlässigbar klein ist. Deshalb genügt für Abnahmekontrollen der Bereich 0,3 - 0,55  $\mu\text{m}$  zur Beurteilung des Abscheidegrades. Das Verhältnis der Partikelzahl im eben erwähnten Bereich zu der Partikelzahl im Bereich  $> 0,55 \mu\text{m}$  zeigt, ob es sich bei einem qualitativ nicht genügenden Filter, um ein Leck oder um generell schlechteres Filterpapier handelt und dient damit der Fehlersuche. Dies gilt natürlich nur, wenn - wie in unserem Fall - die Körngrößenverteilung des Primäraerosols bekannt ist.

6. Der Hauptteil besteht in der Steuereinheit, deren Funktion näher erläutert werden soll.

Wie jedes andere elektro-optische Gerät müssen Partikelzähler und Ueberwachung kalibriert werden. Ebenso muss die Gewähr vorhanden sein, dass nicht Partikel gezählt werden, die durch Undichtigkeiten in das Messsystem gelangen oder von Verunreinigungen des Prüflings stammen. Dazu dient die Funktion Nullpegel, die gestattet, den Filter mit Reinluft durchströmen zu lassen. Dabei muss verlangt werden, dass keine Teilchen gezählt werden, sonst wird bei der anschliessenden Messung ein schlechter Abscheidegrad vorgetäuscht.

Die Filterprüfung als solche wird ausgelöst durch die Taste "Messen automatisch".

Dies bewirkt das Öffnen des Pressluftventils an der Zerstäuberdüse. Zugleich wird die Paraffinpumpe eingeschaltet und dadurch die gewünschte Aerosolkonzentration aufgebaut. Ist die Stabilität der Konzentration erreicht, was zusätzlich an den Kontrolllampen + 0 - sichtbar ist, öffnet sich das Einlassventil des Partikelzählers und während einer Minute werden die nicht abgeschiedenen Partikel gezählt und in den beiden Messbe-

reichen klassiert. Nach dieser Minute schaltet die gesamte Anlage wieder automatisch ab.

Sollte sich während der Messung die Konzentration ändern, z. B. durch ein plötzlich auftretendes Leck des Filters am Eintritt der Messstrecke, wird das durch die Kontrolllampe "Messung ungültig" angezeigt. Dies gilt auch für Defekte in der Elektronik, die eine Fehlmessung verursachen könnten. Mithilfe einer Tabelle kann nun aus der gemessenen Partikelzahl der Abscheidegrad des Prüflings gravimetrisch oder in bezug auf Partikelzahl bestimmt werden.

Die hier beschriebene Anlage steht nun seit ca. einem Jahr ohne Störungen im Betrieb. In dieser Zeitspanne wurden ca. 4000 Filter geprüft. Dabei konnte durch Kontrollmessungen festgestellt werden, dass die erzielten Resultate zuverlässig und reproduzierbar sind.

Bekanntlich liegt für die konventionelle und kommerzielle Streulicht-Partikelzähler die untere Messgrenze bei  $0,3\ \mu\text{m}$ .  $0,3\ \mu\text{m}$  bedeutet aber zugleich das Durchlässigkeitsmaximum für hochwertige Filtermedien. Wir haben deshalb einen Laser-Streulicht-Partikelzähler entwickelt, mit dem Teilchen bis  $0,1\ \mu\text{m}$  gemessen werden können. Das im Winkel von  $90^\circ$  gestreute Licht wird von einem SEV detektiert. Die resultierenden Impulse werden von einer eigens dafür konzipierten Elektronik so umgeformt, dass sie in einem 800-Kanal-Analysator verarbeitet werden können.

Damit ist die Aufnahme von Partikelspektren zwischen  $0,1 - 2\ \mu\text{m}$  möglich.

Es ist vorgesehen, diese Apparatur mit dem gegen kleinere Partikel erweiterten Messbereich ebenfalls für Abnahmekontrollen einzusetzen.

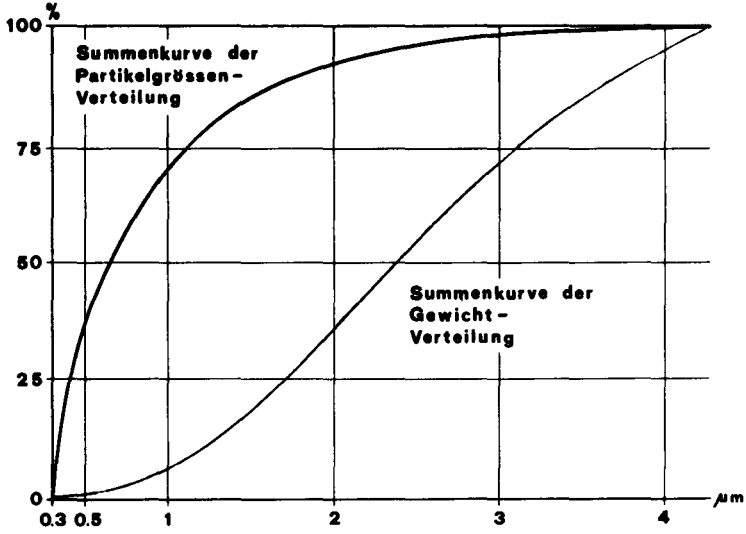


Bild 1

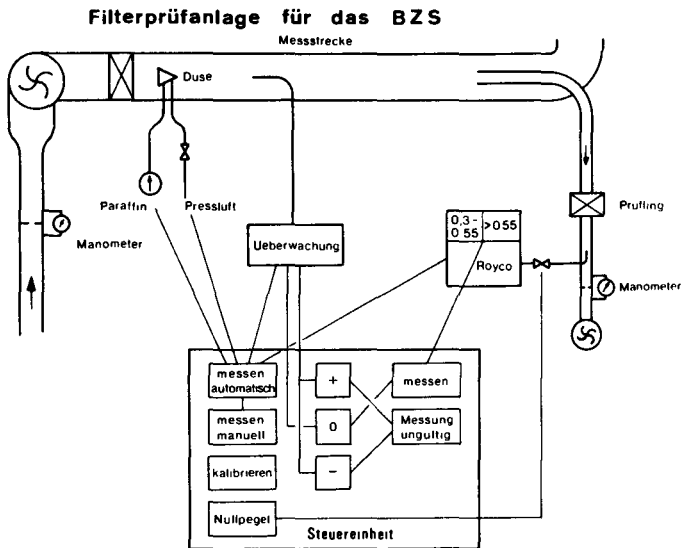


Bild 2



AUTOMATIC PARTICLE COUNTER FOR TESTING  
FILTER PENETRATION BY LOW CONCENTRATION DOP AEROSOLS

U. Jessen, D. Haslop and A. Lieberman  
Royco Instruments, Inc.

California - U. S. A. / Brighton - UNITED KINGDOM

SUMMARY. The use of DOP aerosol for filter testing is discussed briefly. Problem areas are described, based on concentration requirements for photometric analysis and quantity requirements for large filter bank testing.

Some comments are made on the nature of DOP as a challenge material. The use of low concentration "cold DOP" aerosol in conjunction with an automatic particle counter used both for filter penetration testing and for leak checking is discussed. Data comparing filter penetration by DOP aerosol and by atmospheric particles is discussed.

KURZFASSUNG. AUTOMATISCHER PARTIKELZÄHLER ZUR PRÜFUNG VON FILTERN MITTELS DOP-AEROSOLEN SCHWACHER KONZENTRATION. Die Verwendung von DOP-Aerosolen zur Filterprüfung wird kurz behandelt. Probleme, die sich aus dem Konzentrationsbedarf wegen der fotometrischen Analysen und bezüglich des Mengeneinsatzes bei Prüfung grosser Filterbatterien ergeben, werden abgehandelt. Die Eignung von DOP als Prüfsubstanz wird erörtert. Die Verwendung geringer Konzentrationen von "kaltem DOP-Aerosol" in Verbindung mit einem zur Prüfung der Filterdurchlässigkeit und Kontrolle von Leckagen benutzten automatischen Partikelzähler wird behandelt. Vergleichsdaten für die Filterdurchlässigkeit im Falle von DOP-Aerosolen und im Falle von atmosphärischen Partikeln werden diskutiert.

RESUME. COMPTEUR AUTOMATIQUE DE PARTICULES POUR L'EVALUATION DE LA PENETRATION DES FILTRES PAR DE FAIBLES CONCENTRATIONS D'AEROSOLS DE DOP. L'emploi d'aérosols DOP pour l'essai des filtres est étudié brièvement. Les problèmes sont décrits en se basant sur les niveaux de concentration requis pour l'analyse photométrique et les quantités requises pour l'essai de batteries de filtres de grandes dimensions.

L'aptitude du DOP à servir de matériau de référence fait l'objet de quelques commentaires. L'emploi d'une faible concentration d'aérosols de "DOP froid" en combinaison avec un compteur automatique de particules pour évaluer la capacité de pénétration de filtres et contrôler les fuites est étudié. On examine aussi les données comparant la pénétration de filtres par l'aérosol de DOP et par des particules atmosphériques.

## Section 1 - Introduction

High efficiency particulate air (HEPA) filters have been used for a variety of applications. Exhaust air vented from nuclear industry operations is cleaned for protection of the environment by these HEPA filters. Radioactive particulate material is retained on these filters so that the hazard from exhaust air is minimized. Similar filters are used in clean rooms and laminar flow benches so that sensitive devices and operations are not contaminated by particulate debris normally found in the ambient atmosphere. In both cases, the integrity of the installation is maintained by assuring that penetration of particulate matter is low, through either the filter medium or the interstices between filters and filter retainers.

A number of test methods have been developed throughout the world for defining penetration through HEPA filters. In the United States, dioctyl-phthalate (DOP) droplets are used as challenge material and measured by light scattering.<sup>(1)</sup> Monodisperse droplets are used for medium testing and poly disperse droplets for in-place penetration determinations. In England, testing is often carried out with a challenge material consisting of sodium chloride particles with penetration determined by photometric analysis<sup>(2,3)</sup>

In some laboratories, condensation nuclei counts are used for defining penetration.<sup>(4)</sup> In France, some laboratories have used uranine droplets measured photometrically for penetration analysis.<sup>(5)</sup> In the past, the Danish Atomic Energy Commission has used hydrated lithium hydroxide particles measured with flame photometer as challenge materials.<sup>(6)</sup> Some tests have been carried out in the United States with viral and bacterial aerosols used for challenging the HEPA filters.<sup>(7)</sup> T1 bacterial phage with number medium diameter of 0.12 microns and B subtilus aerosols with number medium diameter 1 micron have been used. Because of the skill required in handling these materials, the method has not gained widespread acceptance. Filter testing in Germany for HEPA filters has been done with challenge by oil fogs measured optically, radio tagged natural atmospheric aerosols, and by freshly ground quartz dust for less efficient filters.<sup>(8)</sup> Radiol tagged aerosols of silver, gold, selenium, platinum and rhenium oxides have also been used in Czechoslovakia.<sup>(9)</sup>

With this wide variety of HEPA filter testing procedures, nevertheless, a large number of filter penetration tests are carried out using DOP and a photometer for measurement. For the most part, penetration of new, high efficiency filters is determined in accordance with the American Military Standard 282 test.<sup>(10)</sup> This consists of placing the filter under test in a



duct and challenging with a monodisperse aerosol of DOP of 0.3 micrometre diameter. The DOP is produced by vaporization condensation mechanism and particle size is controlled by thermal means. The concentration of aerosol in samples removed from the duct before and after the filter is measured by photometric techniques. The upstream concentration is maintained at  $100 \pm 20$  micrograms of DOP per liter of air for high efficiency filtration. The downstream concentration is normally of the order of  $10^{-3}$  micrograms per liter.

For in-place test of a system containing a high efficiency filter, the procedure is modified by using an air-operated DOP generator that produces a poly disperse DOP aerosol with an average number diameter of the order of 0.5 micrometers with 90-95% of the particles under 1 micron in diameter. The aerosol concentrations and photometric measurement device sensitivity are the same as those specified for MIL-STD 282. This test is described as American National Standard, "Efficiency Testing of Air Cleaning Systems Containing Devices for Removal of Particles". No. ANSI N101.1-1972.<sup>(1)</sup> This procedure, or minor variations thereof, is widely used to define performance of the installed air cleaning systems. Although the method is very widely used, there are some drawbacks which will be described more fully in the remainder of this discussion.

## Section 2 - Problem Areas with "DOP" Testing

The first problem area is that of the concentration required for operation of the photometer. It must be realized that the photometer described in N101.1 and presently in use is based on a 1945 United States Naval Research Laboratory design.<sup>(11)</sup> The concentration required upstream of the filter is 80 micrograms per liter. For a filter with 99.99% efficiency, this is the concentration required to allow concentrations of the order of  $10^{-3}$  micrograms per liter downstream of the filter. For particles of 0.3 micron diameter, the upstream concentration is of the order of  $6 \times 10^6$  per cubic centimeter or  $1.6 \times 10^{11}$  particles per cubic foot. At  $10^{-3}$  micrograms per liter, the downstream concentration is approximately 80 per cubic centimeter or  $2.25 \times 10^6$  per cubic foot. For half-micron particles, the upstream concentration is  $1.4 \times 10^6$  per cubic centimeter or  $3.8 \times 10^{10}$  per cubic foot while the downstream concentration is 17 per cubic centimeter or approximately  $5 \times 10^5$  per cubic foot. At these concentrations, the amount of material required for a 1,000 cubic foot per minute filter system becomes of the order of 2.25 gram per minute. This is typically the output of a single six-jet air operated aerosol generator, as described in N101.1-1972. Larger filter systems then require multiple generators.

As the generators are constructed, some minor variability will occur from generator to generator in the atomizer and splash plate operation. Nevertheless, the rather loose specifications\* for particle size distribution still permit performance with adequate control. Thus, one generator will produce an aerosol with a mean size of 0.5 micrometer and geometric standard deviation of 1.40 while an almost identical one can produce aerosol with the same mean size but a geometric standard deviation of 1.45. This will vary the number concentration appreciably. Further, over a period of time, the generator output and particle size distribution will shift slightly as the level of liquid decreases within the allowable range above the submerged orifices.<sup>(12)</sup> Although a small change in particle size distribution will not be detected by a mass indicating photometer, the penetration through the filter media may vary markedly with particle size, especially in the sub-micron range.<sup>(13)</sup> Thus, as the size distribution from the generator varies, then filter penetration will also vary, but not detectable by a photometer.

For determination of penetrations less than 0.001%, the photometers now in use are simply inadequate. A minimum detection capability of  $10^{-3}$  microgram per liter of aerosol is still equivalent to almost half a million particles per cubic foot of 0.5 micrometer. Such concentrations are unacceptable in clean laminar flow operations and, indeed, exceed ambient air concentrations in some clean, rural environments.

There are also a number of hazards involved with operations with high concentrations of DOP smoke. The DOP can be burned if the concentration of droplets in the air becomes excessive. Then a combustible mixture can be formed. Informal questions have been raised by the United States Food and Drug Administration about the possibility of toxicity of various plasticizers. DOP is one possible example. If excessive time is required in the filter test procedure, e.g., to ensure stable photometer operation, then at the 80 microgram per liter upstream concentration, some possibility exists that part of the filter life may be degraded, due to premature loading with challenge material. It is pointed out that filters that will be used in areas where some electronic or optical components may be assembled cannot be preloaded with vaporizable DOP. The organic vapors, even in low concentration, may cause marginal operation of doped semiconductors. Finally, the odor from DOP is offensive to some observers. A filter that has been tested with DOP will continue to emit the odor for some period of time.

---

\*Light scattering size distribution: 99%<3 $\mu$ m, 95%<1.5 $\mu$ m, 92%<1 $\mu$ m, 50%<0.72 $\mu$ m, 25%<.45 $\mu$ m, 10%<0.35 $\mu$ m

### Section 3 - Procedure for Filter Testing with Low Concentration to the DOP

Basically, the in-place filter test should be able to differentiate between aerosol concentrations that vary by a factor of at least  $10^5$  in order to ensure that a filtered system has penetration of less than 0.001%. The present 80 microgram per liter challenge and the  $10^{-3}$  microgram per liter detectability limit will indeed assure this requirement. However, it is pointed out that optical particle detection systems developed since 1950 are capable of detecting particle concentrations at least 5 orders of magnitude lower than required for operation of the  $10^{-3}$  microgram per liter photometer. On this basis, the challenge aerosol can be reduced in concentration by at least 4 orders of magnitude and the material which penetrates the filter can still be detected in adequate concentrations to produce reasonable data. Further, use of single particle counters with high sensitivity will permit measurement of particle size distribution both upstream and downstream of the filter in order to describe penetration in the range of particle sizes that are of concern and that may vary from generator to generator.

In operation, it is suggested that a single submerged orifice generator be set up with the aerosol stream directed into the flow of gas that is to be passed through the filter. In this way, better mixing will occur than if the aerosol stream is produced and sent co-current with the gas stream to the filter. The aerosol concentration should be 8 to  $10 \times 10^{-3}$  micrograms per liter, producing an upstream concentration of  $1.8 \times 10^7$  particles per cubic foot and a downstream concentration of  $2.25 \times 10^2$  particles per cubic foot for .001% (penetration) filter. The filter capacity that can be handled by a single generator is increased from 1,000 cubic feet per minute to 10,000,000 cubic feet per minute. Of course, for such a large filter system, it would be necessary to divert the challenge aerosol stream over a larger area in order to produce adequate mixing, but this is a problem that could be handled by design of the ducting system.

Using a cold gas generator, the procedure would be to produce an  $8 \times 10^{-3}$  microgram per liter challenge aerosol, determine the number concentration and particle size distribution upstream and downstream, record these data, and compare the penetration as a function of 2 or 3 preselected critical particle sizes. As examples, size in the range 0.3 and greater, 0.5 and greater, and 2 microns and greater would be measured. In this way, the performance of the filter system could be described better than a simple mass penetration base would permit.

#### Section 4 - Comments and Conclusions

Using the low concentration DOP generator and single particle counter filter test procedure, it is possible to eliminate the effects of variability in particle size distributions from one generator to another and to indicate the filter performance much more adequately. Secondly, the amount of DOP and the test time requirements could be reduced appreciably. DOP utilization would be reduced by a factor of at least 1,000 from that required for the present test procedure. The test time and testing efforts would not be significantly affected; however, the quantity of data produced would be increased by a significant margin since the penetration on the basis of particle size rather than on total particle mass could be derived. In this way, the actual operation of the filter system could be defined on the basis of the challenge aerosol that is normally encountered by the filter system.<sup>(14)</sup> That is, the same particle counter used for testing the filter could be used to describe the ambient aerosol. Penetration of the particle sizes normally expected in ambient aerosol could be defined on the basis of the penetration as a function of size as described by the test procedure. Finally, by reducing the quantity of DOP generated and sprayed, the several hazards described above can also be significantly reduced.

- (1) American National Standard, "Efficiency Testing of Air Cleaning Systems Containing Devices for Removal of Particles", ANSI N101.1-1972, Feb. 16, 1972.
- (2) British Standard 3928 "Method of Test for Low-Penetration Air Filters", 1965.
- (3) Dyment, J. and J. Edwards, "The On-Site Testing of Air Filter Installations", *Filtr & Sep'n* 13#4, 379, (1976).
- (4) Davis, R. E. and J. J. Clifton, "A New Method for InSite Testing High Efficiency Air Filters using Condensation Nuclei as the Test Aerosol", *Filtr & Sep'n* 3#6, 473, (1966).
- (5) Pradel, J. and J. Brion, "Sensitive Method for Measuring the Effectiveness of HEPA Filters by Uranine Aerosols", Proc IAEA Symposium on Radioactive Wastes, New York, NY, Aug. 26, 1968.
- (6) Flyger, H. and H. C. Rosenbaum, "A Lithium Flame Photometer Test for Highly Efficient Filters", *J. Am. Ind. Hyg. Assn.*, 26#4, 409, (1965).
- (7) Harstad, J. B. and M. E. Filler, "Evaluation of Air Filters with Submicron Vital Aerosols and Bacterial Aerosols", *J. Am. Ind. Hyg. Assn.*, 30 #1, 280, (1969).
- (8) Hasenclever, D., "Type-Testing of High Efficiency Filters in Germany", *Filtr & Sep'n* 7 #6, 716, (1970).
- (9) Spurny, K. and J. Kubalek, "Equipment for Filter Efficiency Measurement by Means of Radioactively Labelled Aerosols", *Coll Czech Chem Commun*, 36, 2362, (1971).
- (10) U.S. Army MIL-STD-282, "Filter Units, Protective Clothing, Gas Mask Components and Related Products, Performance Test Methods, 28 May, 1956.
- (11) Knudson, H. W. and L. White, "Development of "Smoke Penetration Meters", USNRL Report P.2642, Sept. 14, 1945.
- (12) Dorman, R. G., "European and American Methods of Testing Air Conditioning Filters", *Filtr & Sep'n* 5 #1, 24, (1968).
- (13) Ramskill, E. A. and W. L. Anderson, "Initial Mechanism in the Mechanical Filtration of Aerosols", *J. Colloid Sci*, 6, 416, (1951).
- (14) Lieberman, A. and R. D. Scott, "Atmospheric Particle Penetration through High Efficiency Filters", *Powder Tech*, 8, 183, (1973).



HEPA-FILTER TESTING BY SINGLE OPTICAL  
INTRA-CAVITY LASER PARTICLE COUNTER

R. Kratel  
Kratel S. A.

Geneva - SWITZERLAND

**SUMMARY.** The application of an intra-cavity laser in a single optical particle counter gives to the system a very high sensitivity and readout data which are practically independent of material constants. The particle counter has a sizing capability between 0.06 micrometer and 3 micrometer equivalent diameter. A protection factor of  $10^9$  for HEPA-filters can be immediately determined in contrast to the normal range of about  $10^4$  using a photometer.

**KURZFASSUNG.** ERPROBUNG VON HOCHLEISTUNGSSCHWEBSTOFF-FILTERN MITTELS EINES NACH DEM HOCHLEISTUNGSLASERVERFAHREN ARBEITENDEN OPTISCHEN TEILCHENZAHLERS. Die Anwendung der Hohlraumlasertechnik bei einem optischen Teilchenzähler verleiht dem System eine sehr hohe Empfindlichkeit und gibt eine Datenanzeige, die von Werkstoffkonstanten praktisch unabhängig sind. Das Korngrößenklassiervermögen des Teilchenzählers liegt bei Äquivalent-Durchmessern von 0,06  $\mu\text{m}$  und 3  $\mu\text{m}$ . Gegenüber dem normalerweise mit einem Mess-Photometer erreichbaren Wert von etwa  $10^4$  kann hier ein Dekontaminationsfaktor von  $10^9$  bei Hochleistungsschwebstofffiltern direkt ermittelt werden.

**RESUME.** ESSAI DE FILTRES ABSOLUS AU MOYEN D'UN COMPTEUR DE PARTICULES A LASER OPTIQUE A CAVITE INTERNE. L'application d'un laser à cavité interne dans un compteur de particules optique simple confère au système une très grande sensibilité et permet d'obtenir des données pratiquement indépendantes des constantes des matériaux. Le compteur de particules peut classer des particules dont le diamètre est compris entre 0,06 et 3 micromètres. Il est ainsi possible de déterminer immédiatement un facteur de protection de  $10^9$  des filtres absolus alors que normalement il est de l'ordre de  $10^4$  pour un photomètre sensible.

When the optical particle counter was developed (ca. 1958), the Photometer had been in use for more than a half century.

When in the early fifties there was a need to determine a test method for high efficiency particulate air filters, the Photometer seemed to be the instrument of choice.

The majority of test methods for high efficiency particulate air filters uses for the determination of penetration a test aerosol and a photometer, using the ratio of the two scattering signals before and after passing the filter to determine the protection factor or the penetration. These signals are strictly valid only for monodisperse aerosols; size changes due to coagulation and/or evaporation should not occur. The signals are not uniquely related to either the concentration or size distribution of the scattered aerosol.

The different conventional methods in use are limited to measuring protection factors (PF) of  $10^4$ , maybe  $10^5$ , whereas for multiple HEPA-systems and individual double ply HEPA-filters protection factors (PF) of  $10^8$  to  $10^9$  have to be certified.

After introducing the optical particle counter on the european continent in the early sixties, I had many discussions with my american friends of the Atomic Energy Commission, Navy and the Space Research on the use of these instruments, on a possible replacement of the Photometer by the more sensitive optical particle counter.

More than 50 full automatic HEPA-filter test stations, each with an investment cost of more than U.S.\$ 50.000 have been in use, and the fact of this investment has been the simple answer.

Different industries, faced to the need of working with aerosols - in the form of contamination or as a product - overcame the barrier of interpretation of the complex MIE-calculations - and found a very useful instrument.



This instrument - now available as the third generation of optical particle counters - uses laser light and the achievements of the modern electronic research.

The use of laser for particle size determination via the forward scattering lobe is covered in european countries by a patent of the Gesellschaft für Kernforschung mbH at Karlsruhe, dated from 1968, (DBP 1802269).

The instruments I have seen there have been beautiful laboratory instruments - but we considered them as far from being able to be used as routine instruments or to be manufactured in an industrial way.

The development of specific laser systems - as well as the modern electronics of pulse handling, micro processing and minicomputers - opened the way for instrumentation of easy handling and high reliability.

We have used a single particle optical counting and sizing system - using the intracavity laser as a light source and a computerized electronic data acquisition unit consisting of a PDP 11/03 (Digital Equipment) with visual and hardcopy terminal. (Since 1974 we had computerized instrumentation for particle size distribution determination in liquids using the PDP 8 with full software on number, surface and volume distribution. Having this information there was a small step to develop the program for the PDP 11). This instrumentation allowed for the evaluation of PF in the range of  $10^8$  to  $10^9$ .

The high precision and high resolution of particle analysis superior to the performance of any other known optical particle counting system is obtained by:

1. the use of an intracavity laser illumination system within a high precision optical design;
2. the use of a voltage reference signal to the pulse height analyzer proportional to the illumination (mirror) on the particles;

3. the use of a miniature wind tunnel with optical definition of the viewing volume;
4. the use of a rejection system for all particles which are not located in the optically defined viewing volume by the help of a 50% beam splitter;
5. the use of a computerized data acquisition system of highest stability and quality.

The sensor of the counting and sizing system relies on the scattering of laser light at  $6328 \text{ \AA}$  within the optical cavity of a He-Ne laser. The optical diagram is shown in Figure 1. The plasma tube is sealed with a curved mirror and Brewster window. A plane mirror on the first lens of the optical system completes a hemispherical cavity laser operating in  $TEM_{00}$  mode. At the sample volume location the laser beam is approximately 500 micrometer diameter and produces a power density in excess of  $1000 \text{ W/cm}^2$ . It is the scattering of this intense field by a particle which is detected and measured. A size spectrum from  $0,07 \text{ }\mu\text{m}$  to  $3,0 \text{ }\mu\text{m}$  equivalent diameter may be measured (the size spectrum would be limited to  $0,15 - 3,0 \text{ }\mu\text{m}$  if the photomultipliers would be replaced by photodiodes).

Figure 2a presents theoretical calibration response curves calculated by Bob Knollenberg for the collecting geometry involving collecting angles of  $4-22^\circ$  for light real refractive indices; using a collecting geometry of  $4 - 90^\circ$  would increase the sensitivity to  $0,05 \text{ }\mu\text{m}$  equivalent diameter. The response curves of Figure 2b are valid for this system.

Figure 3 shows the interior of the probe, the output of which is joined directly with the minicomputer for further data acquisition.

The optical system collects the light scattered and reimages at 10 x magnification or greater within a dark field. A 50% beam splitter produces two image planes for two detectors. The reflected image prism face is masked with a 0,78 mm diameter vertical slit to block central transmission. The other detector prism face is unmasked. The beam splitter derives two signals which in conjunction with double pulse height analysis provide a means of determining if a particle's position is in the desired sample volume. Particles whose pulse amplitudes - as seen by the masked aperture detector - are greater than those seen by the signal aperture detector, are rejected by use of a gain ratio of masked aperture detector to signal aperture detector of 4 x for best noise immunity.

The data obtained are classified in four overlapping size ranges with 15 channels for each size range. The pulse height detector has a set of 16 voltage comparators and latches. The reference voltage to the comparators is provided by a reference photodetector module such providing an effective automatic gain control.

The computerized data acquisition system is providing one curve covering the full size range (4 size ranges with each 15 channels) - normalizing the raw data stored in the memory.

The spectral resolution power of the active scattering aerosol spectrometer is excellent. The readout for a latex hydrosol of 0,312  $\mu$ m diameter shows about 90% of all particles in one channel of the multichannel analyzer covering 16 channels between 0,25 and 0,65 micrometer. Mixtures of different latex hydrosols can be easily distinguished as the standard deviation shown by the instrument is somewhat greater than the standard deviation claimed by Dow Chemical for these products (established by the Electron Microscope).

Particle concentrations as high as  $10^6$ /liter showed coincidence errors less than 1%. Concentration ranges of  $10^5$  to  $10^6$ /cm<sup>3</sup> can be achieved by decreasing the sampling volume, i.e. by changing the magnification from 10 x to 20 x.

For the test of HEPA-filters we used aerosols of dioctyl-phtalate (DOP) and sodium chloride (NaCl). They were generated by a Collison generator. The solid aerosol (NaCl) was produced from a 5% solution of NaCl in water, the DOP aerosol from a 5% DOP in ethyl alcohol solution. The aerosol spectrum between 0,06 and 0,8 micron showed the same distribution for both compounds, about  $10^{10}$  particles per liter have been verified with the spectrometer. Figure 4 shows the test result for a HEPA-filter. The maximum penetration occurred for sizes between 0,18 and 0,23 micrometer. Similar results have been obtained by Schuster (LASL). Our results showed data closer together - due to the normalizing power of the minicomputer. Gonzales and Elder (JASL) found a size of maximum penetration (SMP) for PuO<sub>2</sub> (with 0,22 to 1,6  $\mu$ m amad - activity median aerodynamic diameter) in the range of 0,4 to 0,7  $\mu$ m aerodynamic diameter, larger than the SMP determined for unit density aerosols like DOP and NaCl. The larger SMP for 238 PuO<sub>2</sub> can be attributed to increased diffusion collection. Diffusion deposition varies inversely with geometric particle size (and velocity) and does not depend on particle density. Because a particle of given  $D_{ae}$  has a geometrical particle size (D) proportional to  $D_{ae}^{1/2}$  a high density particle would have a smaller D than a unit density particle with the same  $D_{ae}$ . Diffusion collection yields a SMP somewhat above that for unit density particles.

The use of a single particle laser aerosol spectrometer has proven to be remarkably successful in the characterisation of HEPA-filter performance against different aerosols. The total absence of detector background noise make it possible to detect and measure particle concentrations below the detection levels of other detectors.

Individual HEPA-filters provide a protection factor of  $10^3$  to  $10^4$ . Three HEPA-filters in series theoretically could provide a PF of approximately  $10^{10}$  to  $10^{11}$  if all filters performed equally well. However each stage of filtration modifies the challenge aerosol so that particle diameters at each successive filter stage approach a size of maximum penetration. The performance of such multi stage or the new multi layer HEPA filter can be easily tested by the laser intracavity aerosol spectrometer prescribed here and commercially available.

Reporting on the computerized system does not mean that I am recommending this system to everybody for HEPA-filter testing.

The computerized system has been developed in our laboratory primary for industrial hygiene programs.

Smaller spectrometer systems with a normal multi channel readout or compact units for HEPA-filter testing in the field are the instruments to be recommended. This generation of optical particle size spectrometers is now after two decades of development a precision instrument of high reliability - a new tool for determination of HEPA-filter performance.

Literature

Schleusener, S.A.: J. Air Poll. Contr. Ass. 19 p. 40 (1969)

Schuster, B.G., and Knollenberg : Detection and Sizing of Small Particles in an Open Cavity Gas Laser, Applied Optics. Vol. 11, p. 1515 (1972)

Schehl, R.S., Ergun and Headrick : Size Spectrometry of Aerosols using light scattering from the Cavity of a Gas Laser, Rev. Sci. Instrum. Vol. 44, N<sup>o</sup> 9, p.1193 (1973)

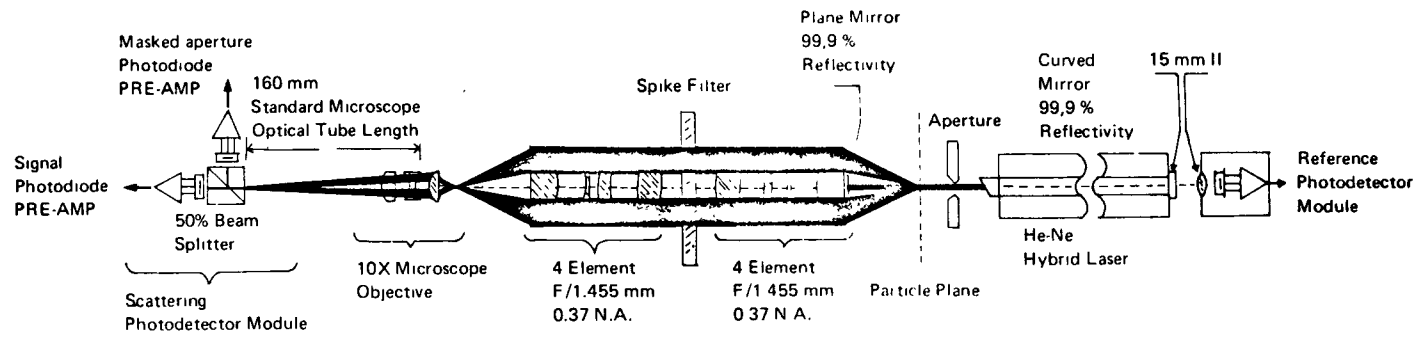
Gebhart J., Heyder J., Roth C., Stahlhofen W.,  
Optical Aerosol Size Spectrometry below and above the wavelength of light. Fine Particles, Academic Press 1976 p. 794

Schuster B.G. and Osetek OJ : the use of a single particle Intracavity Laser Particle Spectrometer for measurements of HEPA-filters and filter systems, 14 th ERDA Air Cleaning Conference (1976)

Gonzales M., Elder J.C., Tillery M.I., Performance of Multiple HEPA-filters against Plutonium Aerosols - LASL 1976

German Patent DBP / Kernforschung Karlsruhe / No. 1802269

Fuchs, Mechanics of Aerosols.



**Active scattering Aerosol Spectrometer Optical System**

Figure 1

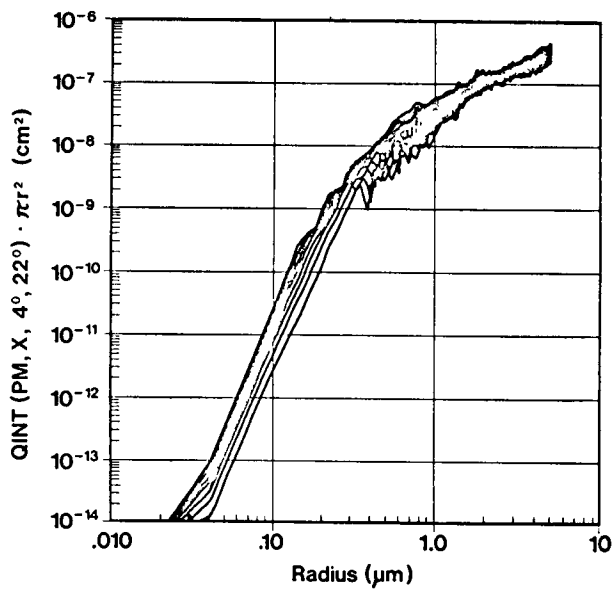


Figure 2a

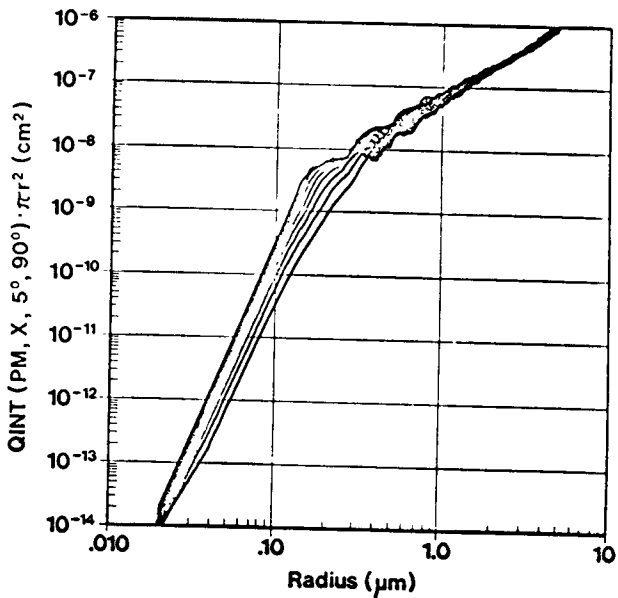


Figure 2b



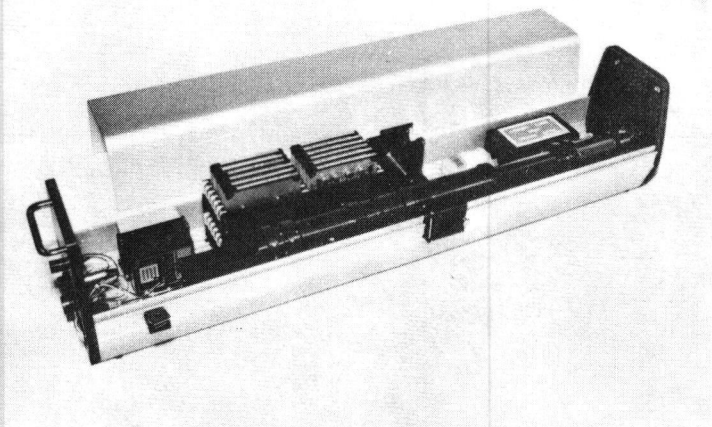


Figure 3

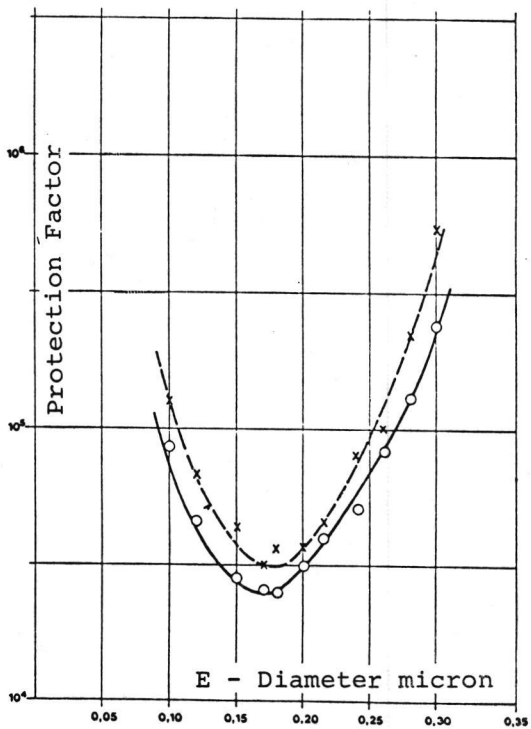


Figure 4



SANDBETTFILTER ALS AEROSOLFILTER HOHER ABSCHIEDELEISTUNG IN  
KERNTECHNISCHEN ANLAGEN

L. Böhm  
RW- TÜV

Essen - B.R. DEUTSCHLAND

J. Jordan und W. Schikarski  
Gesellschaft für Kernforschung  
Karlsruhe - B.R. DEUTSCHLAND

KURZFASSUNG. In Flüssigmetall-Brütern dient Natrium als Kühlmittel. Unfälle in diesen Anlagen können durch undichte Rohre und durch Verschütten von radioaktivem Natrium auftreten. Um die Freisetzung von Radioaktivität an die Umgebung des Reaktors so gering wie möglich zu halten, ist ein besonderes Filtersystem notwendig. Bis jetzt sind nukleare Anlagen, die Natriumbränden ausgesetzt sind, mit konventionellen Glasfaserfiltern ausgerüstet worden. Diese Filter haben hohe Rückhaltefaktoren für chemisch inerte Aerosole, aber sie widerstehen kaum aggressiven Natriumoxidaerosolen. Sandbettfilter sind deshalb entwickelt und getestet worden, um sie im Exventingsystem des SNR-300 einzusetzen. Die Filtration von Aerosolen durch Sandbettfilter ist weitverbreitet, doch sind unseres Erachtens keine Versuche unternommen worden, diese Filter hinsichtlich Beladbarkeit und Rückhaltefaktoren zu optimieren. Im Kernforschungszentrum Karlsruhe sind Experimente mit hohen Aerosolkonzentrationen (bis  $40 \text{ gr/m}^3$ ) und Flussgeschwindigkeiten von  $0-5 \text{ cm/sec}$  durchgeführt worden.

SUMMARY. SAND FILTERS AS HIGH EFFICIENCY AEROSOL FILTERS IN NUCLEAR PLANTS. In Liquid Metal Fast Breeder Reactors sodium is used as the cooling medium. Accidents at these nuclear installations may occur as a result of pipework leakage or major spills of radioactive sodium. To minimize the release of radioactivity to the environment in an accident case, a special filtration system is necessary.

To date, nuclear installations with a possibility of sodium fires have been equipped with conventional glass-fibre filters. These filters have high retention efficiencies for chemically inert aerosols but do not resist aggressive sodium oxide aerosols. Sand bed filters have therefore been developed and tested for use in the ventilation extract system of the SNR-300. Filtration of aerosols by sand filters is widely practised, although no previous attempts to optimize them as regards efficiency and loading capacity have been reported. Experiments have been carried out with high aerosol concentrations (up to  $40 \text{ g/m}^3$ ) and flow velocities of  $0-5 \text{ cm/sec}$  in the Karlsruhe Nuclear Research Centre.

RESUME. EMPLOI DANS DES INSTALLATIONS NUCLEAIRES DE FILTRES A LIT DE SABLE POUR LA FILTRATION ABSOLUE D'AEROSOLS. Dans les réacteurs surgénérateurs à métal liquide, le fluide caloporteur est le sodium. Des accidents peuvent s'y produire du fait d'une fuite dans des canalisations ou d'un épanchement de sodium radioactif. La limitation du dégagement de radioactivité à l'extérieur du réacteur impose de disposer d'un système de filtres particulier. Jusqu'ici, les installations nucléaires où il existe un risque de feux de sodium ont été équipées de filtres conventionnels en fibres de verre. Ces filtres ont des facteurs élevés de rétention des aérosols chimiquement inertes mais ne résistant pas aux aérosols corrosifs d'oxyde de sodium. C'est pourquoi on a mis au point et expérimenté des filtres destinés à être incorporés au circuit de rejet d'air du SNR-300. La filtration des aérosols sur des filtres à lit de sable est largement répandue mais, à notre connaissance, aucune expérience n'a été entreprise en vue d'optimiser la capacité de charge et les facteurs de rétention de ces filtres. Le Centre de Recherches Nucléaires de Karlsruhe s'est livré à des essais à de fortes concentrations en aérosols (jusqu'à  $40 \text{ gr/m}^3$ ) avec des vitesses de flux de  $0-5 \text{ cm/sec}$ .

In Schnellen Brütern wird Natrium als Kühlmedium benutzt. Unfälle in diesen nuklearen Einrichtungen können u.a. durch undichte Systeme oder durch das Verschütten größerer Mengen radioaktiven Natriums auftreten. Um die Freisetzung von Radioaktivität an die Umgebung des Reaktors zu verringern, besonders während eines Unfalls, ist ein besonderes Filtrationssystem notwendig. Bisher wurden nukleare Einrichtungen, bei denen Natriumbrände auftreten können, mit konventionellen Glasfaserfiltermausgerüstet. Filter dieser Art haben hohe Rückhalteeigenschaften für chemisch inerte Aerosole, aber sie widerstehen nicht den aggressiven Natriumoxidaerosolen. Deshalb wurden Sandbettfilter für den Einsatz im Exventing-Strang des SNR-300 entwickelt und getestet, da Sandbettfilter gegen Natriumoxidaerosole beständig sind. Die Filtration der Aerosole durch Sandbettfilter ist gut bekannt, obgleich bisher kein Versuch bekannt wurde, diese Filter hinsichtlich Beladbarkeit und Wirkungsgrad zu optimieren.

Im Kernforschungszentrum Karlsruhe wurden Experimente mit hohen Konzentrationen an Natriumoxidaerosolen durchgeführt. Beladbarkeit und Filterwirkungsgrad können sodann mit Hilfe kapillarer Strömung durch den auf dem Sandbettfilter obenauf liegenden Filterkuchen erklärt werden.

Die Versuche wurden in einem geschlossenen Gaskreislauf ausgeführt, wie in Abb. 1 gezeigt. Natriumoxidaerosole wurden erzeugt durch das Abbrennen von 5 kg Natrium in einer  $1 \text{ m}^2$  großen Pfanne unter einem schornsteinförmigen Abzug. Die Brandrate betrug ca.  $20 \text{ kg Na/m}^2 \text{ h}$ . Die maximale  $\text{Na}_2 \text{O}_2$ -Konzentration im Kreislauf betrug  $40 \text{ g/m}^3$ . Das Gas im Kreislauf wurde mittels des Ventilators G durch das zu testende Sandbettfilter F 1 und durch das nachgeschaltete Sicherheitsfilter F 2 gedrückt, ferner durch einen Flußmesser D, einen Gaserhitzer E und schließlich zurück in die Pfanne mit brennendem Natrium. Die Sauerstoffkonzentration wurde bei 21 % und die relative Feuchte bei 30 % gehalten. Die Größenverteilung der Aerosole wurde mit einem Spektral-Szintillations-Teilchenzähler gemessen, welcher

den Massen- (Volumen) äquivalenten Durchmesser eines einzelnen Teilchens mißt.

Die Massenkonzentration der  $\text{Na}_2\text{O}_2$ -Aerosole vor dem Testfilter wurde durch Auswaschen mit Wasser und anschließendem Titrieren bestimmt. Hinter dem Testfilter wurde die Massenkonzentration durch einen Aerosolmassenmonitor als Zeitfunktion gemessen. Die Versuche wurden in einem gasdichten Filtergehäuse von  $2\text{m}^3$  Inhalt und  $0,76\text{ m}^2$  Anströmfläche ausgeführt.

Der Gasfluß verlief von oben nach unten.

Am Boden des Gehäuses befanden sich besonders geformte Stahlbleche, um gute Strömungsverhältnisse zu erreichen. Über diesen Stahlblechen lag eine Stüttschicht von 10-20 cm groben Sand. Darüber lagen Schichten feineren Sandes in einer Weise, daß die Porosität von oben nach unten abnahm. Die oberste Schicht mußte wegen ihrer großen Bedeutung für die Aufnahme des Filterkuchens besonders sorgfältig ausgewählt werden. Um das Sandbettfilter hinsichtlich Beladbarkeit und Abscheidegrad zu optimieren, darf der Sand der obersten Filterschicht weder zu grob, noch zu fein sein. Ist der Sand zu grob, so wird zwar eine hohe Beladbarkeit erreicht, es strömen aber vor der Ausbildung des Filterkuchens zu viele Aerosole durch das Filter und daraus resultiert schließlich ein schlechter Abscheidegrad. Ist der Sand hingegen zu fein, so bildet sich zwar sehr schnell ein Filterkuchen aus, was einen guten Abscheidegrad begünstigt. Jedoch neigt das Filter in diesem Fall sehr leicht zur Verstopfung und zu nur mäßiger Beladbarkeit. Um das Sandbettfilter zu optimieren, hat sich aus Vorversuchen ergeben, daß der mittlere Sandkorndurchmesser der obersten Schicht etwa 2-5 mm groß sein muß.

Deshalb wurden Fraktionen gebrochenen Basaltsandes mit folgender Bezeichnung und folgenden Durchmessermedian-Werten von gemessenen logarithmischen Normalverteilungen gewählt:

Fraktion 0/0,6	Fraktion 0,6/2	Fraktion 2/5	Fraktion 5/11
$d_{\text{coll}} = 0,28\text{ mm}$	$d_{\text{coll}} = 1,58\text{ mm}$	$d_{\text{coll}} = 3,0\text{ mm}$	$d_{\text{coll}} = 9,7$

mit  $d_{\text{coll}}$ : Sandkorndurchmesser

Mit diesen Sandfraktionen wurden zwei Versuchsserien durchgeführt. Es zeigt sich nämlich in Vorversuchen /1/ /2/, daß es nicht möglich war, hohe Beladbarkeit und geringe Durchlässigkeit (hohe Abscheidegrade) über den gesamten Bereich der avisierten Strömungsgeschwindigkeiten von 0-5 cm/sec mit einer Sandschüttnanordnung zu erzielen.

Deshalb wurde eine dichte Schüttung (II) für Flußgeschwindigkeiten von 0-2 cm/sec und eine durchlässigere Schüttung (2-5 cm/sec) (I) für die zwei Versuchsserien verwendet. Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle I wiedergegeben.

Aus der Tabelle I ist ersichtlich, daß Abscheidegrade besser als die von Filtern der Sonderstufe S erreicht wurden, außer bei einem Versuch, der bei 1000 l/min Gasstrom und mit Schüttung (I) durchgeführt wurde. Diese Flußgeschwindigkeit kennzeichnet gerade den kritischen Bereich der Durchlässigkeit zwischen Diffusions- und Trägheitsabscheidung. Tabelle I zeigt weiter, daß die Beladbarkeit zwischen 400 und 600 g/m<sup>2</sup> Anströmfläche variiert, verglichen mit ca. 50 g/m<sup>2</sup> für Faserfilter. Es muß hier erwähnt werden, daß die Beladbarkeit hauptsächlich durch den maximalen Druckaufbau am Filter von etwa 800 mm Wassersäule für diese Filteranordnung begrenzt war. Die Eigenschaft des Sandbettfilters werden vor allem von den Filterprozessen der Impaktion, Diffussion und Sedimentation bestimmt. Ein einfaches Modell für die Durchlässigkeit eines Mehrschichtensandbettfilters wurde in /3/ ausführlich behandelt. Die wesentlichen Merkmale dieses Modells sind die folgenden:

Es wird angenommen, daß der Druckaufbau am Filter dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz gehorcht.

Der Druck baut sich fast ausschließlich über dem etwa 1 cm dicken Filterkuchen auf, der aus N gleich lagen und gleich dicken Kapillaren bestehen möge. Das Hagen-Poiseuille'sche Gesetz ist dann:

$$\Delta P = \frac{80 \cdot \eta \cdot L \cdot Q}{N \cdot \pi \cdot 981 \cdot r^4(t)} \quad (\text{mm WS}) \quad (1)$$

mit:  $\Delta P$  : Druckdifferenz,  
L : Länge der Kapillaren im Filterkuchen,  
N : Zahl der Kapillaren pro Anströmfläche,  
 $\eta$  : Zähigkeit der Luft,  
Q : Flußrate  
r(t) : Zeitabhängiger Kapillarenradius.

Das Modell setzt nun da an, das Zeitgesetz von r (t) zu finden.

Eine genäherte Lösung ist, wie aus /3/ zu entnehmen ist:

$$r(t) = r_0 \exp\left(-\frac{A}{r_0} \cdot t\right) \quad (2)$$

mit :  $r_0$  : Radius der Kapillare zu Beginn der Beladung

$$A = \frac{4}{9} \frac{\bar{C} \cdot v''^2 \cdot r_p^2}{\eta \cdot R}$$

$\bar{C}$  : Mittlere Aerosolmassenkonzentration,

$v''$  : Mittlere Gasgeschwindigkeit innerhalb der Kapillare,  $v'' = v_0/\epsilon$ ,

$v_0$  : Anströmungsgeschwindigkeit außerhalb des Sandbettes,

$\epsilon$  : Porosität des Sandes,

$r_p$  : Aerosolpartikelradius,

R : Krümmungsradius der Kapillare,  $R \approx r_{coll}$ ,

$r_{coll}$  : Radius der Sandkörner;

Die Porosität  $\epsilon$  des Sandes wurde bestimmt aus dem Gewicht und dem Volumen einer definierten Menge von Basaltsand. Das spezifische Gewicht des Sandes wurde bestimmt zu  $3,0 \text{ g/m}^3$ .

Einsetzen von (2) ins (1) ergibt:

$$\Delta p = C \exp (B \cdot t) \quad (3)$$

$$\text{mit } B = \frac{4A}{r_o}$$

$$C = \frac{80 \cdot \eta \cdot L \cdot v_o \cdot F}{N \cdot \pi \cdot 981 \cdot r_o^4}$$

Man erhält also ein exponentielles Ansteigen der Druckdifferenz mit der Zeit  $t$  bzw. der Flächenbeladung  $B_F$ , da man experimentell einen linearen Zusammenhang zwischen  $t$  und  $B_F$  nachweisen konnte.

Für die Durchlässigkeit  $p$  eines Mehrschichtensandbettfilters ergab sich durch analoge Schlüsse aus dem Kapillarfiltermodell:

$$P = \exp \left\{ \left( \frac{kT \cdot \varepsilon \cdot f}{3\pi \cdot r_p \cdot v_o} + \frac{2 r_p^2 \cdot g \cdot \varepsilon \cdot r_{coll}}{9 v_o} + \frac{2 r_p^2 \cdot \rho_p v_o}{9 \varepsilon} \right) \cdot \frac{f \cdot L}{r_{coll}^2} \right\} \quad (4)$$

mit:  $k$  : Boltzmann-Konstante,

$T$  : Absolute Temperatur,

$6,5 \leq f < 10$ ,

$g$  : Erdbeschleunigung,

$\rho_p$  : Aerosolpartikeldichte.

Mit Ausdruck (4) wurden die Durchlässigkeiten für drei ausgezeichnete Schichten 1a, 2b, und 2c des Sandbettfilters berechnet und in Abb.2 zusammen mit den Meßergebnissen eingezeichnet. Das Produkt der drei Durchlässigkeitskurven gibt hinreichend gut den Verlauf der Meßergebnisse wieder.

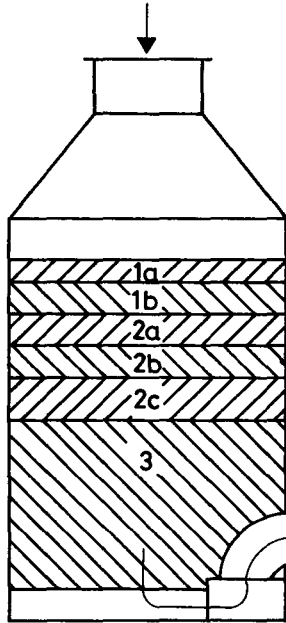


Zusammenfassend läßt sich sagen,

- daß das Kapillarmodell mit dem Hagen-Poiseuille'schen Gesetz als Basis eine erste Möglichkeit ergibt, den zeitabhängigen Druckanstieg am Sandbettfilter zu verstehen.
- daß das Kapillarmodell weiterhin einen Ausdruck für die Filterdurchlässigkeit  $p$  liefert. Es spielen vor allem Diffusion, Sedimentation und Impaktion als Abscheidemechanismen eine wesentliche Rolle.
- daß sich an den von uns untersuchten Schüttungen Flächenbeladbarkeiten von 300-600  $\text{gr/m}^2$  ergeben und Durchlässigkeitsgrade, die besser als die von Faserfiltern der Sonderstufe S sind.

Quellenangaben:

- /1/ Böhm, L., Jordan, S., Schikarski, W. (1974)  
Experiments of filtration of sodium-aersols by sand bed-filters, Conf. on Fast Reactor Safety, Beverly Hills, CA
- /2/ Böhm, L., Jordan, S. Schikarski, W. (1974)  
The off-gas Filter system of the SNR-300, 13<sup>th</sup> AC-Conference, San Francisco;
- /3/ Böhm, L., Jordan, S., J. Aerosol Science 1976,  
Vol. 7, pp. 311-318



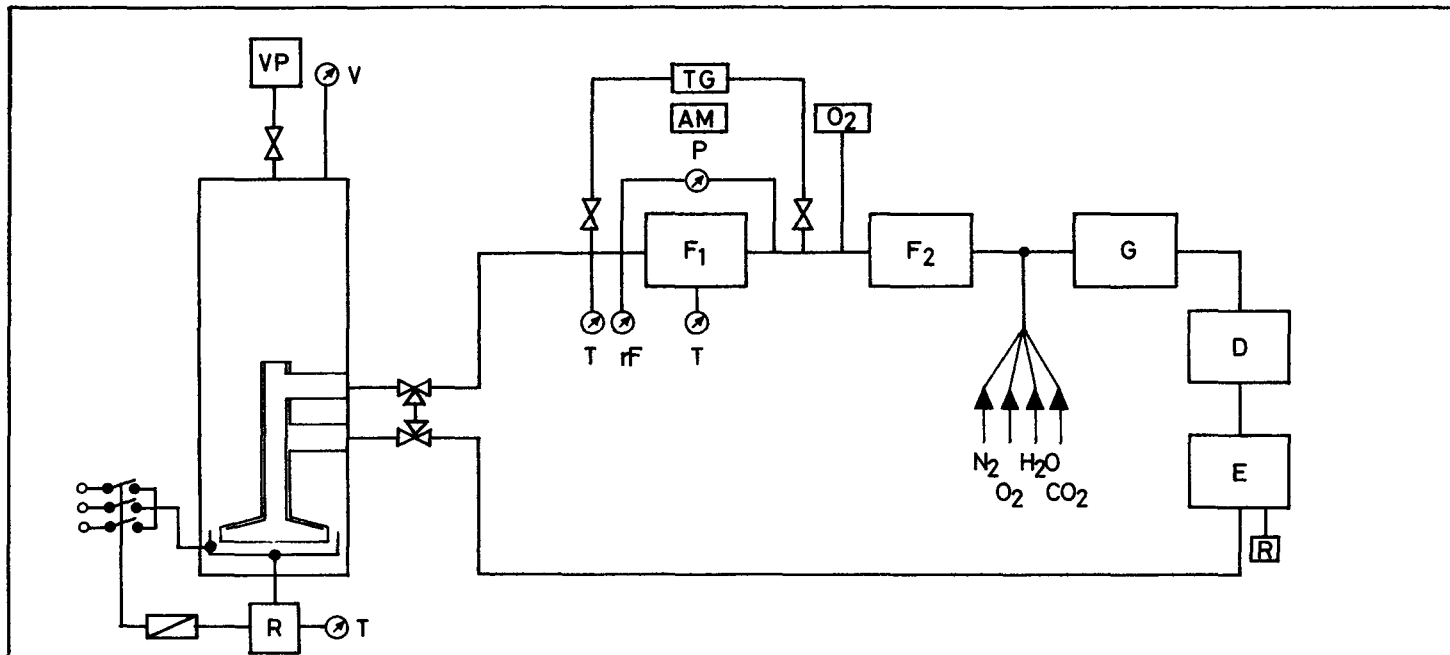
Schüttung I			400l / min	1000l/min	1500l / min	2000l / min
1a } 1b }	150 kg 2/5	P	$6.4 \cdot 10^{-5}$	$1.4 \cdot 10^{-3}$	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$3.2 \cdot 10^{-5}$
2a	50 kg 0.6/2					
2b	200 kg 0/0.6/0.6/2 1:3					
2c	—	B <sub>F</sub> (g/m <sup>2</sup> )	446	465	—	352
3	200 kg 2/5					
Schüttung II			400l / min	550l/min	770l/min	1000l/min
1a	100 kg 2/5/5/11 1:3	P	$\approx 1.5 \cdot 10^{-5}$	$7.2 \cdot 10^{-5}$	$8.5 \cdot 10^{-5}$	$7.1 \cdot 10^{-5}$
1b	150 kg 2/5					
2a	50 kg 0.6/2	B <sub>F</sub> (g/m <sup>2</sup> )	443	396	660	600
2b	200 kg 0/0.6/0.6/2 1:3					
2c	50 kg 0/0.6					
3	200 kg 2/5					

Tab. I

Sandbettfiltermessungen an zwei verschiedenen  
Sandschüttungen

GfK

LAFI



VP - Vakuumpumpe

F<sub>1</sub> - Testfilter

F<sub>2</sub> - Sicherheitsfilter

G - Gebläse

D - Durchflussmesser

E - Gaserhitzer

R - Regler

T - Temperatur-Messgerät

rF - Relat. Feuchte-Messgerät

P - Druck - Messgerät

O<sub>2</sub> - Sauerstoff-Messgerät

AM - Aerosol - Messgerät (Massen-Konz)

TG - Teilchengrößen -  
analysator

Abb. 1

Blockschaltplan des Filter - Kreislaufs

GfK

LAF I

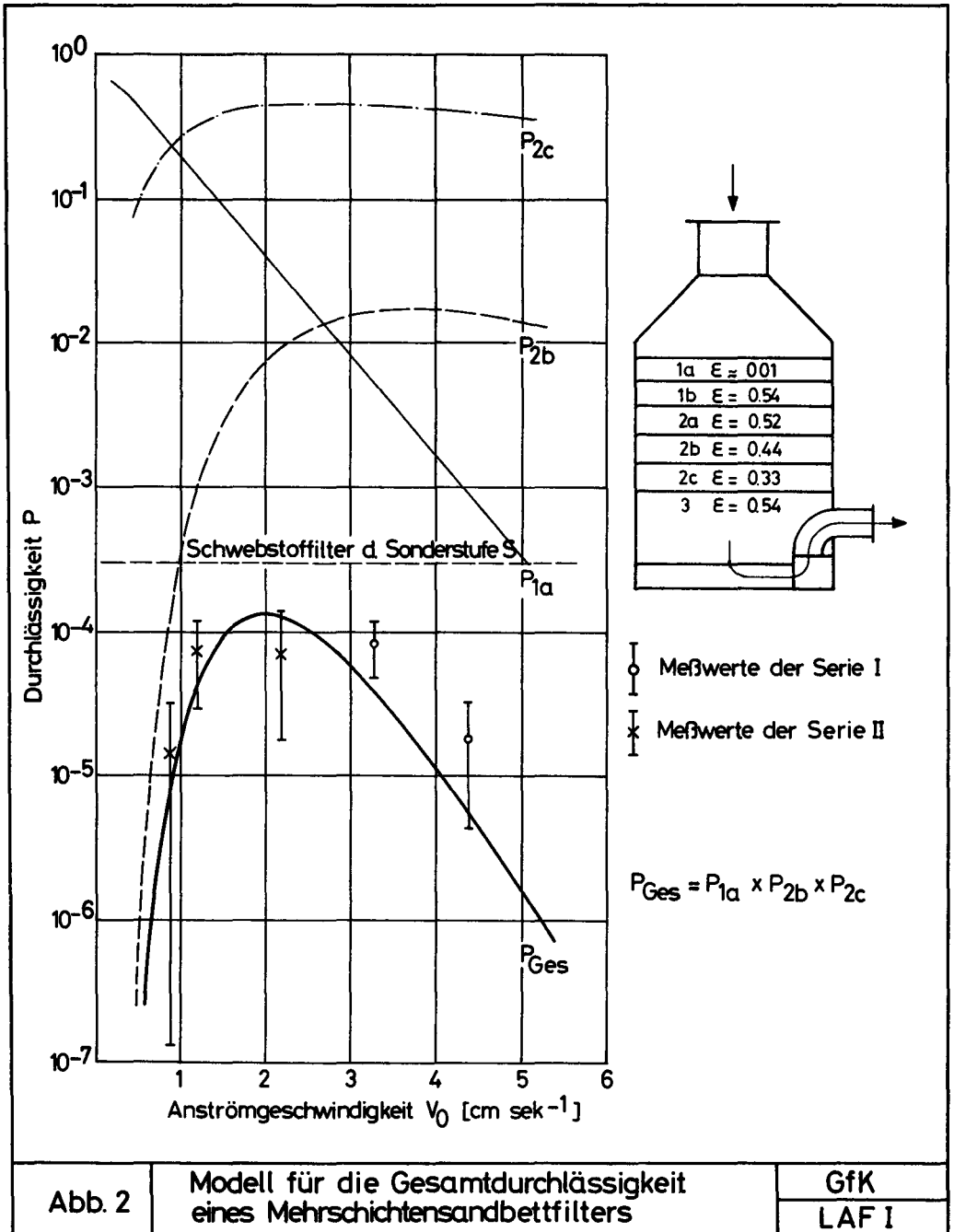


Abb. 2

Modell für die Gesamtdurchlässigkeit eines Mehrschichtensandbettfilters

GfK  
LAF I

## ROUND TABLE

### **PARTICIPANTS:**

**PRADEL, J.,** CEA, Fontenay-aux-Roses, France  
Chairman Sessions I and II

**DORMAN, R.G.,** CDE, Wiltshire, United Kingdom  
Chairman Session III

**BOULENGER, R.,** "Contrôle Radioprotection" ASBL, Bruxelles, Belgique  
Chairman Session IV

**FIRST, M.W.,** Harvard University, Boston, U.S.A.  
Chairman Session V

**HAMPE, E.A.,** Directorate-General for Social Affairs,  
Commission of the European Communities, Luxembourg



CONCLUSIONS OF THE SEMINAR- CONCLUSIONS DU SEMINAIRE- ERGEBNISSE DES SEMINAR

Summaries of sessions, presented by the Chairmen

Résumés des sessions, présentés par les Présidents respectifs

Zusammenfassende Referate der einzelnen Sitzungspräsidenten

J. PRADEL

Je parlerai tout d'abord de la session concernant les aspects réglementaires que j'ai présidée en l'absence de M. RODIER. J'ai pu heureusement discuter avec celui-ci des conclusions que j'avais tirées de cette séance et je pense ne pas trahir sa pensée en vous les exposant maintenant.

I - ASPECTS REGLEMENTAIRES

- 1 - Des règlements ou recommandations existent ou sont en préparation dans différents états. Il serait hautement souhaitable que des recommandations soient élaborées par un groupe d'experts à l'initiative d'un organisme international qui pourrait être la Commission des Communautés Européennes ou l'Agence de Vienne. En effet, en l'absence de telles recommandations, on risque d'être obligé d'adopter progressivement toutes les exigences, qui vont être imposées dans les différents règlements nationaux et vous sentez bien que la somme de ces exigences est parfois excessive. Je voudrais personnellement que l'on évite cet excès.
- 2 - Les conditions d'essai des filtres devraient être normalisées dans la mesure du possible, même si on ne peut se mettre d'accord sur une seule méthode, pourquoi ne pas alors en normaliser plusieurs et éventuellement faire des intercomparaisons qui puissent permettre aux gens concernés de comparer les performances des différents matériels.
- 3 - En ce qui concerne les tests in-situ, il me semble qu'il s'est dégagé une unanimité pour considérer qu'il sont vraiment indispensables et il me semble souhaitable que les modalités en soient précisées, notamment en ce qui concerne la fréquence de ces tests. Ceux-ci devraient viser à fournir l'efficacité réelle de l'installation et non pas seulement à détecter les fuites. Cela est possible et l'efficacité réelle étant une donnée essentielle pour la sûreté de l'installation il me semble souhaitable d'essayer d'obtenir cette valeur.
- 4 - Dans les rapports de sûreté et ceci tout à fait en accord avec M. RODIER, je pense que devraient figurer, non seulement des formules banales comme "on met des filtres absolus" mais aussi des précisions supplémentaires. On devrait préciser :
  - . les performances réelles des matériels avec leurs conditions de détermination.
  - . les dispositions prises par les fabricants de ces matériels pour contrôler la qualité de leur fabrication.
  - . comment le maître d'oeuvre doit recevoir son installation
  - . les contrôles de bon fonctionnement qu'il prévoit en précisant leur périodicité.

Enfin un problème très important a été abordé au cours des discussions mais personnellement je ne pense pas que l'on en ait dégagé une philosophie précise. Il s'agit de savoir si l'on doit dans certains cas prévoir des changements de filtre télécommandés. Il me semble que l'on a pas abordé suffisamment le sujet et que des groupes d'experts devraient se pencher sur le problème pour voir, compte tenu des hypothèses possibles d'accident, quels sont les cas où il faut réellement envisager ces dispositifs automatiques de changement de filtre. Cela vaut la peine car c'est une décision qui est importante techniquement et financièrement.

D'une façon générale, il faut essayer de séparer les responsabilités des fabricants, celles des maîtres d'oeuvre et celles des laboratoires d'essai.

Comme vous le disiez Monsieur le Président toute à l'heure, on peut se poser le problème de la formation du personnel à l'échelle européenne. Je crois qu'à l'échelle nationale il est difficile d'envisager une formation étant donné que l'on a relativement peu de gens concernés mais peut-être serait-il utile que les Communautés envisagent, à une échelle plus grande, la réalisation d'un tel enseignement.

Je terminerai en ce qui concerne les aspects réglementaires en disant que l'on peut faire encore un petit effort en matière de terminologie. Il faudrait que l'on se mette d'accord - ce ne devrait pas être trop difficile - de ne plus parler "d'efficacité" et de "pénétration" mais choisir l'un ou l'autre - et éviter le "rendement" qui est, je pense, très mal adapté aux filtres à haute efficacité. Enfin, peut-être peut-on utiliser des m<sup>3</sup>/h, peut-être aussi, des Pascal : ce n'est pas facile, mais c'est la norme officielle.

## II - ASPECTS INDUSTRIELS

En ce qui concerne les aspects industriels, on a montré qu'une collaboration entre les concepteurs, les fabricants et les spécialistes des laboratoires était absolument nécessaire si l'on veut aboutir à des réalisations rationnelles qui permettent d'obtenir:

- tout d'abord une bonne efficacité des installations, mais aussi
- un contrôle aisé des performances
- une solution économique globale compte-tenu du coût des matériels et de leur durée de vie, des coûts de fonctionnement et d'entretien et de ceux du traitement des déchets.

Il est certain qu'un bon schéma de ventilation permet de réduire les débits nécessaires, le volume des installations et celui des déchets produits.

A mon avis, la durée des filtres est une donnée essentielle, à laquelle on n'a peut-être pas attaché assez d'importance. Il en résulte que l'on devrait recommander de conditionner l'air des locaux (filtration de l'air à l'entrée et humidité limitée) et d'éviter l'empoussièrage des filtres généraux à l'intérieur de ces locaux, en captant les pollutions à la source. Alors, dans ces conditions, la question se pose de savoir s'il est vraiment utile de placer des préfiltres avant les filtres absolus.



J. PRADEL

I shall speak first of all about the session on regulatory aspects which I chaired in the absence of Mr. RODIER. Fortunately I have been able to discuss with him the conclusions which I drew from this session, and I do not think that I am misrepresenting his line of thought in presenting these conclusions to you now.

I - REGULATORY ASPECTS

1. Regulations or recommendations already exist or are being prepared in various states. It is highly desirable that these recommendations be drawn up by a group of experts at the behest of an international organization, such as the Commission of the European Communities or the IAEA in Vienna. In the absence of such recommendations there is effectively a danger that we shall have to adopt progressively all the requirements which will be imposed by the various national regulations, and you no doubt realize that the sum of these requirements is sometimes excessive. Personally I should like to avoid such excesses.
2. Filter test conditions ought to be standardized as far as possible. Even if agreement cannot be reached on one single method, why not standardize several and, if necessary, carry out intercomparisons which would enable the people concerned to compare the performance of different materials and equipment.
3. As regards in-situ tests, it seems to be unanimously agreed that they be considered as really indispensable, and it seems to me desirable that the procedures should be specified, particularly in respect of the frequency of testing. The aim of these tests should be to ensure a high degree of filter efficiency as installed, and not simply to detect leaks. This can be done and, since a high degree of efficiency is essential for the safety of the installation, it seems to me desirable to try to evaluate this efficiency.
4. I think - and Mr RODIER agrees entirely - that the safety reports should contain not just bald statements such as "absolute filters are installed", but should include further details. They should specify the following :
  - . the actual performance of the equipment and the conditions under which it was determined;
  - . the quality control measures taken by the manufacturers of the equipment;
  - . the commissioning tests to be carried out by the operator of the plant;
  - . equipment performance checks foreseen and their frequency.

Lastly, a very important problem has been raised during the discussions, but personally I do not think a clear-cut approach has been evolved. We need to know whether in certain cases we should provide for the remote handling of filters. It seems to me that we have not broached this subject sufficiently and that groups of experts should concentrate on this problem to establish, taking account of possible accidents, under what conditions it is really necessary to consider using such remote filter-changing equipment. This is merited since it is a decision which is important both technically and financially. A broad distinction should be attempted between the responsibilities of the manufacturers, the plant operators and the test laboratories.

As you were saying a little while ago, Mr Chairman, we should consider the question of training staff on a European scale. I believe that it is difficult to consider training nationally since relatively few people are involved. But it might be useful for the Community to consider providing such instruction on a larger scale.

I shall conclude my remarks on regulatory aspects by saying that a little more work could be done as regards terminology. We ought to agree-which should not be too difficult - to refrain from talking of "efficacité" (decontamination factor) and "pénétration" (penetration), but choose either one or the other, to avoid "rendement" (efficiency) which is, I think, most unsuitable when applied to high-efficiency filters. Lastly could we perhaps use the unit m<sup>3</sup>/h, and perhaps pascals as well. This is not easy, but it is the official standard.

## II - INDUSTRIAL ASPECTS

As regards the industrial aspects, it has been shown that it is absolutely necessary for designers, manufacturers and laboratory specialists to collaborate if we wish to achieve well-founded results leading to

- a high degree of efficiency first and foremost, in the installations;
- ease of performance monitoring;
- an overall economic solution, taking into account the cost of the equipment and its working life, operating and maintenance costs and the costs of processing the waste.

There is no doubt that a good ventilation system can reduce the amount of air which has to be discharged, the volume of the equipment and that of the waste products.

In my opinion the service life of the filters is an essential item of data, the importance of which cannot be over-emphasized. This means that we should recommend air-conditioning in the installations (air to be filtered on intake and humidity limited) and avoidance of dust build-up on filters in general which are inside these plants, by trapping pollutants at source. The question then arises whether it is really worth while installing prefilters upstream of the absolute filters.

J. PRADEL

Zunächst möchte ich von der Sitzung sprechen, die sich mit den genehmigungsrechtlichen Aspekten beschäftigte und bei der ich in Abwesenheit von Herrn RODIER den Vorsitz führte. Glücklicherweise konnte ich mich mit diesem über die Schlussfolgerungen unterhalten, die ich aus dieser Sitzung gezogen hatte. Daher meine ich, Ihnen die folgenden Punkte ganz in seinem Sinne darlegen zu können.

I - GENEHMIGUNGSRECHTLICHE ASPEKTE

- 1 - In verschiedenen Ländern wurden einschlägige Regelungen oder Empfehlungen eingeführt oder werden vorbereitet. Es wäre äusserst wünschenswert, wenn eine Sachverständigengruppe auf Anregung einer internationalen Organisation, z.B. der Kommission der Europäischen Gemeinschaften oder der Wiener Atombehörde, diesbezüglich Empfehlungen ausarbeiten würde. Fehlen nämlich solche Empfehlungen, so besteht die Gefahr, dass man gezwungen ist, nach und nach sämtlichen Forderungen zu entsprechen, die in den verschiedenen nationalen Regelungen aufgestellt werden - und Sie wissen wohl selbst, dass diese Forderungen mitunter übertrieben sind. Persönlich würde ich eine solche Uebertreibung gerne vermieden sehen.
- 2 - Die Filterprüfbedingungen müssten im Rahmen des Möglichen genormt werden, selbst wenn man sich nicht auf ein einziges Verfahren einigen kann. In diesem Fall könnte man durchaus mehrere Verfahrensnormen und Vergleiche anstellen, die es den Interessenten erlauben, die Leistung der jeweiligen Geräte zu beurteilen.
- 3 - Bei den In-situ-Prüfungen ist man offenbar einmütig zu der Erkenntnis gelangt, dass sie wirklich unerlässlich sind, und es scheint mir wünschenswert, dass auch hier die Modalitäten, insbesondere in bezug auf die Häufigkeit der Prüfungen, genau festgelegt werden. Diese Prüfungen sollten Aufschluss über die wirkliche Leistungsfähigkeit der Anlage geben und nicht nur eventuelle Leckagen feststellen. Dies ist durchaus möglich, und da die wirkliche Leistungsfähigkeit ein wesentlicher Faktor für die Sicherheit der Anlage ist, erscheint es mir wünschenswert zu versuchen, eine möglichst hohe Leistungsfähigkeit zu realisieren.
- 4 - Die Sicherheitsberichte sollten meines Erachtens - Herr RODIER stimmt darin mit mir voll und ganz überein - nicht nur banale Formulierungen wie "Absolutfilter werden eingebaut" sondern auch weitere detaillierte Angaben enthalten. Genauere Angaben wären zu machen über
  - . die tatsächliche Abscheideleistung des jeweiligen Geräts sowie die Bedingungen für ihre Bestimmung;
  - . die Vorkehrungen der Hersteller zur Qualitätskontrolle des von ihnen hergestellten Geräts;
  - . die Abnahme der Anlage durch den Bauherrn;
  - . die von ihm vorgesehenen Funktionsprüfungen unter Angabe ihrer Periodizität.

Eine weitere äusserst wichtige Frage wurde in den Diskussionen angeschnitten, jedoch meine ich, dass man keine genaue Philosophie dafür herauskristallisiert hat. Es handelt sich dabei um das Problem, ob man in bestimmten Fällen den Filterwechsel mittels Fernbedienung durchführen soll. Ich habe den Eindruck, dass dieses Thema nicht hinreichend erörtert wurde und dass sich Expertengruppen damit befassen sollten, um unter Berücksichtigung der Unfallrisiken herauszufinden, in welchen Fällen tatsächlich automatische Filterwechsellvorrichtungen geplant werden müssen. Ich halte dies für gerechtfertigt, da es sich hier um eine technisch und finanziell schwerwiegende Entscheidung handelt.

Allgemein müsste versucht werden, die jeweiligen Pflichten der Hersteller, Bauherrn und Prüflabors voneinander zu trennen.

Wie Sie vorhin gesagt haben, Herr Vorsitzender, kann man das Problem der Personalausbildung auf europäischer Ebene stellen. Ich glaube, es ist schwierig, auf Landesebene eine Ausbildung ins Auge zu fassen, da es sich jeweils nur um verhältnismässig wenig Personen handelt; vielleicht wäre es jedoch zweckmässig, dass die Europäischen Gemeinschaften die Verwirklichung einer solchen Ausbildung in einem grösseren Rahmen anstreben.

Zu den genehmigungsrechtlichen Aspekten möchte ich abschliessend bemerken, dass im Bereich der Terminologie noch Anstrengungen zu unternehmen wären. Man müsste sich einigen - und das dürfte nicht zu schwer sein -, nicht mehr von "efficacité" und gleichzeitig von "pénétration" zu sprechen, sondern den einen oder den anderen Ausdruck zu wählen; dabei wäre das Wort "rendement", das sich meines Erachtens für Filter hoher Abscheideleistung kaum eignet, zu vermeiden. Schliesslich könnte man den Durchsatz in m<sup>3</sup>/h. Vielleicht auch die Einheit Pascal benutzen: dies ist zwar nicht leicht, eintsprche aber der offiziellen Norm.

## II - GESICHTSPUNKTE DER HERSTELLUNG

Bezüglich der Herstellung wurde herausgestellt, dass eine Zusammenarbeit zwischen Planern, Herstellern und Laborfachleuten unbedingt notwendig ist, wenn man rationell zu Ergebnissen gelangen will, die folgende Voraussetzungen erfüllen:

- zunächst eine hohe Leistungsfähigkeit der Anlagen, aber auch
- eine bequeme Kontrollmöglichkeit des Zustandes der Anlagen;
- eine insgesamt wirtschaftliche Lösung unter Berücksichtigung der Materialkosten Standzeiten, Betriebs-, Wartungs- und Abfallbeseitigungskosten.

Gewiss lassen sich mit einem gut konzipierten Lüftungssystem die erforderlichen Luftdurchstze, der Umfang der Anlagen und der der Abfälle verringern.

Meines Erachtens ist die Filterstandzeit ein wichtiger Faktor, dem man nicht genug Bedeutung beimessen kann. Unter diesem Blickwinkel gesehen müsste man die Klimatisierung der Betriesrume empfehlen (Filterung der Zuluft und begrenzte Luftfeuchtigkeit) und die allgemeine Verstaubung der Filter im Innern dieser Räume durch Rückhaltung der Verunreinigungen gleich an der jeweiligen Quelle vermeiden. Unter diesen Voraussetzungen erhebt sich dann tatsächlich die Frage, ob der Einsatz von den Absolutfiltern vorgeschalteten Vorfiltern  berhaupt noch von Nutzen ist.

R.G. DORMAN

I was the Chairman of the Session which dealt largely with the testing of particulate filters both in rigs and on-site. Many of the impressions which I gained were very similar to those of M. Pradel, but I would like to give you my impressions of what we should think about in the future.

Some speakers have said that filters need only be given installation tests but I would like to make a plea that filters should also be tested individually before they are installed. I would like to see some homogeneity of standards. We should have good correlation data between the different test methods and be sure that those results have a real meaning. This is lacking at the present time.

While we should try to reduce the numbers of tests, I do not think that we should attempt to decide on one test only within the EEC. If we were to make one test mandatory, to the exclusion of all others, I am sure this would have a bad effect on research and development. We should always strive for improvements in our test methods. However, we should most certainly try to obtain correlation data and the numerical results for our different tests should not in themselves be too different. I am concerned, for example, that the leakage figures as obtained by the condensation nucleus tests and the British sodium chloride test, which have been reported at this seminar, are in such poor agreement.

I would like the EEC to persuade one establishment to permit all the tests we have heard about to be carried out, i.e. we would have a condensation nuclei test, a DOP test, an oil fog test, a sodium chloride test and any others which are candidate tests to be carried out by experts at the same time - or, rather, over one or two days - at the same establishment. The results would be examined and published to be seen by all interested parties. Such a comparative test would be expensive but I believe it to be essential if we are to make a true judgment.

I have also been concerned that we do not appear to know very much about penetration at high relative humidity, i.e. 95 % plus. Nor do we have a test for high temperature. Filters have been tested, heated, cooled and retested at room temperature; this is not the same thing as testing at high temperature test. We should devise a high temperature test and a high humidity test under conditions agreed by the various experts.

We should decide on the frequency required for tests and who should do on-site tests. My opinion, admittedly obtained largely on non-nuclear tests, is that a small team of independent experts who travel around is better than a team based on the installation itself. You may disagree with this, but I repeat what has been mentioned more than once at this Seminar - that on-site testing is work which requires great experience, great knowledge and personal integrity. Perhaps the EEC would organise another, much smaller seminar, attended only by those who are actually engaged on testing, in order to thrash out essential details.

R.G. DORMAN

J'étais Président de la Session qui traitait principalement de l'essai des filtres d'aérosols tant au banc que in situ. Bien des impressions qu'elle m'a laissées ressemblent fort à celles de M. Pradel, mais j'aimerais vous communiquer mon sentiment quant aux orientations pour l'avenir.

Pour certains orateurs seuls des tests de l'installation sont nécessaires; mais je soutiens pour ma part que les filtres devraient aussi faire l'objet d'essais individuels avant mise en place. J'aimerais voir une certaine homogénéité dans les normes. Nous devrions disposer de bons indices de corrélation entre les différentes méthodes d'essai et être sûrs que ces résultats ont une signification réelle. Ce qui n'est pas le cas à l'heure actuelle.

S'il est vrai que nous devrions essayer de réduire le nombre de méthodes de tests, je ne pense pas que nous devrions tenter d'opter pour une seule au sein de la CEE. Si nous rendions un test obligatoire, à l'exclusion de tous les autres, je suis certain que cette décision aurait un mauvais effet sur la recherche et le développement. Nous devons toujours chercher à améliorer nos méthodes d'essai. Néanmoins, il est certain que nous devrions essayer d'obtenir des données sur les corrélations et les résultats numériques de nos différents essais ne devraient pas en eux-mêmes accuser de différences trop sensibles. Je me préoccupe, par exemple, des discordances entre les résultats de fuites obtenus par les tests à condensation de noyaux et le test britannique au chlorure de sodium, qui ont été relatés à ce séminaire.

J'aimerais que la CEE persuade un établissement de permettre la réalisation de tous les essais dont nous avons entendu parler, c.à.d. qu'un essai de condensation de noyaux, un essai DOP, un essai au brouillard d'huile, un essai au chlorure de sodium et tous les autres essais proposés soient effectués par des experts simultanément - ou, plutôt, sur un ou deux jours dans le même établissement. Les résultats seraient examinés et publiés de sorte que toutes les parties intéressées en prennent connaissance. Un tel essai comparatif serait dispendieux, mais je crois en sa nécessité si nous voulons nous faire une juste opinion.

Je relève aussi avec inquiétude que nos connaissances ne semblent pas très avancées quant à la pénétration à des taux d'humidité relative élevés, c.à.d. 95 % et plus. Nous ne disposons pas d'essai non plus pour les hautes températures. Les filtres ont été essayés, chauffés, refroidis et essayés de nouveau à la température ambiante. Les conditions seraient différentes à température élevée. Nous devrions mettre au point un essai à haute température et un essai à humidité élevée dans des conditions sur lesquelles les divers experts se mettraient d'accord.

Nous devons décider de la périodicité requise pour les essais ainsi que du personnel qui devrait être chargé des essais in situ. Mon opinion, dont j'admets qu'elle repose essentiellement sur la pratique d'essais non nucléaires, est qu'une petite équipe mobile d'experts indépendants est préférable à une équipe installée à demeure dans l'installation elle-même. Vous ne serez peut-être pas d'accord avec ceci, mais je répète ce qui a été dit plus d'une fois lors de ce séminaire - à savoir que la réalisation des essais in situ requière une grande expérience, de grandes connaissances et beaucoup de rigueur personnelle. La CEE serait sans doute bien inspirée d'organiser un autre séminaire, beaucoup plus restreint, auquel ne participeraient que les personnes effectivement impliquées dans les essais, en vue de mettre en lumière les données essentielles.

R.G. DORMAN

I was the Chairman of the Session which dealt largely with the testing of particulate filters both in rigs and on-site. Many of the impressions which I gained were very similar to those of M. Pradel, but I would like to give you my impressions of what we should think about in the future.

Some speakers have said that filters need only be given installation tests but I would like to make a plea that filters should also be tested individually before they are installed. I would like to see some homogeneity of standards. We should have good correlation data between the different test methods and be sure that those results have a real meaning. This is lacking at the present time.

While we should try to reduce the numbers of tests, I do not think that we should attempt to decide on one test only within the EEC. If we were to make one test mandatory, to the exclusion of all others, I am sure this would have a bad effect on research and development. We should always strive for improvements in our test methods. However, we should most certainly try to obtain correlation data and the numerical results for our different tests should not in themselves be too different. I am concerned, for example, that the leakage figures as obtained by the condensation nucleus tests and the British sodium chloride test, which have been reported at this seminar, are in such poor agreement.

I would like the EEC to persuade one establishment to permit all the tests we have heard about to be carried out, i.e. we would have a condensation nuclei test, a DOP test, an oil fog test, a sodium chloride test and any others which are candidate tests to be carried out by experts at the same time - or, rather, over one or two days - at the same establishment. The results would be examined and published to be seen by all interested parties. Such a comparative test would be expensive but I believe it to be essential if we are to make a true judgment.

I have also been concerned that we do not appear to know very much about penetration at high relative humidity, i.e. 95 % plus. Nor do we have a test for high temperature. Filters have been tested, heated, cooled and retested at room temperature; this is not the same thing as testing at high temperature test. We should devise a high temperature test and a high humidity test under conditions agreed by the various experts.

We should decide on the frequency required for tests and who should do on-site tests. My opinion, admittedly obtained largely on non-nuclear tests, is that a small team of independent experts who travel around is better than a team based on the installation itself. You may disagree with this, but I repeat what has been mentioned more than once at this Seminar - that on-site testing is work which requires great experience, great knowledge and personal integrity. Perhaps the EEC would organise another, much smaller seminar, attended only by those who are actually engaged on testing, in order to thrash out essential details.

R.G. DORMAN

J'étais Président de la Session qui traitait principalement de l'essai des filtres d'aérosols tant au banc que in situ. Bien des impressions qu'elle m'a laissées ressemblent fort à celles de M. Pradel, mais j'aimerais vous communiquer mon sentiment quant aux orientations pour l'avenir.

Pour certains orateurs seuls des tests de l'installation sont nécessaires; mais je soutiens pour ma part que les filtres devraient aussi faire l'objet d'essais individuels avant mise en place. J'aimerais voir une certaine homogénéité dans les normes. Nous devrions disposer de bons indices de corrélation entre les différentes méthodes d'essai et être sûrs que ces résultats ont une signification réelle. Ce qui n'est pas le cas à l'heure actuelle.

S'il est vrai que nous devrions essayer de réduire le nombre de méthodes de tests, je ne pense pas que nous devrions tenter d'opter pour une seule au sein de la CEE. Si nous rendions un test obligatoire, à l'exclusion de tous les autres, je suis certain que cette décision aurait un mauvais effet sur la recherche et le développement. Nous devons toujours chercher à améliorer nos méthodes d'essai. Néanmoins, il est certain que nous devrions essayer d'obtenir des données sur les corrélations et les résultats numériques de nos différents essais ne devraient pas en eux-mêmes accuser de différences trop sensibles. Je me préoccupe, par exemple, des discordances entre les résultats de fuites obtenus par les tests à condensation de noyaux et le test britannique au chlorure de sodium, qui ont été relatés à ce séminaire.

J'aimerais que la CEE persuade un établissement de permettre la réalisation de tous les essais dont nous avons entendu parler, c.à.d. qu'un essai de condensation de noyaux, un essai DOP, un essai au brouillard d'huile, un essai au chlorure de sodium et tous les autres essais proposés soient effectués par des experts simultanément - ou, plutôt, sur un ou deux jours dans le même établissement. Les résultats seraient examinés et publiés de sorte que toutes les parties intéressées en prennent connaissance. Un tel essai comparatif serait dispendieux, mais je crois en sa nécessité si nous voulons nous faire une juste opinion.

Je relève aussi avec inquiétude que nos connaissances ne semblent pas très avancées quant à la pénétration à des taux d'humidité relative élevés, c.à.d. 95 % et plus. Nous ne disposons pas d'essai non plus pour les hautes températures. Les filtres ont été essayés, chauffés, refroidis et essayés de nouveau à la température ambiante. Les conditions seraient différentes à température élevée. Nous devrions mettre au point un essai à haute température et un essai à humidité élevée dans des conditions sur lesquelles les divers experts se mettraient d'accord.

Nous devons décider de la périodicité requise pour les essais ainsi que du personnel qui devrait être chargé des essais in situ. Mon opinion, dont j'admets qu'elle repose essentiellement sur la pratique d'essais non nucléaires, est qu'une petite équipe mobile d'experts indépendants est préférable à une équipe installée à demeure dans l'installation elle-même. Vous ne serez peut-être pas d'accord avec ceci, mais je répète ce qui a été dit plus d'une fois lors de ce séminaire - à savoir que la réalisation des essais in situ requière une grande expérience, de grandes connaissances et beaucoup de rigueur personnelle. La CEE serait sans doute bien inspirée d'organiser un autre séminaire, beaucoup plus restreint, auquel ne participeraient que les personnes effectivement impliquées dans les essais, en vue de mettre en lumière les données essentielles.



R.G. DORMAN

Ich habe den Vorsitz der Sitzung innegehabt, die sich hauptsächlich mit In-situ- und Laborprüfungen von Schwebstofffiltern befasst hat. Meine Eindrücke decken sich weitgehend mit denen von Herrn Pradel, jedoch möchte ich nun Ihnen über die künftigen Entwicklungen in diesem Bereich meine Vorstellungen darlegen.

Einige Vortragende haben behauptet, die Filter müssten lediglich im eingebauten Zustand geprüft werden; ich möchte im Gegenteil dafür eine Lanze brechen, dass die Filter auch einzeln vor dem Einbau geprüft werden. Mir wäre an einer gewissen Homogenität der Normen sehr gelegen. Wir benötigen nämlich vergleichbare Bezugsgrößen für die verschiedenen Prüfverfahren, um sicherzugehen, dass deren Ergebnisse einen echten Aussagewert haben. Daran fehlt es zur Zeit allerdings noch.

Obwohl wir versuchen sollten, die Zahl der Prüfverfahren zu verringern, meine ich nicht, dass wir uns nur auf ein einziges Prüfverfahren innerhalb der KEG festlegen sollten. Würden wir ein einziges Prüfverfahren als verbindlich vorschreiben und alle anderen ausschliessen, so würde sich ein solches Vorgehen - dessen bin ich überzeugt - auf Forschung und Entwicklung nachteilig auswirken. Doch sollten wir dauernd bestrebt sein, unsere Prüfverfahren zu verbessern. Auf jeden Fall sollten wir ganz entschieden versuchen, vergleichbare Daten zu gewinnen; auch sollten die Ergebnisse innerhalb unserer jeweiligen Prüfverfahren nicht zu unterschiedlich ausfallen. Mich beunruhigt beispielsweise, dass die mit den Kernkondensationsverfahren und die mit dem britischen Natriumchlorid-Prüfverfahren erzielten Leckwerte, über die in diesem Seminar berichtet wurde, so wenig übereinstimmen.

Ich würde es begrüßen, wenn die KEG ein Forschungsinstitut davon überzeugen könnte, sämtliche Prüfverfahren, von denen wir hier gehört haben, zu studieren, d.h. es würden ein Kernkondensations-, ein DOP-, ein Oelfaden-, ein Natriumchloridtest und sonstige vorgeschlagene Prüfverfahren von Fachleuten gleichzeitig - oder vielmehr innerhalb von ein bis zwei Tagen - in demselben Institut durchgeführt werden. Die Ergebnisse würden geprüft und veröffentlicht werden, damit sie von allen Interessenten eingesehen werden können. Ein solcher Vergleichstest wäre zwar kostspielig, jedoch meine ich, dass wir nicht darauf verzichten können, wenn wir uns ein sachliches Urteil bilden wollen.

Ausserdem hat mich beunruhigt, dass wir offenbar nicht viel über den Durchlassgrad bei hoher relativer Luftfeuchte - d.h. über 95 % wissen. Ebensovienig verfügen wir über ein Prüfverfahren bei hohen Temperaturen. Die Filter werden geprüft, hochgeheizt, gekühlt und bei Raumtemperatur erneut geprüft; dies ist aber nicht das gleiche wie eine Prüfung bei hohen Temperaturen. Daher sollten wir eine Hochtemperatur-Prüfung und eine Prüfung bei hoher Luftfeuchte unter von Experten vereinbarten Bedingungen entwickeln.

Wir sollten eine Entscheidung über die Häufigkeit der erforderlichen Wiederholungsprüfungen sowie darüber herbeiführen, wem wir die In-situ-Prüfungen anvertrauen. Ich vertrete die Auffassung - zu der ich zugegebenermassen hauptsächlich bei Prüfungen im nichtkerntechnischen Bereich gelangt bin -, dass es sinnvoller ist, ein kleines Team unabhängiger Fachleute einzusetzen, die von einer Anlage zur anderen reisen, als ein zur Anlage selbst gehörendes Team. Man mag diesbezüglich eine andere Meinung vertreten, jedoch möchte ich wiederholen was auf diesem Seminar mehr als einmal festgestellt wurde, nämlich dass In-situ-Prüfungen eine grosse Erfahrung, grosse Fachkenntnisse und persönliche Integrität erfordern. Vielleicht könnte die KEG ein anderes, viel kleineres Seminar veranstalten, an dem lediglich solche Fachleute teilnehmen, die sich tatsächlich mit Filterprüfungen befassen, um die wesentlichen Einzelheiten hierfür zu klären.



R. BOULENGER

Je n'indiquerai que quelques points qui ont été cités le plus souvent lors des exposés de la 4ème session, et qui, par conséquent, vous sembleront peut-être des truismes.

Les exposés que nous avons le plaisir d'écouter ont souligné le rendement élevé des filtres, rendement excellent d'origine, mais bien souvent moins bon lors des contrôles in situ. Cette dégradation étant due, soit à la fragilité des filtres en cas de manipulation maladroite lors de leur placement, soit au manque d'étanchéité des points ou de leur siège, soit au manque d'étanchéité des gaines et vannes de "by pass". Ceci souligne évidemment la nécessité des mesures après installation des filtres. On rappelle que pour éliminer les inconvénients de ces maladroites, il est utile d'employer du personnel formé pour le placement des filtres.

Certaines difficultés sont apparues concernant les méthodes de test in situ, par exemple :

- le risque de diminuer l'efficacité ou la durée de vie des filtres lors de certains de ces tests, ou de diminuer le rendement des filtres associés, comme les filtres à iode
- le risque de corrosion des gaines provenant de la matière utilisée lors du test
- les risques d'incendie liés à la méthode de production de l'aérosol d'essai
- la lenteur de certaines méthodes due à des mesures différées.

Ceci souligne l'intérêt d'une étude de comparaison des méthodes de mesures permettant, peut-être, la mise au point d'une méthode évitant les inconvénients observés.

L'une des idées fréquemment entendue, est de diminuer les frais des installations de filtrations, par exemple pour l'air des locaux, en augmentant la durée de vie des filtres, soit par l'usage de pré-filtres, soit en améliorant la filtration de l'air de pulsions dans les locaux.

Pour prolonger la durée de vie de filtres donnés à une corrosion par produit chimique ou par humidité, il est utile d'étudier des filtres spéciaux résistants aux agents corrosifs ou de faire précéder les filtres de dispositifs d'élimination de ces agents corrosifs. Les circuits de ventilation des locaux doivent évidemment être le plus possible séparés des circuits de ventilation des appareils dégageant des produits corrosifs.

Les filtres doivent être prévus en fonction de leur conditionnement comme déchets après leur emploi. Les filtres électrostatiques utilisés comme pré-filtres devraient permettre la récupération des matières actives ou leur conditionnement sous le volume minimum puisque n'étant pas additionnés de la matière inactive des filtres.

Lors de la conception des installations de ventilation, il doit être tenu compte des impératifs de la mesure in situ permettant le contrôle de la qualité de l'installation.

J'ai cru utile de rappeler les points qui me semblent avoir été les plus fréquemment cités, principalement dans les exposés de la 4ème session.

R. BOULENGER

I shall mention only a few points, those which have been mentioned most frequently in the papers of the 4th session, and which consequently may appear to you to be truisms.

The papers we had the pleasure of hearing have emphasized the high efficiency of filters, which is, as manufactured, excellent but is very often less satisfactory on testing in situ. This deterioration arises from the fact that the filters are easily damaged if clumsily handled when being installed, from leakage at joints or seatings, or from leakage in bypass ducts and valves. This obviously emphasizes the need for measurements to be taken after the filters are installed. To avoid problems of rough handling trained personnel should be used to install filters.

Certain difficulties have arisen in connection with in-situ test methods, e.g. :

- the danger of reducing the efficiency or the service life of the filters while carrying out certain tests, or of reducing the efficiency of associated filters, such as iodine filters;
- the risk of ducts being corroded by the substance used in the test;
- the fire hazard associated with the method used for the production of the test aerosol;
- the delay in certain methods caused by the lack of direct readings.

This emphasizes the usefulness of a comparative study of test methods possibly enabling the development of a method which would obviate the present difficulties.

One idea which is frequently mentioned is that of reducing the costs of filtration systems, for example for room air, by increasing the life of the filters, either by using prefilters or by improving the filtration of the supply air.

To prolong the life of filters subjected to corrosion from a chemical substance or humidity, it is useful to examine special filters resistant to corrosive agents, or to install upstream of the filters devices to eliminate these corrosive agents. Building ventilation system must obviously be divorced so far as possible from ventilation systems for equipment which releases corrosive products.

Some thought must be given to the waste-processing of spent filters. Electrostatic precipitators used as prefilters should allow the recovery or processing of radioactive substances in minimum-volume conditions because they do not introduce non-radioactive filter material.

In designing ventilation systems account must be taken of the requirements of in situ measurement for monitoring the performance of the installation.

I thought that it would be useful to repeat the points which it seemed to me had been most frequently raised, mainly in the papers given in the 4th session.

R. BOULENGER

Ich möchte hier nur auf einige Punkte eingehen, die in der vierten Sitzung immer wieder erwähnt wurden und Ihnen daher vielleicht als Binsenweisheit erscheinen mögen.

In den Vorträgen, die wir gehört haben, wurde die hohe Abscheideleistung der Filter hervorgehoben, die anfangs ausgezeichnet, nach den In-situ-Prüfungen jedoch oft schlechter ist. Dieser Leistungsabfall ist entweder auf die Anfälligkeit der Filter bei unsachgemässer Handhabung während des Einbaus, auf geringe Dichtigkeit der Befestigungsstellen oder schlechten Sitz oder auch auf unzureichende Dichtigkeit der By-pass-Leitungen und -Ventile zurückzuführen. Dies schon macht die Notwendigkeit von Messungen nach dem Filtereinbau verständlich. Um die aus solchen Misslichkeiten erwachsenden Nachteile auszuschalten, ist es zweckmässig, nur geschultes Personal mit dem Filtereinbau zu beauftragen.

Einige Schwierigkeiten sind bei den In-situ-Prüfverfahren aufgetreten, beispielsweise:

- die Gefahr, dass durch einige dieser Prüfverfahren die Abscheideleistung der Filter verringert und ihre Standzeit verkürzt wird oder dass der Abscheidegrad anderer Filter des Systems, z.B. Jodfilter, beeinträchtigt wird;
- die Korrosionsgefahr für die Wandungen durch die bei der Prüfung eingesetzten Stoffe ;
- die Brandgefahr in Zusammenhang mit gewissen Verfahren zur Erzeugung von Prüfaerosolen ;
- der Zeitaufwand bei bestimmten Verfahren, wo Messungen in gewissen zeitlichen Abständen durchgeführt werden.

Dies unterstreicht die Bedeutung, die einer vergleichenden Untersuchung über die Messverfahren zukäme, die vielleicht die Entwicklung eines Verfahrens ermöglichen würde, mit dem sich die festgestellten Nachteile vermeiden lassen.

Eine der häufig vorgetragenen Ideen richtet sich auf die Senkung der Kosten der Filteranlagen. Dies könnte beispielsweise für die Abluftanlagen der Betriebsräume durch Erhöhung der Filterstandzeiten, und zwar durch Einsatz von Vorfiltern oder durch Verbesserung der Zuluftfilterung in den Betriebsräumen erreicht werden.

Um die Standzeit von Filtern zu verlängern, die der Korrosion durch chemische Substanzen oder durch Feuchtigkeit ausgesetzt sind, ist es zweckmässig, korrosionsfeste Spezialfilter zu entwickeln oder den Filtern Vorrichtungen zur Abscheidung der aggressiven Substanzen vorzuschalten. Selbstverständlich müssen die Lüftungskreisläufe der Betriebsräume möglichst von den Lüftungskreisläufen getrennt werden, in denen sich Anlagenteile befinden, die korrosive Stoffe freisetzen.

Die Filter sind nach ihrem Einsatz und entsprechender Zubereitung als Abfall anzusehen. Mit Hilfe der als Vorfilter benutzten elektrostatischen Abscheider müssten sich die aktiven Stoffe zurückgewinnen und zu einem minimalen Volumen zubereiten lassen, da sie in diesem Falle nicht dem inaktiven Filtermedium zugesetzt werden.

Bei der Konzeption von Lüftungsanlagen sind die Sachwänge der für die Qualitätskontrolle der Anlage erforderlichen In-situ-Messungen zu berücksichtigen.

Es erschien mir zweckmässig, die Punkte hervorzuheben, die in den Vorträgen der vierten Sitzung am häufigsten erwähnt wurden.



M.W. FIRST

Mr. Hampe has asked me to concentrate my remarks on future needs for research and development. I have noticed over the years that this special request is frequently made to those in the academic field. There must be a widespread impression that there is an especially clear crystal ball at the top of the ivory tower. However, I do not claim to have a clearer ball than anyone else and all I can offer is my own list of research priorities.

The systems approach to air-cleaning, as outlined by Mr. Elliot, is, I think, a very important point. Originally, our concerns were centred on containment and this led quite naturally to the HEPA filters we know today. With all their faults, and we have heard a good deal about them the past several days they are extraordinarily effective devices. Now, however, concern has shifted to problems concerned with waste disposal and, therefore, new criteria have been introduced that make our current technology less relevant to future requirement.

Therefore, I believe we need a renewed research effort that includes rigorous cost-benefit analyses to develop alternative systems. By "systems" I mean entire air cleaning installations, from beginning to end, and from production to disposal. It is anticipated that cost-benefit guidance will make it possible for us to seek out those areas where we need to make future changes in order to improve greatly our systems in effectiveness and in cost.

In addition, I think there has been a very definite sense in this Seminar, which I share, that we need vastly improved prefilters for the HEPA filters we will probably continue to use for the foreseeable future. We need pre-filters that will give us longer life, less waste volume for subsequent storage, and greater protection of the HEPA filters from fire, from over-pressure, and from all the other conditions that produce deterioration. In this connection, what is the future of electrostatic precipitation, either conventional units or some of the exotic types that we have heard about? It seems to me that for accident containment, these devices are too complex, too difficult to maintain, and, perhaps, too bulky. But they may have an excellent field of application for fuel reprocessing, waste disposal, and other applications of a continuing nature where routine maintenance and repair of all the equipment is accepted as a natural part of the process. I think this is the area where our research efforts with respect to electrostatic enhancement or collection should be concentrated.

The current standards for rig-tests and in-situ tests are based on the state of technology at the time these standards were proposed. I mean to suggest that there is nothing magic about the numbers we now employ. "99.97%" is not a physical law of nature that we must adhere to. As a matter of fact, as you are probably well aware, the first rig standard for HEPA filters was 99.95%. This represented at that time the state of the art, i.e., these were the kinds of filters that our manufacturers could deliver. Later, it was found that the technology had improved greatly, principally through the development of new and better papers, and so the acceptance level was raised to 99.97%. What is the origin of our leak test standard of 99.95%?

I wish I could give an answer. I have asked many people why they selected that number and I have not been enlightened in any way. Obviously, this represented the state of the art at the time this number was developed. Currently, filters of much better quality are being produced. Should our standard be raised to 99.99 % ? I think it should and, if you agree with me, should our test methods be made sensitive enough to test filters of this higher quality ? If we raised the minimum standard to 99.99 %, would Mr. Bellamy and his associates at the U.S. Nuclear Regulatory Commission be willing to give the reactor more than 99 % credit, perhaps 99.9 % for the protection factor of their filters ? Would not this help us to reassure the public about the safety of nuclear energy and should not we, as experts in this field, take it upon ourselves to insist upon the highest possible standard of safety for our workers and the public ? Here is a study area which I would recommend very highly, not only to the European Commission but also to our own United States Nuclear Regulatory Commission. I think we can improve our safety by a considerable factor by insisting on using the best possible manufactured items that we can get.

Questions came up at this Seminar between the use of sand filters and HEPA filters and this same question has come up in all Air Cleaning Conferences of recent memory. Obviously, there are partisans on both sides. I believe we need an evaluation of the special features of application of these two very different aerosol cleaning devices so that we can define for all of us where each may be used to best advantage. Does the sand filter have special application to liquid metal fast breeder reactors, as Mr. Böhm has suggested to us today ? We should find out what will be the fate of collected sodium under conditions of high humidity once it has entered the sand filter. And what about unreacted sodium that might combine with water to form hydrogen in the sand filter ? These important factors are certainly deserving of a great deal of research to determine which shall be the filters of the future for this kind of reactor.

At the Harvard Air Cleaning Laboratory, we are currently working on moving granular beds for special application to waste incineration. These beds have certain properties shared by stationary granular beds, such as resistance to heat, to shock, to fire, and to many other common hazards. Further, they can be cleaned, the collected material removed and concentrated, and the cleaned granular beds returned to service. We have been particularly intrigued by the possibility of not only using moving granular beds as high efficiency particulate filters but also as efficient and effective heat exchangers. By this means, we may be able to use the moving granular bed as a pre-filter and heat sink and then send the partially cleaned and cooled gases to the HEPA filters for final cleaning before emission to the atmosphere. We think such studies are most certainly deserving of a great deal of attention in the field of waste disposal, one of the areas we are least prepared to cope with at the present time.

During the last part of our final session, we heard a little about another area that requires a great deal of research. That is, to develop appropriate challenge aerosols and new particle detection systems capable of measuring the efficiency of two, three, or even four HEPA filters in series. As we have heard, it is not satisfactory to assume that the efficiency of filters in series will increase according to a logarithmic decrement because the aerosol characteristics change from filter to filter in the train.

In addition, it will be obvious from Mr. Frigerio's presentation that demonstrated efficiency discontinuities of processing plant filters are in urgent need of resolution through research; and more particularly, research of the special filtration properties of heavy elements that seem to go through multiple HEPA filters in many astonishing ways. It has been suggested that recoil energy effects may be a factor and it has been suggested there may be influences from local fission heating, or moisture carry-through; but these questions have not been resolved and I think that none of us will rest easy with regard to our reprocessing plants until these questions have been resolved satisfactorily.

Another point on which we would like to have more information and on which we should conduct more research is whether test dust particle size makes any difference in an in-situ leak test. If the answer is, "Yes", at what point does aerosol size become important? Is the size only important for a light-scattering detection method but not for a weight method? This brings us to the matter of in-situ filter qualification or acceptance testing as a substitute for pretesting filters before installation. Mr. Pradel has stated (I believe I quote him correctly) that we should do acceptance testing in-situ and this is quite different from a leak test, as we have discussed during the course of the Seminar. I would like to suggest that we do need research on this question of whether we can substitute in-situ qualification tests for the other kind of tests that we currently employ both at the manufacturer's establishment and, in the United States, at filter retest stations - a very costly and, at times, troublesome activity. And so, I believe we do need research at the present time on how to differentiate clearly between acceptance tests of filter quality and leak tests for installation quality.

Mr. Dorman has suggested a test round-robin of all the various methods that are being used for in-situ testing of filters and I think this has a lot of merit. I would like to suggest, first and foremost, that the initial task should be the establishment of performance criteria. I believe criteria must be established in the beginning because each test aerosol challenges filters in a different way and each analytical instrument analyses a different quality of the filter. Unless this is the first order of business, I believe that the round-robin testing program will give us a large number of comparative figures which we will be unable to deal with because we will not know how to put them in the proper slots for analysis.

A matter which has come up frequently in the course of the four days of the Seminar has been the effect of paraffin oil and DOP on charcoal filters that follow HEPA filters. In the United States, the experts tell us that when the DOP test is properly conducted so that it is a brief test, the amount of DOP that will be deposited on the charcoal bed will be insignificant, even when the test is repeated at intervals of three or six months, and it is not anticipated that the charcoal will be degraded significantly over the life of the system. In Germany, paraffin oil is used as a substitute for DOP and perhaps the situation is different for this material than for DOP, but I think the last word has not been said on this subject since it is such a sensitive one; one that generates a great amount of controversy and opinion that is not backed up with much objective evidence in Europe or the United States.

I believe this is a topic very worthy of research and I think it is an urgent one. The use of bypass dampers to prevent the entrance of DOP or paraffin oil into charcoal units has proven, in the United States at least, to be the wrong approach. Bypass dampers simply do not function adequately.

I have one final recommendation for research. I think, perhaps, it is minor in comparison to those I have already mentioned. Several times during our proceedings we have been told that the test can be made more sensitive by increasing the concentration of the challenge aerosol, i.e., if we want larger downstream values, we can double the test aerosol concentration, or triple it, or quadruple it. Presumably, if we increase it ten times, we will make an order of magnitude improvement on the amount that we can detect on the downstream side. Well, perhaps. I would submit, however, that when we change the aerosol characteristics with regard to concentration we change the filterability of the aerosol. We may even change the characteristics of the aerosol through size changes by way of agglomeration and other effects. So if it is necessary to get more sensitivity from tests and the only way to do it is to increase greatly the concentration of the aerosol, I would humbly suggest that it is an area that urgently needs research before we accept this as a valid method for improving our test ability.

I might add, I am a little astonished, and perhaps a little skeptical, when I see field test results expressed to five significant figures. I have noticed that most of the reported research results were a little more modest; being confined to three and at the most four significant figures. It seems to me that field testing needs to be looked at a little more closely if we are going to present figures of that degree of significance for examination.

M.W. FIRST

M. Hampe m'a demandé de limiter mes remarques aux besoins futurs en matière de recherche et de développement. Au cours des années, j'ai noté que l'on adressait fréquemment cette requête aux universitaires. Sans doute a-t-on l'impression que la boule de cristal est particulièrement translucide au sommet de la tour d'ivoire. Toutefois, je n'ai pas la prétention d'en savoir plus qu'un autre, et la seule chose que je puisse proposer, c'est ma propre liste de priorités en matière de recherche.

La manière de concevoir les systèmes d'épuration de l'air, comme l'a souligné M. Elliot, est à mon avis un point très important. A l'origine, nos préoccupations étaient surtout axées sur le confinement, ce qui nous a conduit tout naturellement aux filtres HEPA que nous connaissons aujourd'hui. Malgré tous leurs défauts - et il en a été longuement question ces jours derniers - ce sont des appareils extraordinairement efficaces. Mais maintenant ce sont plutôt les problèmes de destruction des déchets qui retiennent l'attention, c'est pourquoi de nouveaux critères ont été établis qui rendent notre technologie actuelle moins adaptée aux exigences futures.

Je pense donc que nous devons renouveler nos efforts en matière de recherche en procédant à des analyses rigoureuses coût-profit pour la mise au point d'autres systèmes. Par "systèmes" j'entends des installations complètes d'épuration d'air, du début jusqu'à la fin et de la production à la destruction. Nous pensons que des analyses coût-profit nous permettront de découvrir les domaines où nous devons procéder à des modifications en vue d'améliorer considérablement nos systèmes sur le plan de l'efficacité et des coûts.

Je pense en outre que ce séminaire a mis en évidence une orientation bien définie, que j'approuve, à savoir : nous avons besoin de préfiltres très améliorés pour les filtres HEPA que nous continuerons probablement d'utiliser dans un proche avenir. Nous avons besoin de préfiltres pour prolonger la durée d'utilisation des filtres, diminuer le volume des déchets pour stockage ultérieur et assurer une meilleure protection des filtres HEPA contre le feu, la surpression et toutes les autres causes de détérioration. A ce propos, quel est l'avenir de la précipitation électrostatique : des unités classiques ou certains des types spéciaux dont nous avons entendu parler ? Il me semble que dans le cas d'un confinement accidentel, ces appareils sont trop complexes, trop compliqués à entretenir, et peut-être trop encombrants. Mais ils peuvent être parfaitement utilisés pour le retraitement des combustibles, l'élimination des déchets et d'autres usages permanents pour lesquels l'entretien et les réparations de routine de tout l'équipement sont reconnus comme faisant normalement partie du procédé. Il me semble que c'est dans ce domaine que nos efforts de recherche concernant l'amélioration des procédés électrostatiques devraient se concentrer.

Les normes courantes pour les tests en laboratoire et les tests in-situ se fondent sur l'état de la technique au moment où ces normes ont été proposées. Je veux dire que les chiffres que nous employons actuellement, n'ont rien de magique. "99,97 %" n'est pas une loi physique de la nature à laquelle nous devons souscrire. En réalité, comme vous le savez probablement, la première norme fixée en laboratoire pour les filtres HEPA était de 99,95 %. A cette époque, ce chiffre reflétait l'état de la technique, c'est-à-dire, qu'il s'agissait là des types de filtres que nos fabricants pouvaient livrer. Plus tard, il a été constaté que la technologie s'était considérablement améliorée surtout grâce à la mise au point de nouveaux papiers de meilleure qualité et la norme de réception est ainsi passée à 99,97 %. D'où vient notre norme de 99,95 % pour le contrôle détaché ?

Je souhaiterais pouvoir donner une réponse. J'ai demandé à beaucoup de gens pourquoi ils avaient retenu ce chiffre et leur réponse ne m'a éclairé en aucune façon. Manifestement, ce chiffre correspondait à l'état de la technique à l'époque où il a été fixé. Actuellement, on fabrique des filtres de bien meilleure qualité. Devrait-on élever notre norme à 99,99 % ? Je le pense et, si vous êtes d'accord avec moi, la sensibilité de nos méthodes de contrôle ne devrait-elle pas être élevée pour tester des filtres de cette qualité supérieure ? Si nous portons la norme minimale à 99,99 %, M. Bellamy et ses collaborateurs de la U.S. Nuclear Regulatory Commission seront-ils prêts à créditer la protection assurée par les filtres d'un réacteur de plus de 99 %, peut-être 99,9 % ? Cela ne nous aiderait-il pas à rassurer le public quant à la sûreté de l'énergie nucléaire et ne devrions-nous pas, en tant qu'experts dans ce domaine, prendre la responsabilité d'exiger la norme de sûreté la plus élevée possible pour nos travailleurs et le public ? C'est là un domaine d'étude que je recommande fortement non seulement à la Commission européenne mais également à notre United States Nuclear Regulatory Commission. Je pense que nous pouvons accroître considérablement notre sûreté en exigeant l'utilisation des meilleurs appareils possibles que l'industrie peut nous fournir.

Pendant ce séminaire, des questions ont été posées à propos de l'emploi de filtres à sable et de filtres HEPA et cette même question a été soulevée au cours des récentes Air Cleaning Conferences. Manifestement, il y a des partisans des deux côtés. J'estime que nous avons besoin d'une évaluation des caractéristiques spécifiques d'utilisation de ces deux types très différents d'appareils d'épuration d'aérosols de façon à pouvoir définir, dans l'intérêt général, les conditions dans lesquelles chacun des deux appareils peut être utilisé au mieux. Le filtre à sable s'applique-t-il spécialement aux réacteurs surgénérateurs rapides à métal liquide ainsi que nous l'a suggéré aujourd'hui M. Böhm ? Il nous faut déterminer ce qu'il advient du sodium collecté dans des conditions de grande humidité une fois entré dans le filtre à sable. Et que dire du sodium qui n'a pas réagi et qui peut se combiner à l'eau pour former de l'hydrogène dans le filtre à sable ? Ces facteurs importants méritent certainement un grand nombre de recherches en vue de déterminer les filtres utilisables à l'avenir pour ce type de réacteurs.

Au Harvard Air Cleaning Laboratory, nous travaillons actuellement sur des lits de matériaux granuleux flottants, en vue d'être utilisés spécialement pour l'incinération des déchets. Ces lits ont certaines propriétés qu'ils partagent avec les lits de matériaux granuleux immobiles tels que résistance à la chaleur, aux chocs, au feu et à beaucoup d'autres risques courants. En outre, ils peuvent être épurés - on enlève et collecte les déchets recueillis et concentrés - puis être remis en service. Nous nous sommes en particulier intéressés à la possibilité d'utiliser des lits flottants de matériaux granuleux mobiles non seulement comme filtres à particules à rendement élevé mais aussi comme échangeurs efficaces de chaleur. Ainsi, il se peut que nous soyons à même d'utiliser le lit de matériaux granuleux flottants comme pré-filtre et absorbeur de chaleur et d'envoyer ensuite les gaz refroidis et partiellement épurés vers les filtres HEPA pour épuration définitive avant émission dans l'atmosphère. A notre avis, ces études méritent très certainement une attention particulière dans le domaine de l'élimination des déchets, un des domaines auxquels nous sommes le moins prêts à faire face actuellement.

Pendant la dernière partie de notre session finale, il a été un peu question d'un autre domaine qui requiert une somme importante de recherches, à savoir la mise au point d'aérosols témoins adéquats et de nouveaux systèmes de détection des particules capables de mesurer l'efficacité de deux, trois ou même quatre filtres HEPA en série.

Comme nous l'avons entendu dire, il ne faut pas penser que l'efficacité de filtres en série augmente conformément au décrétement logarithmique car les caractéristiques des aérosols varient de filtre à filtre dans le montage. En outre, il ressort clairement de l'exposé de M. Frigerio qu'il est urgent de rechercher une solution au problème des discontinuités d'efficacité trouvées pour les filtres des installations de traitement, et plus particulièrement de rechercher les qualités spécifiques de filtrage d'éléments lourds, qui, étonnamment diversement, semblent traverser de nombreux filtres HEPA. Il a été suggéré que cela pouvait provenir de l'effet de l'énergie de recul et aussi de l'influence de la chaleur de fission locale ou de l'humidité présente; mais ces questions n'ont pas été résolues et je pense qu'en ce qui concerne nos usines de retraitement, aucun de nous ne dormira sur ses deux oreilles tant que ces questions n'auront pas trouvé de solution satisfaisante.

Un autre point sur lequel nous aimerions avoir de plus amples informations et, sur lequel, nous devrions orienter davantage nos recherches, est de savoir si les résultats des contrôles d'étanchéité in situ dépendent de la granulométrie de l'aérosol employé. Si la réponse est "oui", à quel point la granulométrie joue-t-elle un rôle ? N'a-t-elle d'importance que pour les méthodes de détection par diffusion de la lumière et non pour les méthodes pondérales ? Cela nous amène au problème du contrôle in-situ des caractéristiques du filtre ou contrôle de réception à la place du test préalable des filtres avant placement. M. Pradel a déclaré (je pense le citer correctement) que nous devrions procéder à un test de réception in-situ, ce qui est très différent d'un test d'étanchéité ainsi que nous en avons discuté au cours du séminaire. Je suggère que des recherches soient faites sur la question de savoir si nous pouvons remplacer par des tests de qualification in-situ, par les autres tests couramment utilisés chez le fabricant et, aux USA, dans les centres de recontrôle des filtres procédure très onéreuse et parfois difficile. Je crois donc que des recherches doivent être faites à présent sur la façon de différencier clairement les tests de réception, pour la qualité du filtre, et les tests d'étanchéité, pour la qualité de l'installation.

M. Dorman a suggéré un test "circulaire" des différentes méthodes utilisées pour des contrôles in-situ de filtres et c'est je pense, une idée très intéressante. A mon avis, la toute première tâche devrait être de dresser la liste des critères de performance. Je pense que les critères doivent être établis dès le départ car chaque aérosol d'essai sollicite les filtres d'une façon différente et chaque instrument d'analyse étudie une qualité différente du filtre. Si nous ne procédons pas dans cet ordre, je crains que le programme de tests "circulaires" ne nous fournisse un grand nombre de chiffres comparables que nous serons incapables d'exploiter car nous ne saurons pas comment les utiliser à bon escient pour l'analyse.

Une question fréquemment posée au cours des quatre jours de ce séminaire concerne l'effet de l'huile de paraffine et du DOP sur les filtres à charbon actif en aval des filtres HEPA. Aux Etats-Unis, les experts nous disent que lorsque le contrôle au DOP est effectué correctement de façon à être bref, la quantité de DOP qui se dépose sur la couche de charbon actif est insignifiante même si le contrôle est répété à intervalles de 3 ou 6 mois et il n'est pas prévu de dégradation significative du charbon actif pendant toute la durée de vie du système. En Allemagne, l'huile de paraffine est utilisée à la place du DOP et la situation est peut-être différente pour ce matériau mais je pense que nous n'avons pas dit notre dernier mot sur ce sujet car c'est un sujet très discuté ; il donne lieu à un certain nombre de controverses et d'opinions diverses qui ne sont pas étayées par un nombre suffisant de preuves objectives en Europe et aux Etats-Unis.

Je crois qu'il y a là matière à des recherches qui, je le pense, ont un caractère urgent. L'utilisation de clapets by-pass pour faire obstacle à la pénétration de DOP ou d'huile de paraffine dans le charbon actif n'a pas donné, aux Etats Unis tout au moins, les résultats escomptés. Les clapets by-pass ne fonctionnent pas correctement.

J'ai à faire une recommandation finale concernant la recherche. Elle est peut-être mineure en comparaison de celles que j'ai déjà faites. A plusieurs reprises au cours des débats, il nous a été dit que l'on pouvait accroître la sensibilité du contrôle en augmentant la concentration de l'aérosol témoin, c'est-à-dire, que si l'on souhaite obtenir des valeurs d'aval plus grandes, nous pouvons doubler, tripler ou quadrupler la concentration de l'aérosol d'essai. Il est probable que si nous la multiplions par 10, l'augmentation d'amplitude sera telle que l'on pourra la détecter en aval. C'est fort possible. Cependant, j'aimerais dire que si nous modifions les caractéristiques de concentration de l'aérosol, nous modifions également la capacité de filtration de l'aérosol. Nous pouvons même changer les caractéristiques de l'aérosol par modification de la taille des particules, par agglomération ou autres phénomènes. Ainsi, s'il s'avère nécessaire de procéder à des contrôles plus sensibles, et si la seule façon d'y parvenir consiste à augmenter considérablement la concentration de l'aérosol, je suggère humblement que ce domaine fasse d'urgence l'objet de recherches avant de considérer que cette méthode fournit une amélioration valable de nos possibilités de contrôle.

Je me permettrai d'ajouter que je suis un peu étonné et même un peu sceptique quand je vois les résultats de tests in-situ exprimés en 5 chiffres significatifs. J'ai remarqué que la plupart des résultats de recherche présentés étaient un peu plus modestes, se limitant à 3 et au plus 4 chiffres significatifs. Il me semble qu'il est nécessaire de regarder d'un peu plus près ces contrôles in-situ si nous voulons présenter, pour examen, des chiffres ayant ce degré de signification.



M.W. FIRST

Herr Hampe bat mich, meine Bemerkungen auf künftige Aufgaben im Bereich Forschung und Entwicklung zu konzentrieren. Viele Jahre hindurch habe ich bemerkt, dass diese besondere Bitte häufig an die im akademischen Bereich tätigen Personen herangetragen wird. Offenbar ist die Ansicht verbreitet, dass sich auf der Spitze des Elfenbeinturms eine besonders klare Kristallkugel befindet. Ich nehme für mich keineswegs in Anspruch, klarere Vorstellungen als irgend jemand anders zu haben; alles was ich anbieten kann, ist daher nur als meine eigene Liste von Forschungsprioritäten zu verstehen.

Der Systemansatz für die Luftreinigung, wie ihn Herr Elliot ausgeführt hat, ist meines Erachtens ein sehr wichtiger Punkt. Ursprünglich konzentrierte sich unsere Besorgnis auf den Sicherheitseinschluss, und dies hat ganz natürlich zu den uns heute bekannten HEPA-Filtern geführt. Mit all ihren Fehlern - und wir haben in den letzten paar Tagen sehr viel darüber gehört - sind sie trotzdem Vorrichtungen mit einem aussergewöhnlich hohen Wirkungsgrad. Nun hat sich jedoch die Besorgnis auf Probleme im Zusammenhang mit der Abfallbeseitigung verlagert und daher wurden neue Kriterien eingeführt, nach denen unsere jetzige Technologie den künftigen Erfordernissen nicht genügend zu entsprechen scheint.

Daher glaube ich, dass wir neue Forschungsbemühungen brauchen, die rigorose Kosten-Nutzen-Analysen einbeziehen, um Alternativsysteme zu entwickeln. Unter "Systemen" verstehe ich komplette Luftreinigungsanlagen, vom Anfang bis zum Ende, von der Herstellung bis zur Endbeseitigung. Es ist damit zu rechnen, dass wir, gestützt auf die Kosten-Nutzen-Analyse, diejenigen Bereiche ausfindig machen können, in denen wir in der Zukunft Veränderungen durchführen müssen, um die Leistungsfähigkeit und die Rentabilität unserer Systeme erheblich zu verbessern.

Ausserdem meine ich, dass in diesem Seminar das eindeutige, auch von mir geteilte Gefühl vorherrschte, dass wir beträchtlich verbesserte Vorfilter für die HEPA-Filter brauchen, die wir doch wahrscheinlich in der näheren Zukunft weiterbenutzen werden. Wir benötigen Vorfilter, die längere Filterstandzeiten, geringere Abfallvolumen für die spätere Lagerung, grösseren Schutz der HEPA-Filter gegenüber Brand, Ueberdruck und allen sonstigen Bedingungen, die zur Beschädigung der Filter führen können, ermöglichen. Welche Zukunft hat in diesem Zusammenhang die elektrostatische Abscheidung entweder mit konventionellen Geräten oder mit einigen der ausgefallenen Bauarten, von denen hier berichtet wurde? Mir scheint, dass diese Vorrichtungen für die Abgrenzung von Störfallfolgen zu kompliziert, zu schwer zu warten und vielleicht zu sperrig sind. Sie könnten jedoch bei der Brennstoffaufarbeitung, der Abfallbeseitigung und anderen Anwendungen, bei denen eine regelmässige Wartung und Reparatur der gesamten Anlage als ein selbstverständlicher Teil des Prozesses akzeptiert ist, eingesetzt werden. Ich meine, dass sich unsere Forschungsbemühungen in bezug auf die elektrostatische Verstärkung und Abscheidung hierauf konzentrieren sollten.

Die gültigen Normen für Labor- und In-situ-Prüfungen beruhen auf dem Stand der Technik zum Zeitpunkt, zu dem diese Normen vorgeschlagen wurden. Damit will ich sagen, dass sich hinter den von uns benutzten Zahlen nichts Magisches verbirgt. "99,97 %" ist kein physikalisches Naturgesetz, an das wir uns halten müssen. Tatsächlich war - wie Sie vielleicht wissen - die erste Labornorm für HEPA-Filter 99,95 %. Dies entsprach dem damaligen Stand der Technik, d.h. so waren die Filter beschaffen, die unsere Hersteller liefern konnten. Später wurde festgestellt, dass sich die Technik hauptsächlich durch die Entwicklung neuer und besserer Papiere beträchtlich verbessert hatte, so dass der Abnahmewert auf 99,97 % erhöht wurde. Worauf ist nun unsere Norm für Leckprüfungen von 99,95 % zurückzuführen?

Ich wollte, ich könnte Ihnen diese Frage beantworten. Ich habe viele Leute gefragt, warum sie diese Zahl gewählt haben und erhielt keinerlei Aufschluss darüber. Offensichtlich entsprach sie dem Stand der Technik zu dem Zeitpunkt, als dieser Wert festgelegt wurde. Zur Zeit werden weitaus bessere Filter hergestellt. Sollte unsere Norm daher auf 99,99 % angehoben werden? Ich meine schon, und - vielleicht stimmen Sie mir darin zu - sollten unsere Prüfverfahren dann nicht so empfindlich sein, dass Filter dieser höheren Qualität damit geprüft werden können? Wenn wir die Mindestnorm auf 99,99 % anheben würden, wären Herr Bellamy und seine Kollegen von der US Nuclear Regulatory Commission bereit, dem Reaktor mehr als 99 %, vielleicht sogar 99,9 % als Sicherheitsfaktor für die Filter zuzubilligen? Könnte uns das nicht helfen, die Öffentlichkeit über die Sicherheit der Kernenergie zu beruhigen und sollten wir als Fachleute auf diesem Gebiet es nicht auf uns nehmen, auf die höchstmöglichen Sicherheitsnormen für unsere Arbeiter und die Bevölkerung zu pochen? Nicht nur der Europäischen Kommission, sondern auch unserer eigenen United States Nuclear Regulatory Commission möchte ich sehr ans Herz legen, sich mit dieser Problematik eingehend zu befassen. Ich meine, wir können unsere Sicherheit durch einen erheblichen Faktor verbessern, wenn wir auf dem Einsatz der bestmöglichen Bauteile bestehen.

In diesem Seminar wurden Fragen gestellt über den Einsatz von Sand- oder HEPA-Filtern; dieselbe Frage ist auch in sämtlichen Air Cleaning Konferenzen der letzten Zeit aufgetaucht. Offensichtlich hat jedes der beiden Filtersysteme seine Befürworter. Ich glaube, wir benötigen eine Bewertung der besonderen Anwendungscharakteristiken dieser beiden grundverschiedenen Aerosolreinigungsvorrichtungen, so dass jeder von uns entscheiden kann, wo jede Vorrichtung am vorteilhaftesten eingesetzt werden kann. Besteht für den Sandfilter eine besondere Anwendungsmöglichkeit bei flüssigmetallgekühlten schnellen Reaktoren, wie Herr Böhm heute angedeutet hat? Wir sollten Klarheit darüber erlangen, was aus dem im Sandfilter abgeschiedenen Natrium bei hoher Luftfeuchte geschieht und was aus dem freien Natrium wird, das unter Bildung von Wasserstoff im Sandfilter reagieren kann. Diese wichtigen Faktoren verdienen gewiss eine Menge Forschungsarbeit, damit man entscheiden kann, welche Filter man für die genannte Art von Reaktor künftig einsetzen soll.

Im Harvard Air Cleaning Laboratory arbeiten wir laufend mit beweglichen Sandbetten für die besondere Anwendung der Abfallverbrennung. Diese Betten haben gewisse Eigenschaften, die auch von den statischen Sandbetten geteilt werden, wie z.B. Festigkeit gegenüber Hitze, Druckbeanspruchung, Feuer und vielen anderen der bekannten Gefahren. Ferner können sie gereinigt, die abgeschiedenen Stoffe entfernt und konzentriert und die gereinigten Sandbetten von neuem eingesetzt werden. Besonders interessiert hat uns die Möglichkeit, das bewegliche Sandbett nicht nur als Schwebstofffilter hoher Abscheideleistung, sondern auch als leistungsfähigen und wirksamen Wärmeaustauscher zu benutzen. Auf diese Weise können wir unter Umständen das bewegliche Sandbett als Vorfilter und Wärmesenke einsetzen und danach die teilweise gereinigten und gekühlten Gase an die HEPA-Filter zur Endreinigung vor der Emission in die Atmosphäre weiterleiten. Unseres Erachtens verdienen derartige Untersuchungen gewiss grosse Aufmerksamkeit im Bereich der Abfallbeseitigung, einem der Bereiche, die uns z.Z. am meisten zu schaffen machen.

Am Ende unserer letzten Sitzung wurde ein anderer Bereich kurz erwähnt, in dem noch viel Forschungsarbeit zu leisten wäre, nämlich die Entwicklung geeigneter Prüfaerosole und neuer Teilchendetektoren, mit denen sich die Abscheideleistung von zwei, drei oder sogar vier hintereinander angeordneten HEPA-Filtern messen lässt.

Wie wir gehört haben, ist es nicht befriedigend anzunehmen, dass die Abscheideleistung von hintereinander geschalteten Filtern entsprechend einer logarithmischen Kurve zunimmt, da die Aerosolcharakteristik sich von Filter zu Filter innerhalb der Filterkette ändert. Ausserdem leuchtet aus dem Vortrag von Herrn Frigerio ein, dass die schwankenden Abscheideleistungen von Filtern in Aufarbeitungsanlagen dringend erforscht werden müssen; insbesondere wären Forschungen über die spezielle Filtrierbarkeit von Schwerelementen zu untersuchen, die offenbar mehrere HEPA-Filter in erstaunlicher Weise passieren können.

Es wurde darauf hingewiesen, dass hierbei die Rückstossenergie als Faktor eine Rolle spielen kann, ebenso wie Einflüsse von örtlicher Spaltungswärme oder Feuchtigkeitsbrücken; diese Fragen sind jedoch noch ungelöst, und ich meine, dieses Problem bei den Wiederaufarbeitungsanlagen wird niemanden von uns ruhen lassen, bis wir es in zufriedenstellender Weise gelöst haben.

Eine andere Frage, über die wir gerne mehr wissen möchten und die wir besser erforschen sollten, ist, ob die Grösse des Prüfaerosols bei In-situ-Leckprüfungen eine Rolle spielt. Lautet die Antwort "ja", so stellt sich die Frage, inwieweit die Grösse der Aerosolteilchen zu Buche schlägt. Spielt die Teilchengrösse nur bei dem auf dem Prinzip der Lichtstreuung beruhenden Anzeigeverfahren oder auch bei auf Wägung beruhenden Verfahren eine Rolle? Dies führt uns zum Problem der In-situ-Eignungs- oder Abnahmeprüfung der Filter anstelle von Vorprüfungen vor dem Einbau. Herr Pradel hat ausgeführt (ich glaube, ihn richtig zu zitieren), dass wir die Abnahmeprüfungen vor Ort durchführen sollten, und dies unterscheidet sich erheblich von einem Lecktest, wie wir ihn während des Seminars erörtert haben. Ich meine, dass diese Frage Gegenstand von Untersuchungen sein müsste, nämlich, ob wir In-situ-Eignungsprüfungen an die Stelle anderer Prüfverfahren setzen können, die üblicherweise beim Hersteller und, in den Vereinigten Staaten, in Filterprüfinstituten durchgeführt werden - eine sehr kostspielige und zugleich beschwerliche Tätigkeit. Daher meine ich, dass wir zur Zeit Forschungen anstellen müssen, um zu einer deutlichen Unterscheidung zwischen Abnahmeprüfungen für die Filterqualität und Leckprüfungen für die Qualität der Anlage insgesamt zu gelangen.

Herr Dorman hat Ringversuche für sämtliche verschiedenen Verfahren vorgeschlagen, die zur Zeit für In-situ-Filterprüfungen angewandt werden. Das ist, meine ich, ein sehr verdienstvoller Vorschlag. Ich möchte anregen, dass vorab Kriterien für die Beurteilung der Filterleistung erstellt werden. Ich bin nämlich der Auffassung, dass die Kriterien gleich zu Beginn vorhanden sein müssen, da mit jedem Prüfaerosol die Filter in unterschiedlicher Weise beansprucht werden und mit jedem Analyseinstrument eine andere Filtereigenschaft geprüft wird. Machen wir dies nämlich nicht ganz am Anfang, so wird uns, glaube ich, das Ringversuchsprogramm viele Vergleichszahlen liefern, mit denen wir nichts anfangen können, weil wir nicht wissen, wie wir sie für die Analyse richtig einordnen müssen.

Ein Thema, das im Laufe des viertägigen Seminars häufig angeschnitten wurde, betrifft die Wirkungen von Paraffinöl und DOP auf die HEPA-Filtern nachgeschalteten Aktivkohlefilter. In den Vereinigten Staaten sagen uns die Experten, dass wenn der DOP-Test richtig, d.h. als kurzer Test ausgeführt wird, die auf dem Aktivkohlenbett abgelagerte DOP-Menge unbedeutend ist, selbst wenn der Test in Abständen von drei oder sechs Monaten wiederholt wird, und es wird nicht erwartet, dass die Aktivkohle während der Lebensdauer des Systems nennenswert in Mitleidenschaft gezogen wird. In der Bundesrepublik Deutschland wird Paraffinöl anstelle von DOP benutzt; vielleicht ist die Lage bei dieser Substanz anders als bei DOP, doch meine ich, dass das letzte Wort in dieser heiklen Angelegenheit noch nicht gesprochen ist - eine Angelegenheit, die in Europa und in den Vereinigten Staaten zu zahlreichen Kontroversen und nicht immer objektiv begründeten Stellungnahmen geführt hat.

Daher meine ich, dass dieses Thema untersucht zu werden verdient, und zwar sehr rasch. Der Einsatz von Bypass-Schiebern, mit denen das Eindringen von DOP oder Paraffinöl in die Aktivkohle verhindert werden soll, hat sich zumindest in den Vereinigten Staaten als falscher Ansatz erwiesen, ganz einfach deswegen, weil Bypass-Schieber nicht den Anforderungen entsprechend funktionieren.

Meine letzte Forschungsempfehlung ist möglicherweise von geringerer Bedeutung als die vorerwähnten. Im Verlauf der Sitzungen ist uns mehrmals gesagt worden, dass sich die Empfindlichkeit des Prüfverfahrens durch Erhöhung der Konzentration des Prüfaerosols steigern lässt, nämlich dass wir die Konzentration des Prüfaerosols verdoppeln, verdreifachen oder vervierfachen können, sofern wir hinter den Filtern höhere Messwerte erzielen wollen. Verzehnfachen wir die Konzentration, so werden wir vermutlich die an der Abströmseite feststellbare Menge um eine Größenordnung verbessern. Nun gut, vielleicht. Ich möchte aber zu bedenken geben, dass, wenn wir die Aerosolcharakteristik durch die Konzentration ändern, wir damit die Filtrierbarkeit des Aerosols ändern. Wir können sogar die Aerosolkennwerte durch Aenderung der Partikelgrößen mittels Agglomeration oder sonstiger Effekte ändern. Ist es daher notwendig, die Empfindlichkeit der Prüfverfahren zu steigern und kann dies einzig und allein durch beträchtliche Erhöhung der Aerosolkonzentration geschehen, so würde ich bescheiden meinen, dass dies ein Bereich ist, in dem dringend Forschungen durchgeführt werden müssen, bevor wir dies als brauchbare Methode zur Verbesserung unserer Prüfverfahren akzeptieren.

After these presentations by the Chairmen some additional comments were made from the floor, the essential points from which have been summarized by the Secretariat as follows

---

General satisfaction was expressed with HEPA filter installations, pointing to an absence of incidents giving rise to significant radiological problems. Indeed, some participants felt that HEPA filters were sometimes used in situations which did not require such stringent filtration efficiencies; in particular there were doubts as to whether development of even higher guaranteed efficiencies would be appropriate.

Nonetheless, the overall design of filtration systems does deserve further attention, in such areas as accommodating in-situ test facilities at the design stage, facilitating filter and/or seal replacement, filter disposal, plutonium recovery where appropriate, and optimisation of overall system performance.

A number of different test methods are in current use and a limited amount of intercomparison data of selected methods is available. Even so, it does not yet seem possible to decide if any one method is clearly preferable to the others. More information is required on exactly what it is that each method measures in order to explain the discrepancies in results and select the method most appropriate in principle. However, practical considerations, such as cost, test risk (e.g. the effects of paraffin oil on other parts of a system or the fire hazard of the torch sometimes used to generate sodium chloride aerosols) operational convenience etc. must also be borne in mind in selecting a preferred method. Failing the possibility of using an operational system, a large scale rig may be required to carry out a comprehensive programme of controlled tests using all proposed methods.

Another area of interest is provision of filtration systems for exceptional environments. For example, for LWR accident conditions the containment filtration systems may experience large pressure stresses, high temperatures and high humidities. Again, reprocessing plant applications, in particular to dissolver off-gas systems, can give rise to conditions of entrained moisture, increased temperature, corrosive effluents, and high radiation levels. Little concrete progress appears to have been made in recent years in designing systems to meet such conditions.

It would appear that the above areas of research and development will require the co-operation of designers, manufacturers and operators in order to achieve a successful outcome.

Après les conclusions tirées par les Présidents des sessions, les participants ont fait quelques commentaires; le Secrétariat en a résumé les points essentiels ci-après

---

On relève une satisfaction générale vis-à-vis des installations pourvues de filtres HEPA, due à l'absence d'incidents ayant donné lieu à de sérieux problèmes de contamination. A vrai dire, certains participants ont le sentiment que les filtres HEPA sont parfois utilisés dans des situations qui n'exigent pas une efficacité de filtration aussi rigoureuse: des doutes sont en particulier exprimés quant à l'opportunité de mettre au point des dispositifs garantissant une efficacité encore supérieure.

Il reste que la conception d'ensemble des systèmes de filtration mérite un surcroît d'attention, dans des domaines tels que l'adaptation des dispositifs d'essai in-situ au stade de la conception, la simplification des modalités de changement du filtre et/ou du joint, l'élimination des filtres et éventuellement la récupération du plutonium, enfin l'optimisation des performances d'ensemble du système.

Un certain nombre de méthodes d'essai sont actuellement utilisées et on dispose d'un nombre limité de résultats sur les comparaisons entre les méthodes choisies. Malgré tout, il ne semble pas encore possible d'opter clairement en faveur de l'une ou l'autre méthode. Il faudrait avoir plus d'informations sur ce que chaque méthode mesure précisément pour pouvoir rendre compte des écarts constatés entre les résultats et choisir la méthode en principe la plus adéquate. Néanmoins, des considérations pratiques telles que le coût, le risque que comporte l'essai (par exemple les effets que peut avoir l'huile de paraffine sur d'autres parties d'un système, ou le danger d'incendie que comporte la torche parfois utilisée pour produire des aérosols de chlorure de sodium), les modalités opérationnelles etc. doivent également peser dans le choix et l'adoption d'une méthode. Faute de disposer d'un appareillage opérationnel, un banc d'essai de grande dimension peut être requis pour réaliser un programme complet de contrôles utilisant toutes les méthodes proposées.

Un autre secteur d'intérêt est celui de la fourniture de systèmes de filtration pour des environnements exceptionnels. Par exemple, dans des conditions d'accident de réacteur à eau légère, les systèmes de filtration de l'enceinte peuvent être soumis à de fortes contraintes de pression ainsi qu'à une température et une hygrométrie élevées. De même, pour les installations de retraitement, avec notamment les systèmes d'extraction de gaz des dissolvants, on peut rencontrer une humidité et une température accrues, ainsi que des effluents corrosifs et des niveaux de radiation élevés. Or il semble que ces dernières années il y ait eu peu de progrès réels dans la conception de systèmes visant à répondre à de telles conditions.

Im Anschluss an die zusammenfassenden Referate der Sitzungspräsidenten kamen noch einige Bemerkungen aus dem Zuhörerkreis; diese hat das Sekretariat wie folgt resümiert

---

Die Erfahrungen mit HEPA-Filteranlagen wurden durchweg zufriedenstellend bewertet, wobei unterstrichen werden konnte, dass Störfälle, die zu wesentlichen Strahlenproblemen geführt hätten, nicht zu verzeichnen waren. Einige Teilnehmer vertraten sogar die Auffassung, dass manchmal HEPA-Filter auch an solchen Stellen eingesetzt würden, wo so hohe Abscheideleistungen nicht erforderlich wären; insbesondere wurden Zweifel geäußert, ob die Entwicklung von Filtern mit noch höherer garantierter Abscheideleistung sinnvoll sei.

Nichtsdestoweniger verdient die Gesamtauslegung von Filtersystemen weiterhin Aufmerksamkeit, und zwar in bezug auf die Berücksichtigung der In-situ-Prüfmöglichkeit schon auf der Planungsstufe sowie bezüglich der Erleichterungen beim Wechsel der Filter und/oder der Filterdichtungen, bezüglich der Filterbeseitigung, ggf. auch der Plutoniumrückgewinnung sowie der Optimierung der Leistungsfähigkeit des gesamten Systems.

Eine Reihe verschiedener Prüfverfahren werden zur Zeit routinemässig angewandt; auch liegt ein begrenztes Datenmaterial für den Vergleich dieser Verfahren vor. Dennoch scheint es bisher nicht möglich zu sein zu entscheiden, ob ein Verfahren deutliche Vorzüge gegenüber den anderen aufweist. Mehr müssen wir noch darüber wissen, was jedes Verfahren eigentlich leistet, bis wir in der Lage sind, die Diskrepanzen in den Ergebnissen erklären zu können und bis wir das am besten geeignete Verfahren überhaupt auswählen können. Allerdings müssen bei der Auswahl eines bevorzugten Verfahrens auch andere Erwägungen, wie Kosten, Risikofaktoren (z.B. Wirkungen von Paraffinöl auf andere Anlagenteile oder Brandgefahr durch Brenner, die mitunter zur Erzeugung von Natriumchloridaerosolen benutzt werden), betriebliche Vor- und Nachteile usw. berücksichtigt werden.

Da ein Filtersystem einer Betriebsanlage kaum zur Verfügung stehen dürfte, kann eine Labor-Grossversuchsanlage erforderlich werden, um ein umfassendes Programm gut kontrollierter Prüfungen von Filtern, bei dem sämtliche bekannten Verfahren zum Einsatz gelangen, durchführen zu können.

Ein weiterer wichtiger Bereich ist die Bereitstellung von Filtersystemen für extreme Einsatzbedingungen. Zum Beispiel können die Sicherheitsbehälter-Filterssysteme unter LWR-Störfallbedingungen starken Druckbeanspruchungen, hohen Temperaturen und hohen Luftfeuchten ausgesetzt sein. Ausserdem können bei Anwendungen in Wiederaufarbeitungsanlagen, insbesondere bei Dissolver-Abgassystemen hohe Luftfeuchten, hohe Temperaturen, korrosive Ableitungen und hohe Strahlungspegel auftreten. In den letzten Jahren sind offenbar nur geringe konkrete Fortschritte bei der Konzeption von Systemen, die diese Bedingungen erfüllen, erzielt worden.

o

o                    o

1  
1



L I S T O F P A R T I C I P A N T S

ABRAHAMSE J.C. N.V. Provinciale Zeuwse  
Energie-Maatschappij  
P.O. Box 48  
NL - MIDDELBURG

AEPPLI J. Eidg. Amt für Energiewirtschaft  
Abteilung für die Sicherheit der  
Kernanlagen  
c/o EIR  
CH - 5303 WURENLINGEN

ANTOINE P. C.E.A. - CEN Cadarache  
Service STC/SIT GIM  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

ARHEX J. Commissariat à l'Energie Atomique  
Boîte Postale n° 6  
F - 92260 FONTENAY-AUX-ROSES

BEAUJEAN H. Gesellschaft zur Wiederaufarbeitung  
von Kernbrennstoffen mbH  
D - 7514 LEOPOLDSHAFEN-EGGENSTEIN

BEGUIN Ph. Electrobél - Bureau d'Etudes  
Place du Trône, 1  
B - 1000 BRUXELLES

BEIGHTON J. H.M. Alkali and Clean Air Inspectorate  
Health and Safety Executive  
Queen Anne's Chambers - Room 274  
28, Broadway  
UK - LONDON SW1

BELLA H. Delbag-Luftfilter GmbH  
Schweidnitzer Str. 11-16  
D - 1000 BERLIN 31

BELLAMY R.R. Office of Nuclear Reactor Regulation  
U.S. Nuclear Regulatory Commission  
USA - WASHINGTON DC 20555

BERGMAN O. Institute of Radiation Protection  
Box 268  
SF - 00101 HELSINKI 10

BERNIER R. Dexter International S.A.  
Avenue de Tervueren, 269  
B - 1150 BRUXELLES

BERTSCH E. Nordostschweizerische Kraftwerke AG  
Kernkraftwerk Beznau  
CH - 5312 DOETTINGEN

BÖHM L. RW - TÜV  
Steubenstr. 53  
D - 4300 ESSEN

BOISSON H. Commissariat à l'Energie Atomique  
Boîte Postale n° 561  
F - 92542 MONTROUGE

BONKA H.  
Lehrstuhl für Reaktortechnik  
Rhein.-West. Techn. Hochschule Aachen  
Templergraben 55  
D - 5100 AACHEN

BOULENGER R.  
"Contrôle Radioprotection" ASBL  
Avenue Eugène Plasky, 144  
B - 1040 BRUXELLES

BOUTE B.  
C.E.A. - Centre de Valduc  
Boîte Postale n° 14  
F - 21120 IS-SUR-TILLE

BRADFORD W.R.  
Ministry of Agriculture  
Fisheries and Food  
Atomic Energy Branch  
Great Westminster House - Room 435  
Horseferry Road  
UK - LONDON SW1P 2AE

BRIAND A.  
C.E.A. - CEN Saclay  
DPr - STEPAM  
Boîte Postale n° 2  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

BRICARD Ph.  
C.E.A. - CEN Saclay  
SPR/SRI  
Boîte Postale n° 2  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

BRISSON M.  
C.E.A. - CEN Cadarache  
SPR/RAD  
Boîte Postale n° 1  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

BRUN J.  
C.E.A. - CEN Cadarache  
Boîte Postale n° 1  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

BUHR H.  
Delbag-Luftfilter GmbH  
Schweidnitzer Str. 11-16  
D - 1000 BERLIN 31

BUIJS K.  
Europäisches Institut für Transurane  
Postfach 2266  
D - 7500 KARLSRUHE

CAGNETTI P.  
C.N.E.N.  
CSN Casaccia  
Strada Anguillarese Km 1 + 300  
I - 00100 ROMA

CALAME-LONJEAN A.  
C.E.A. - Centre de Marcoule  
Boîte Postale n° 106  
F - 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE

CASSINARI U.  
Nucleare Italiana Reattori  
Avanzati SPA  
Piazza Carignano, 2  
I - GENOVA

CESTARO G. C.N.E.N.  
Impianto EUREX  
I - 13040 SALUGGIA (Vercelli)

CLARK L. Nuclear Installations Inspectorate  
Health and Safety Executive  
Silkhouse  
Court Tithebarn St  
UK - LIVERPOOL

COOPER T.G. GERA sprl  
Avenue Baden Powell, 6  
B - 1200 BRUXELLES

COSTE G. Technicatome  
Boîte Postale n° 18  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

COTTONE G. Commission des Communautés Européennes  
D.G. III - JE 8/17  
Rue de la Loi, 200  
B - 1040 BRUXELLES

CUCCURU A. Laboratorio di Radioprotezione  
CAMEN  
I - 56010 SAN PIETRO A GRADO (PISA)

DECKERS B. Association Vinçotte  
B - 1640 RHODE-SAINT-GENESE

DELHAYE J. CETIAT  
Boîte Postale n° 19  
F - 91402 ORSAY

DELHOVE J. Controlatom ASBL  
Avenue André Drouart, 29  
B - 1160 BRUXELLES

de MONTAIGNAC E. C.E.A. - CEN Saclay  
Boîte Postale n° 2  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

de RAS E. EURATOM/Geel - C.B.N.M.  
Steenweg naar Retie  
B - 2440 GEEL

DIERCKX L. Belgonucléaire  
Rue du Champ de Mars, 25  
B - 1050 BRUXELLES

DILLMANN H.G. Gesellschaft für Kernforschung mbH  
Laboratorium für Aerosolphysik  
und Filtertechnik  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

DOLIAS M. (Mme) C.E.A. - CEN Cadarache  
DRNR/STRS  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

DORMAN R.G. Chemical Defence Establishment  
UK - PORTON DOWN (Wiltshire)

DUBE J. OCDE/AEN  
Boulevard Suchet, 38  
F - 75016 PARIS

DUPOUX J. C.E.A. - CEN Saclay  
Département de Protection  
Section Technique d'Etudes de  
Pollution dans l'Atmosphère et  
dans les Mines  
Boîte Postale n° 2  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

DUPRE J. C.E.A. - CEN Cadarache  
SPR/RAD  
Boîte Postale n° 1  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

DUVERGER de CUY G. C.E.A. - CEN Cadarache  
DSN - SESTR  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

DWORSCHAK H. C.N.E.N.  
Impianto EUREX  
I - 13040 SALLUGIA (Vercelli)

DYMENT J. Chemical Defence Establishment  
UK - PORTON DOWN (Wiltshire)

ECKSTEIN W. Drägerwerk AG  
Abt. Entw. u. Konstr. Filtertechnik  
Postfach 1339  
D - 2400 LUEBECK 1

EDELHÄUSER H. Bundesministerium des Innern  
Postfach  
D - 5300 BONN 7

ELLIOT M.N. Atomic Energy Research  
Establishment, Harwell (UKAEA)  
Process Technology Div.  
B. 351.15  
UK - DIDCOT, Oxon

ESTOURNEL R. COGEMA  
Etablissement de Marcoule  
Boîte Postale n° 106  
F - 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE

FAURE J.C. C.E.A. - CEN Cadarache  
SPR/SDT  
Boîte Postale n° 1  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

FESTAG J.G. Gesellschaft für Schwerionenforschung  
Postfach 541  
D - 6100 DARMSTADT

FICHTNER N. Normenausschuss Kerntechnik  
(NKe) im DIN  
Unter den Eichen, 87  
D - 1000 BERLIN 45

FIEUW G. Centre d'Etude de l'Energie  
Nucléaire - CEN/SCK  
Laboratoire du CEN/SCK  
Boeretang, 200  
B - 2400 MOL

FIRST M.W. Harvard University School  
of Public Health  
Dept. of Environmental Health Sciences  
665 Huntington Avenue  
USA - 02115 BOSTON (Massachusetts)

FLYGER H. Research Establishment Risø  
DK - 4000 ROSKILDE

FRASER D.C. U.K.A.E.A.  
Radiological and Safety Div.  
Atomic Energy Establishment  
UK - WINFRITH, Dorset DT2 8DH

FRANZI I. CODAS S.p.A.  
Via Kennedy, 4  
I - 20090 SEGRATE (MILANO)

FRIGERIO N. Argonne National Laboratory  
Environmental Impact Sciences  
D - 11  
USA - 60439 ARGONNE, Illinois

FURRER J. Gesellschaft für Kernforschung mbH  
Laboratorium für Aerosolphysik  
und Filtertechnik  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

GANCILLE B. Sofiltra Poelman  
Boulevard National, 71  
F - 92250 LA-GARENNE-COLOMBES

GAUME M. Commissariat à l'Energie Atomique  
Boîte Postale n° 6  
F - 92260 FONTENAY-AUX-ROSES

GERARD A. A A F - S.A.  
Rue William Dian  
F - 27620 GASNY

GOOSSENS H. Franco-Belge de Fabrication  
de Combustibles  
Europalaan, 12  
B - 2480 DESSEL

GREGORY W. Los Alamos Scientific Laboratory  
MS 312  
Box 1663  
USA - LOS ALAMOS, New Mexico 87544

GUNTHER H. Europäisches Institut für Transurane  
Postfach 2266  
D - 7500 KARLSRUHE

GUSTAVSSON B. AB ASEA-ATOM  
Avd. KVC  
Box 53  
S - 72104 VASTERAS

GUSTAVSSON J. CAMFIL AB  
Industrigatan 3  
S - 15013 TROSA

GUYOT P. DCE Vokes  
Rue Jacquart, 28  
F - 93 PANTIN

HADDAD A. C.E.A. - CEN Grenoble  
Service de Protection et  
des Etudes d'Environnement 85 X  
F - 38041 GRENOBLE CEDEX

HALLER P. Gruppe für Rüstungsdienste, TA 8  
AC-Laboratorium Wimmis  
CH - 3752 WIMMIS

HARTMANN W. Babcock-Brown-Boveri Reaktor GmbH  
Abt. TTG  
Postfach 323  
D - 68 MANNHEIM 41

HEISE M.R. Motor Columbus  
Ingenieurunternehmung AG  
Eulenweg 4  
CH - 5401 BADEN

HELLER Ph. Johns Manville Europe Corporation  
Rue du Colonel de Rochebrune, 9-11  
F - 92500 RUEIL-MALMAISON

HEMMER R. Ministère d'Etat  
Service Technique  
Château de Senningen  
L - LUXEMBOURG

HERREBAUT L. Pollution Service  
Rue du Faubourg St-Antoine, 154  
F - 75012 PARIS

HOLT C.J. Vokes Air Filters Ltd.  
Stephen House  
UK - BURNLEY, Lancashire BB11 1PD

HONORE P. C.E.A. - CEN Cadarache  
Service STC/SIT/GIM  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

HOPPITT B. Vokes Air Filters Ltd.  
Stephen House  
UK - BURNLEY, Lancashire BB11 1PD

HOUTART B. Filtest S.A.  
Avenue Baden Powell, 6  
B - 1200 BRUXELLES

JESSEN U. Royco Instruments, Inc.  
Hertigstrasse 51  
D - 7250 LEONBERG 2

JOVANOVIC-KOVACEVIC O. (Mme) "Boris Kidric" Institute  
of Nuclear Science  
P.O. Box 522  
YU - 11001 BELGRADE

KNACKSTEDT H.G. NUKEM GmbH  
Postfach 110 080  
D - 6450 HANAU 11

KNUTTI P.W. Motor Columbus  
Ingenieurunternehmung AG  
Parkstrasse 27  
CH - 5401 BADEN

KRATEL R. Schliessfach 2140  
D - 7016 GERLINGEN 2 / STUTTGART

KRAUT A. Institut für Reaktorsicherheit  
Glockengasse 2  
D - 5 KOELN 1

KROGMANN O. CAMFIL GmbH  
Am Zuschlag 2 a  
D - 2067 REINFELD/Holst.

KUHN K.D. KEWA - Kernbrennstoff -  
Wiederaufarbeitungsgesellschaft  
Postfach 260  
D - 7514 EGGENSTEIN-LEOPOLDSHAFEN 2

LAFFAILLE C. C.E.A. - Etablissement SPS  
Boîte Postale n° 17  
F - 91310 MONTLHERY

LANDMAN E.B. NV KEMA  
Utrechtseweg, 310  
NL - ARNHEM

LARSON J.E. CAMFIL AB  
Industrigatan 3  
S - 15013 TROSA

LASER M. Kernforschungsanlage Jülich GmbH  
Institut für Chemische Technologie  
Postfach 1913  
D - 5170 JUELICH

LEBLANC P. C.E.A. - CEN Saclay  
SPR/SRI  
Boîte Postale n° 2  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

LEHMANN C.J. c/o Stora Kopparberg GmbH  
Filterprodukte  
Schillerstr. 49  
Postfach 501 404  
D - 2000 HAMBURG 50

LETOURNEAU P. C.E.A. - CEN Saclay  
Boîte Postale n° 2  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

LEURS U. Bureau Central de  
Mesures Nucléaires  
Steenweg naar Retie  
B - 2440 GEEL

LILLYMAN E. U.K.A.E.A.  
UK - DOUNRAY, Thurso, Caithness

LUCAS J.C. Sofiflora-Poelman  
Boulevard National, 71  
F - 92250 LA-GARENNE-COLOMBES

LYOEN C. Etablissement NEU  
Sac Postal 2028  
F - 59013 LILLE

MAIER P. Technischer-Ueberwachungs-  
Verein Baden e.V.  
Richard-Wagner-Strasse 2  
D - 68 MANNHEIM

MALLEK H. Kernforschungsanlage Jülich GmbH  
TD - DE  
Postfach 1913  
D - 5170 JUELICH

MANGIAROTTI V. c/o D.E.A.G.  
Via Negrotto, 36  
I - 20157 MILANO



MARSHALL M. U.K.A.E.A.  
Environmental and Medical  
Sciences Division  
Bld 364, A.E.R.E.  
UK - HARWELL, Didcot, Oxon OX11 ORA

MAZZINI M. Università di Pisa  
Facolta di Ingegneria  
Istituto di Impianti Nucleari  
Via Diotisalvi, 2  
I - 56100 PISA

MEEKINGS G.F. U.K. Nuclear Installations Inspectorate  
Thames House North  
Millbank  
UK - LONDON SW1P 4QL

MEGAW J. York University  
4700 Keele Street  
Downsview  
CDN - ONTARIO M3J 1P3

MERCIER Y. Air Industrie  
19-21, Avenue Dubonnet  
F - 92401 COUREBOVIE

MERTENS A. GERA  
Avenue Baden Powell, 6  
B - 1200 BRUXELLES

METAIRIE C. Electricité de France  
Division Installation  
Septen-Tour EDF-GDF  
F - 75008 PARIS-LA-DEFENSE CEDEX

MIRIBEL J. C.E.A. - CEN Cadarache  
D S N  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

MONY P.G.S. Technical Liaison Mission  
Department of Atomic Energy  
Government of India  
Rue de Berne, 9  
F - 75008 PARIS

MUHR W. Kernforschungszentrum Karlsruhe  
Laboratorium für Aerosolphysik  
und Filtertechnik  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

NEESKENS E. C.E.N./S.C.K.  
Boeretang, 200  
B - 2400 MOL



RION J. C.E.A. - CEN Cadarache  
STC/STEC/GIEE  
F - 13115 SAINT-PAUL-LEZ-DURANCE

ROCHE J. Bureau d'Etudes des Fluides  
et Structures  
Division Nucléaire  
Avenue Paul Doumer, 76  
F - 75016 PARIS

RODIER J. Service Central de Protection  
contre les Rayonnements Ionisants  
Rue de l'Ecluse, 31  
F - 78110 LE VESINET

RUEGG H.J. LUWA AG  
Anemonenstr. 40  
CH - 8047 ZUERICH

SCHATTE W. Technischer-Ueberwachungs-  
Verein Hannover e.V.  
Abt. Kerntechnik u. Strahlenschutz  
Postfach 810 999  
D - 3000 HANNOVER 81

SCHNEIDER E. Gesellschaft für Kernforschung mbH  
Projekt Wiederaufarbeitung und  
Abfallbehandlung  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

SCHNEPF R. Electricité de France  
Département Radioprotection  
Boîte Postale n° 120  
F - 93203 SAINT-DENIS

SCHOLTEN L. NV KEMA  
Utrechtseweg, 310  
NL - ARNHEM

SCHROTH W. Delbag-Luftfilter GmbH  
Schweidnitzer Str. 11-16  
D - 1000 BERLIN 31

SCHULZ R. B.B.R. Mannheim  
Postfach  
D - 68 MANNHEIM-KAEFERTAL

SCHÜTZ W. Kernforschungszentrum Karlsruhe  
Laboratorium für Aerosolphysik  
und Filtertechnik  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

SEAU C. COGEMA - SMC-SAG  
Boîte Postale n° 106  
F - 30200 BAGNOLS-SUR-CEZE

SEGGEWIES H. Kraftwerk Union AG  
Abt. V 623 T  
Postfach 3220  
D - 852 ERLANGEN

SEGUY R. C.E.A. - CEN Saclay  
SPR/SRI  
Boîte Postale n° 2  
F - 91190 GIF-SUR-YVETTE

SIGLI P. C.E.A. - Département de Protection  
Section Technique d'Etudes de  
Pollution dans l'Atmosphère  
et dans les Mines  
Boîte Postale n° 6  
F - 92260 FONTENAY-AUX-ROSES

SINHUBER D. Delbag-Luftfilter GmbH  
Schweidnitzer Str. 11-16  
D - 1000 BERLIN 31

SITTE R. Kerntechnischer Ausschuss im IRS  
Glockengasse 2  
D - 5000 KOELN 1

SLEGERS W. C.E.N./S.C.K.  
Boeretang, 200  
B - 2400 MOL

SPURNY K.R. Fraunhofer-Gesellschaft  
Institut für Aerobiologie  
D - 5949 GRAFSCHAFT

STALLAERT P. Ministère de l'Emploi et du Travail  
Administration de la Sécurité  
du Travail  
Rue Belliard, 53  
B - 1040 BRUXELLES

STANCOMBE M.L. U.K.A.E.A.  
Reactor Fuel Element Laboratories  
Springfield  
Salwick  
UK - PRESTON PR4 ORR

STAUD H. Gesellschaft für Kernforschung mbH  
Abt. Heisse Zellen - Bau 701  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

STEAD M. Central Electricity Generating Board  
NHSD Courtenay House  
18, Warwick Lane  
UK - LONDON EC4P 4EB

STIEHL H.H. Delbag-Luftfilter GmbH  
Schweidnitzer Str. 11-16  
D - 1000 BERLIN 31

STOTZ W. Gesellschaft für Kernforschung mbH  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

STOUTE J.R.D. Netherland Energy Research  
Foundation (ECN)  
Energieonderzoek Centrum Nederland  
Westerduinweg, 3  
NL - PETTEN

STRATMANN J. Kernforschungsanlage Jülich  
TD - MW W  
Postfach 1913  
D - 5170 JUELICH

STRAUSS H.J. Ceagfilter und Entstaubungs-  
technik GmbH  
Dokumentation, RWD  
Münsterstr. 231  
D - 4600 DORTMUND

STRÖM L. AB Atomenergi Studsvik  
Fack  
S - 61101 NYKOPING

TROMP P.M. AAF International SA  
Egelenburg, 2  
NL - AMSTERDAM

Van der WERF B. Ministerie van Sociale Zaken  
Directoraat Generaal van de Arbeid  
Postbus 69  
NL - VOORBURG

TORNE-CELER J.C. Electricité de France  
Région d'Equipement Tours  
Parc de Grandmont  
Boîte Postale n° 26  
F - 37018 TOURS CEDEX

VERSTRAETEN Ph. Société Belge de Normalisation  
Stockem, 126  
B - 4700 EUPEN

VIDMAR M. "Boris Kidric" Institute  
of Nuclear Science  
P.O. Box 522  
YU - 11001 BELGRADE

WAGNER F. Kernkraftwerk Obrigheim GmbH  
Postfach 100  
D - 6951 OBRIGHEIM

WATSON C.D. Evans Adlard and Co. Ltd.  
Postlip Mills  
UK - WINCHCOMBE, Gloucestershire GL 54 5BB

WEBER J. Ministry of Health and  
Environmental Protection  
Radiation Sector  
Dr. Reijerstraat 10  
NL - LEIDSCHENDAM

WEINERT A. Gesellschaft für Kernforschung mbH  
Laboratorium für Aerosolphysik  
und Filtertechnik  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

WILHELM J.G. Gesellschaft für Kernforschung mbH  
Laboratorium für Aerosolphysik  
und Filtertechnik  
Postfach 3640  
D - 7500 KARLSRUHE

WILLIS-CULPITT W.R. British Nuclear Fuels Ltd.  
Windscale Works Sellafield  
UK - SEASCALE, Cumbria, CA20 1PG

YOUNG J. USA Navy Scientific and Technical Group  
Keplerstrasse 15  
D - 8000 MUENCHEN 80

ZABALUEV Y. I.A.E.A.  
Kärntner Ring 11  
P.O. Box 590  
A - 1011 VIENNA

SECRETARIAT - CCE Luxembourg

E.A. HAMPE

F. LUYKX

G. FRASER

L. DUTAILLY

G. VAN BOCKSTAEL

K. KUHN (Mme)

M. KISS (Mme)

N. FANK

}  
Direction Santé et Sécurité - F/2

}  
Direction Santé et Sécurité



