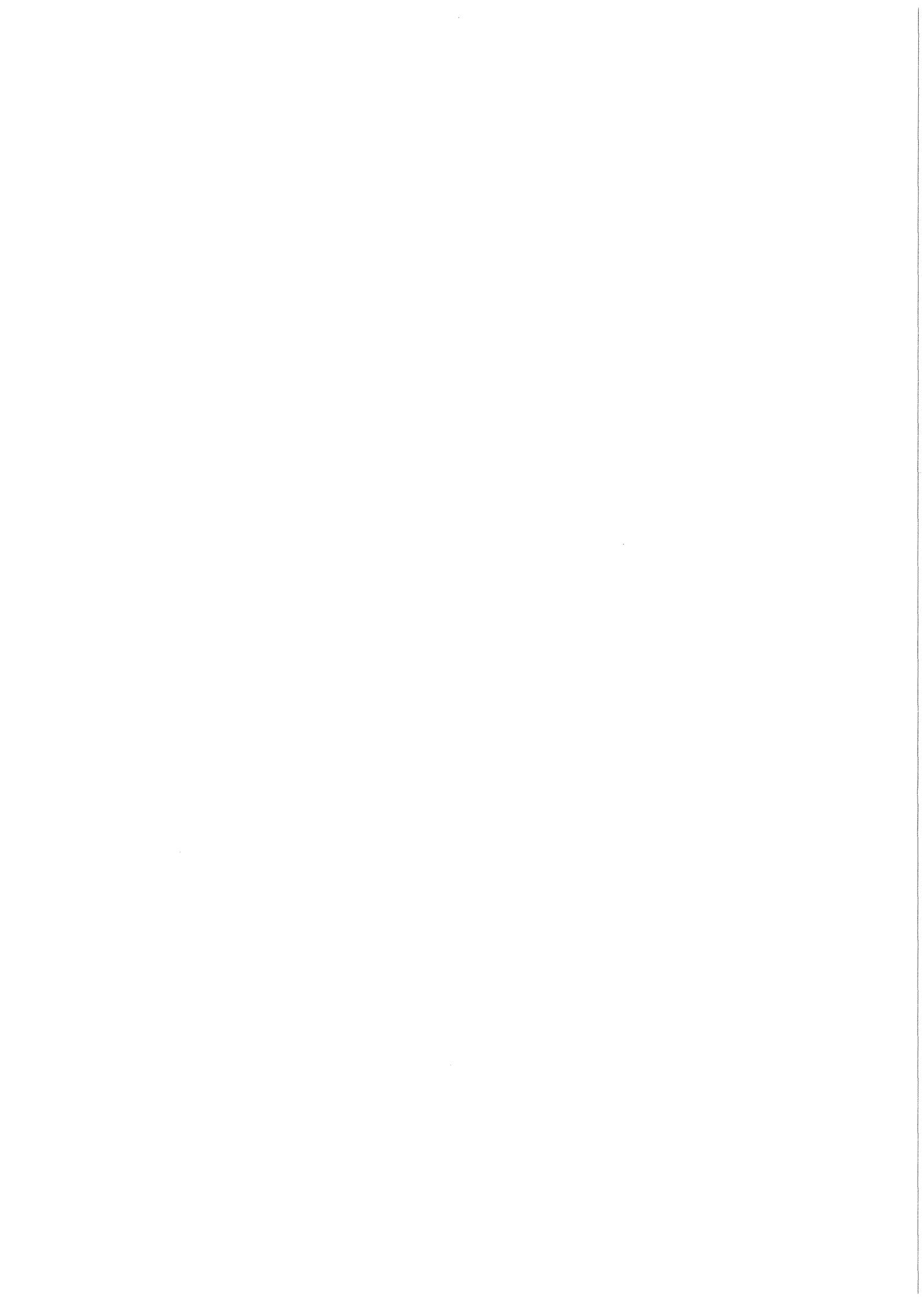


KfK 3618
Oktober 1983

Modellierung der Aerosolrückhaltung in der Testanlage PASSAT

K. Nagel, J. Furrer
Institut für Datenverarbeitung in der Technik
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Institut für Datenverarbeitung in der Technik
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

KfK 3618

Modellierung der Aerosolrückhaltung in der Testanlage PASSAT

K. Nagel, J. Furrer

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

PASSAT ist eine im Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik (LAF II) des Kernforschungszentrums Karlsruhe aufgebaute Testanlage zur Entfernung von Jodisotopen und Aerosolen aus dem Auflöserabgas. Die experimentellen Ergebnisse dieser Anlage dienen als Grundlage zur Modellierung der Aerosolrückhaltung aus dem Auflöserabgas einer großen Wiederaufarbeitungsanlage.

Der Bericht enthält eine detaillierte Beschreibung der Experimentdurchführung an Fangrillenabscheider und Faserpaketabscheider und deren Ergebnisse.

Vorhandene Vorstellungen über den Abscheidegrad des Fangrillenabscheiders in Abhängigkeit von Aerosoldurchmesser und Gasgeschwindigkeit konnten ergänzt werden.

Die experimentellen Ergebnisse zum Dekontaminationsfaktor des Faserpaketabscheiders in Abhängigkeit von Aerosoldurchmesser und Gasgeschwindigkeit wurden mit Hilfe mathematischer Funktionen approximiert.

Modelling of Aerosol Retention in the Test Facility PASSAT

Abstract

PASSAT is a test facility to remove iodine isotopes and aerosols from dissolver off-gas. It is located at the Nuclear Research Center Karlsruhe (LAF II). On the basis of experimental results coming from PASSAT the aerosol retention of the dissolver off-gas has been modelled for a large reprocessing plant.

The experimental performance to get results for the wave plate droplet separator and fiber packed mist eliminator with flushing capability (Brink filter) is described in detail.

Theoretical considerations about the aerosol retention factor of the droplet separator have to be changed to reconcile these considerations with the experimental results.

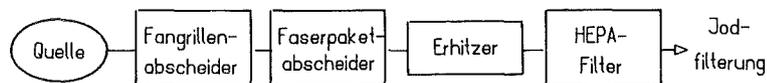
The decontamination factor of the Brink filter could be approximated as a function of aerosol diameter and of gas flow rate.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I Einleitung	3
II Experimente und Ergebnisse	5
III Fangrillenabscheider	12
IV Faserpaketabscheider	22
V Schlußfolgerungen	26
Literaturverzeichnis	27

I. Einleitung

PASSAT ist eine Testanlage zur Entfernung von Aerosolen und Jodisotopen aus dem Auflöserabgas einer geplanten Wiederaufarbeitungsanlage. Die Anlage dient in diesem Bericht als Grundlage zur Modellierung der Aerosolrückhaltung, nachdem sie mit Erfolg zur Beschreibung der Jodentfernung herangezogen wurde /1/. Die Aerosolrückhaltung besteht aus Grobtropfenabscheider (Fangrillenabscheider), Feintropfenabscheider (Faserpaketabscheider) und HEPA-Filter (s. Abbildung 1).



IDT 22.03.83 Negel1

Abbildung 1: Schematische Darstellung der Aerosolrückhaltung in PASSAT

Scheiden sich an Grob- und Feintropfenabscheider sowohl Flüssig- als auch Feststoffaerosole ab, so kommen am HEPA-Filter durch die vorangegangene Erwärmung des Abgases auf 80°C nur noch feste Aerosole vor. Die folgende detaillierte Beschreibung der Aerosolrückhaltung der beiden Naßabscheider beruht auf neuesten experimentellen Ergebnissen des Laboratoriums für Aerosolphysik und Filtertechnik (LAF II).

Die neuesten Messungen umfassen:

1. Abscheidegrad des Fangrillenabscheiders als Funktion des Aerosoldurchmessers und der Anströmgeschwindigkeit,
2. Dekontaminationsfaktor des Faserpaketabscheiders als Funktion des Aerosoldurchmessers und des Volumenstroms.

Die in diesem Bericht häufig vorkommenden Bezeichnungen Dekontaminationsfaktor DF, Durchlässigkeit DL und Abscheidegrad η sind auf folgende Weise korreliert:

$$\eta = 100 - DL = (1 - 1/DF) 100$$

$$DL = (c/c_o) 100$$

c_o = Konzentration Zuluft

c = Konzentration Fortluft

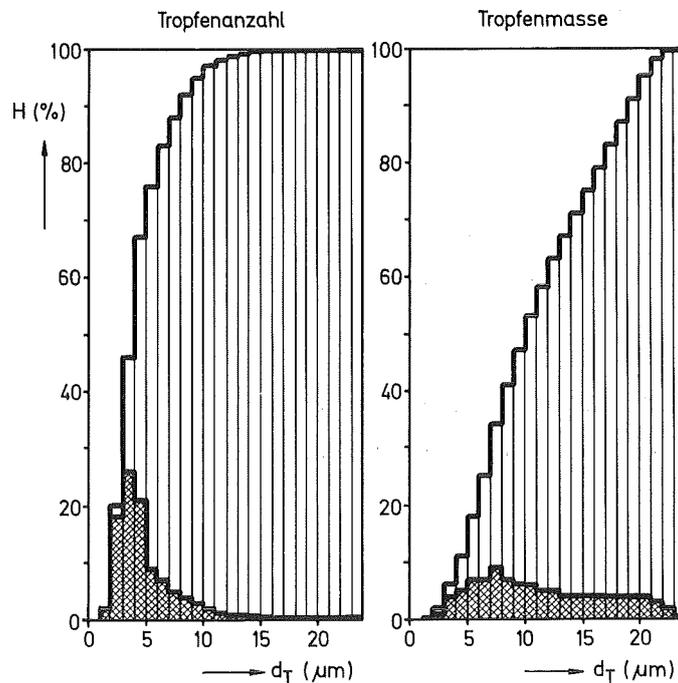
II. Experimente und Ergebnisse

II.1 Die Probenahme

Bei der Zusammenschaltung von Aerosolrückhalteeinrichtungen im Auflöserabgas einer WAA ist das Verhalten sowohl der einzelnen Aerosolfilterstufen als auch der Gesamtabscheidegrad aller hintereinander geschalteter Filter für ein zu erwartendes Aerosolspektrum für die Genehmigungsbehörde erforderlich.

Das Zusammenspiel der beiden Tropfenabscheider (Fangrillenabscheider und abreinigbarer Faserpaketabscheider) ist wichtig für die Abgasreinigung, da die Tropfenabscheider als Vorfilter eingesetzt werden. Sie scheiden die Hauptmenge der entstandenen Aerosole ab und führen sie dem Naßprozeß wieder zu. Dies verlängert die Einsatzzeit des nachfolgenden Schwebstofffilters.

Zur Ermittlung der Abscheidegrade an den Tropfenabscheidern müssen Tropfen erzeugt werden, deren Masse und Anzahl vor und nach den Abscheidern mit Hilfe von analytischen Geräten bestimmt und ins Verhältnis gesetzt werden können.



KIK LAF/82

Abbildung 2: Tropfengrößenverteilung der eingespritzten $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ -, Na-Fluoreszein- und NaNO_3 -Lösungen

Am Eingang der PASSAT-Filterstrecke wurde ein reproduzierbares Tropfenspektrum (Abb. 2) beim Versprühen von Salzlösungen mit einer Zweistoffdüse erzeugt. Das Spektrum liegt zwischen 1 und 23 μm mit einem Tropfenanzahlmaximum bei 4 μm . Vor und nach den Abscheidern wurden isokinetische Teilströme des Hauptabgasstromes entnommen.

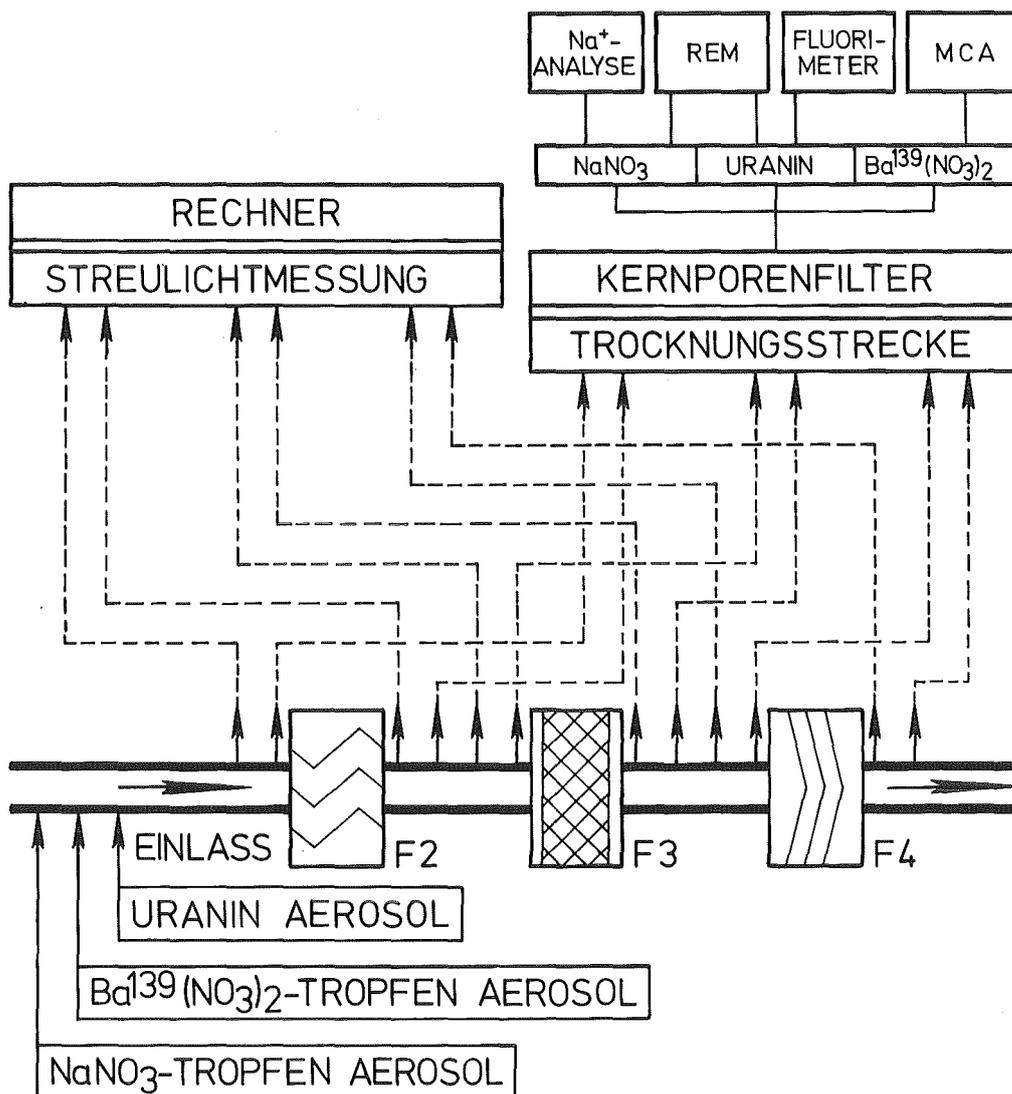
Zur Ermittlung gesicherter Ergebnisse wurden mehrere Verfahren zur Bestimmung der Abscheidegrade an den einzelnen Filterpositionen angewandt (Abb. 3):

1. Messung der Tropfengrößen mit dem Teilchengrößenmeßgerät HC 15 nach dem Lichtstreuverfahren an den Tropfenabscheidern
2. Einleiten der Tropfen in Heizstrecken, in denen die Tropfen verdunsten, und Sammeln der verbliebenen Salzkerne auf Kernporen- oder Schwebstofffiltern.

Tab. 1: Verwendete wässrige Lösungen und Analytik zur Ermittlung der Dekontaminationsfaktoren an den Abscheidern

Lösung	Konzentration	Analyse	Nachweisgrenze
NaNO_3	1%	Na-Ionen sens. Elektrode	0,2 ppm Na^+ = $7.6 \cdot 10^{-6}$ g Na/10ml
Na-Fluoreszein	0,01 %	Fluorimeter	$5 \cdot 10^{-11}$ g/ml
$\text{Ba}^{139}(\text{NO}_3)_2$	1% 1,2g ^{137}Ba = $1.6 \cdot 10^{-10}$ g ^{139}Ba	M C A	ca. 10^{-11} g

In Tab. 1 sind die mit der Zweistoffdüse versprühten wässrigen Lösungen und die Analytik aufgeführt.



KfK
KLAF

Abbildung 3: Blocksaltbild der Aerosol Probennahme und Analyse

II.2 Abscheidung von Tropfen am Fangrillenabscheider

Der Fangrillenabscheider (Abb. 4) ist die erste Filterbarriere der Auflöserabgasstrecke. Er hat im wesentlichen zwei Funktionen:

1. Abscheidung großer Tropfen ($>10\mu\text{m}$) im Normalbetrieb zur Verringerung der Belastung nachgeschalteter Komponenten.
 2. Rückhaltung großer Flüssigkeits- und Tropfenmengen im Falle von Störungen in den vorgeschalteten NO_2 -Absorptionskolonnen.
- Mit Hilfe der Streulichtmessungen wurden die spezifischen Abscheide-

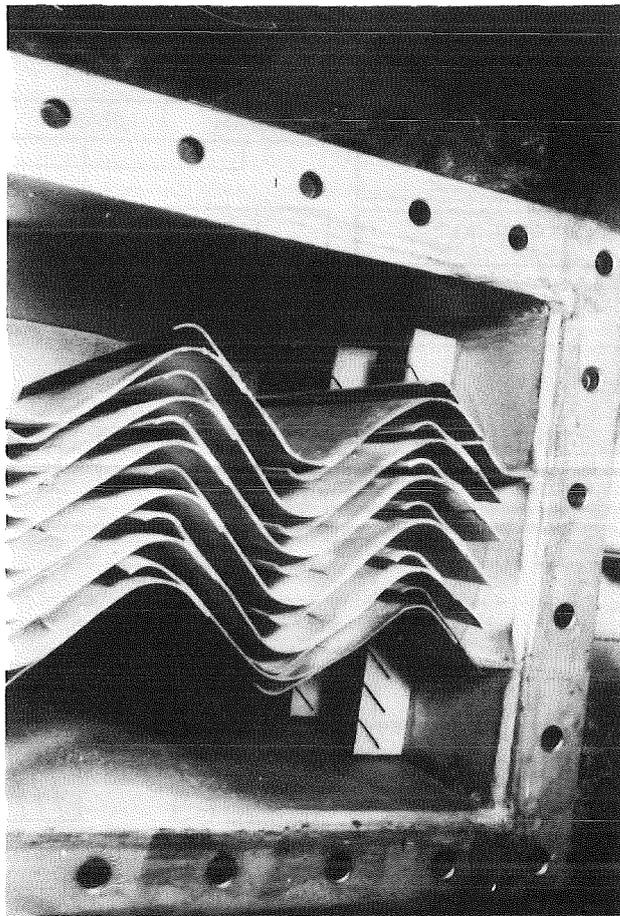


Abbildung 4: Der Fangrillenabscheider

grade für Einzeltropfengrößen bei Volumenströmen zwischen 75 und 150 Nm³/h bei 30°C und 100% r.F. bestimmt (Tab. 2). Mit steigender Anströmgeschwindigkeit von 0,63 bis 1,26 m/s wird die Abscheidung zu kleineren Tropfen verschoben. Die Grenztropfengrößen bei einem Abscheidegrad von 90% sind 9., 7.5 und 6.5 µm für die entsprechenden Volumenströme von 75, 125 und 150 Nm³/h.

Die Massenabscheidegrade bei den unterschiedlichen Volumenströmen wurden durch Ermittlung der Anzahl der entsprechenden Tropfengrößen pro Volumeneinheit in der Zu- und Fortluft bestimmt. Der Massenabscheidegrad stieg von 30 auf 70% zwischen 75 und 150 Nm³/h.

In weiteren Versuchsreihen wurde die Abscheidung durch Versprühen von Salzlösungen (Tab. 1) und Probenahme auf Filtern ermittelt. Die Tropfenmasse wurde aus der auf den Filtern abgeschiedenen Salzmenge und den vorgegebenen Konzentrationen der versprühten Salzlösung

berechnet. Durch Ausmessung und Zählung der Restsalzkerne auf den Kernporenfiltern konnten die Einzeltropfengröße berechnet werden (Tab. 2).

Tabelle 2: Meßwerte zur Aerosolabscheidung am Fangrillenabscheider

Streulicht-Messungen

3 75 Nm ³ /h			3 125 Nm ³ /h			3 150 Nm ³ /h		
D(µm)	DF	η	D(µm)	DF	η	D(µm)	DF	η
8	0.62	0.62	3.5	1.0	0.0	3	1.0	0.0
8.5	4.07	0.75	4	1.06	0.06	3.5	1.16	0.14
9	17.78	0.94	4.5	1.32	0.24	4	1.51	0.34
			5	1.70	0.41	4.5	2.14	0.53
			5.5	2.14	0.53	5	2.82	0.65
			6	2.69	0.63	5.5	4.17	0.76
			6.5	3.89	0.74	6	5.37	0.82
			7	5.49	0.82	6.5	9.12	0.89
			7.5	9.44	0.89	7	14.79	0.93
			8	22.39	0.96	7.5	28.84	0.97
			8.5	109.65	0.99	8	107.15	0.99

REM-Messungen

3 150 Nm ³ /h		
D(µm)	DF	η
3.5	1.0	0.0
5	1.08	0.07
6	1.29	0.22
7	1.95	0.49
8	4.07	0.75
9	13.5	0.93
9.5	27.5	0.96

Mit steigendem Volumenstrom von 50 auf 150 Nm³/h erhöht sich der Massenabscheidegrad von 24 auf 76%, dabei steigt der Differenzdruck über dem Fangrillenabscheider von 0.5 auf 3 mbar (Abb. 5).

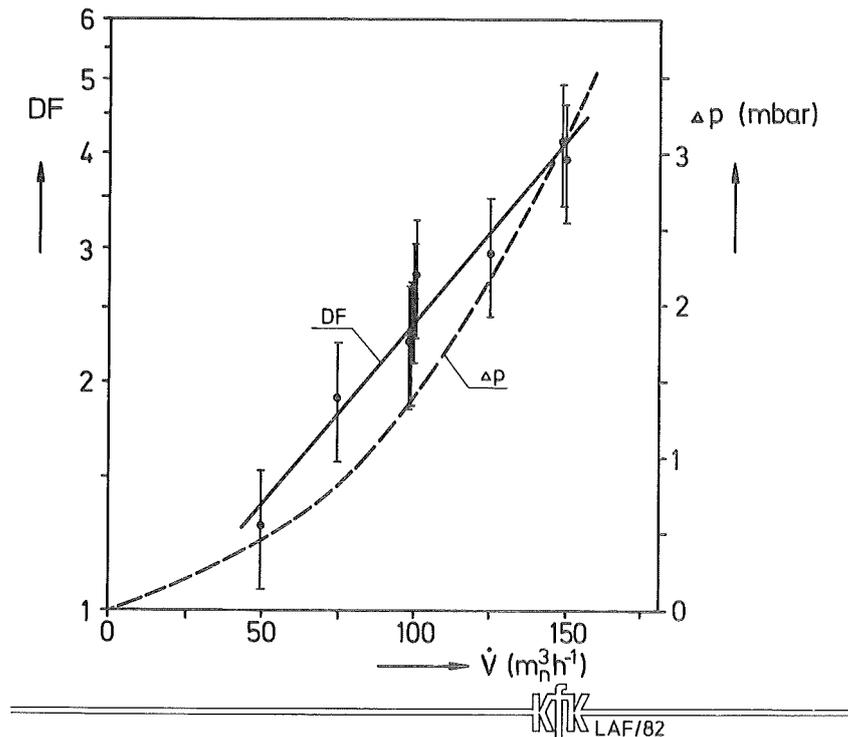


Abbildung 5: Dekontaminationsfaktor und Differenzdruck in Abhängigkeit vom Volumenstrom für den Fangrillenabscheider

II.3 Abscheidung von Tropfen am Faserpaketabscheider (FAPA)

Der Faserpaketabscheider (Abb. 6) dient als Feintropfenabscheider für Tropfen $< 10 \mu\text{m}$ (Packungsdicke 5 cm).

Durch Intervallbesprühung kann er von der angesammelten Salzlast gereinigt werden. Er übernimmt die Funktion eines Vorabscheiders zur Verlängerung der Standzeit des nachfolgenden Schwebstofffilters der Klasse S. Bei der Beaufschlagung des FAPA mit Tropfen aus einer Zweistoffdüse in der Zuluft mit einem Tropfenspektrum von 1-23 μm und einer maximalen Tropfenanzahl bei 9-10 μm wurden vor und hinter dem FAPA Streulichtmessungen durchgeführt.

Alle Massenabscheidegrade überschritten bei dieser Meßmethode 99.999% bei Temperaturen der Zuluft von 30 und 60°C und Volumenströmen zwischen 75 und 150 Nm^3/h . Allerdings ist dieser Wert nur bedingt zu verwenden, da große Tropfen wesentlich leichter als kleine

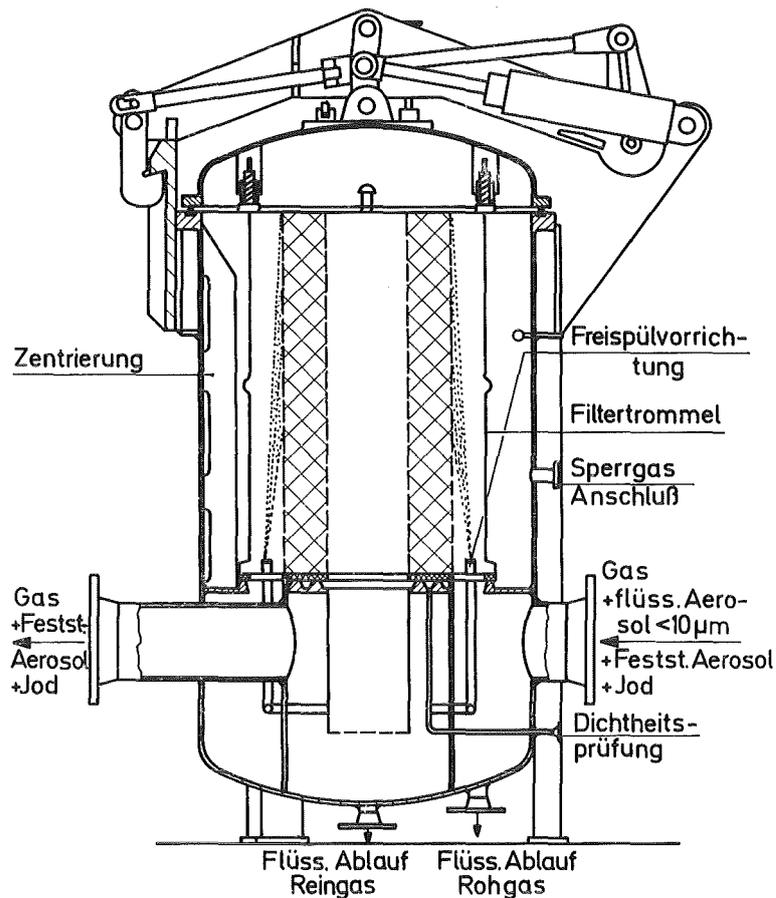


Abbildung 6: Skizze der PASSAT-Komponente Faserpaketabscheider

abgeschieden werden, wenige große aber praktisch die gesamte Masse in sich vereinen und so zwangsläufig hohe Abscheidegrade ergeben. Daher wurden außerdem die Häufigkeiten gleicher Teilchengrößen in der Zuluft und Fortluft miteinander ins Verhältnis gesetzt. Bei kleinen Tropfen ($1-10 \mu\text{m}$) lag der durchmesserspezifische Abscheidegrad zwischen 99.8 und 99.99995%, mit den entsprechenden Dekontaminationsfaktoren von 500 bis $2 \cdot 10^6$ (Tab. 3).

In weiteren Untersuchungen wurde der FAPA mit Natriumfluoreszein-Partikeln bei Volumenströmen von 75 bis $150 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 30°C und $< 20\%$ r.F. beaufschlagt. Die gemessenen Dekontaminationsfaktoren für die Partikelmasse lagen bei den Volumenströmen 75 , 100 , 125 und $150 \text{ Nm}^3/\text{h}$ über 1000 , wobei mit zunehmender Anströmgeschwindigkeit am FAPA der Dekontaminationsfaktor abnimmt. Dies wird auf den geringeren Einfluß des Diffusionseffektes bei der Abscheidung zurückgeführt.

III. Fangrillenabscheider

Der Grobtropfenabscheider der Testanlage PASSAT ist ein Euroform-Fangrillenabscheider mit $n = 6$ Lamellen, einem Umlenkwinkel von $\alpha = 45^\circ$ und Abständen von $s = 2\text{cm}$. Die vom Luftstrom getragenen Aerosole werden aufgrund der Lamellenumlenkwinkel auf gekrümmte Bahnen gezwungen. Betrachtet man diese gekrümmten Bahnen als Kreisbogenstücke mit Radius r , so wirken auf die Aerosole Fliehkräfte (Z) und Reibungskräfte (W). Aus dem Gleichgewicht dieser Kräfte resultiert eine Radialgeschwindigkeit v_r /2/:

$$Z = \frac{m \cdot v^2}{r} = \frac{\rho \cdot \pi \cdot D^3}{6} \cdot \frac{v^2}{r} = 3 \cdot \pi \cdot D \cdot \mu \cdot v_r = W$$

$$\text{oder } v_r = \frac{\rho \cdot v^2 \cdot D^2}{18 \cdot \mu \cdot r}$$

dabei ist ρ die Dichte der Aerosole (1.007 g/cm^3), v die Strömungsgeschwindigkeit des Gases, D der Aerosoldurchmesser und μ die Zähigkeit des Gases ($\sim 1.88 \cdot 10^{-6} \text{ kg/m sec}$ bei $T_p = 30^\circ\text{C}$). Der Abscheidegrad η einer Lamelle ergibt sich aus dem Verhältnis von Sinkstrecke s' zu Lamellenabstand s :

$$\eta = \frac{s'}{s} = \frac{v_r \cdot t}{s} = \frac{v_r \cdot \alpha \cdot r}{v \cdot s} = \frac{\rho \cdot v \cdot D^2}{18 \cdot \mu} = \frac{\alpha}{s}$$

$$\text{oder } \eta = \alpha \cdot \Psi.$$

Die dimensionslose Größe Ψ wird Trägheitsparameter genannt. Der Abscheidegrad mehrerer Lamellen ergibt sich aus

$$\eta(D) = 1 - \text{EXP}(-n \cdot \alpha \cdot \Psi).$$

Der Trägheitsparameter hat mit den genannten Zahlenwerten folgendes Aussehen

$$\Psi = 1.488 \cdot 10^9 \cdot v \cdot D^2.$$

Aufgrund eines Vergleichs von $\eta(D)$ mit folgendem allgemeinen Ansatz:

$$F(D) = 1 - \text{EXP}(- A \cdot D^B)$$

ergeben sich die Koeffizienten A und B zu:

$$A = 7.012 \cdot 10^9 \cdot V \text{ (1/m}^2\text{)}$$

$$B = 2.$$

Die folgende Tabelle enthält den Vergleich der Abscheidegrade, die sich aus den dargelegten theoretischen Betrachtungen errechnen lassen mit den experimentellen Ergebnissen aus Tabelle 2:

Volumenstrom (Nm ³ /h)	Gasgeschwindigkeit V(m/sec)	A(1/m ²)	S
75	2.20	$1.543 \cdot 10^{10}$	0.058
125	3.66	$2.566 \cdot 10^{10}$	0.260
150	4.39	$3.078 \cdot 10^{10}$	0.242

S ist die Summe der quadratischen Abweichungen der errechneten Werte $F(D_i)$ von den experimentellen Abscheidegraden $\eta(D_i)$:

$$S = \sum_{i=1}^k (F(D_i) - \eta(D_i))^2$$

k = Anzahl der experimentellen Werte.

Der Versuch die experimentellen Abscheidegrade des Fangrillenabscheiders möglichst genau, d.h. mit minimalem S zu approximieren, wurde mit folgendem mathematischen Ansatz durchgeführt:

$$F(D) = 1 - \text{EXP}(- A_1 \cdot D^{B_1}).$$

Die Koeffizienten A_1 , B_1 , die für jede Gasgeschwindigkeit separat bestimmt wurden, und die entsprechenden Werte für S der Streulichtmessungen aus Tabelle 2 ergaben sich zu:

Gasgeschwindigkeit

V(m/sec)	A_1	B_1	S
2.20	$4.53 \cdot 10^{35}$	7.0	0.003
3.66	$7.92 \cdot 10^{21}$	4.2	0.016
4.39	$3.33 \cdot 10^{18}$	3.5	0.037

Die Werte für S demonstrieren eine deutliche Verbesserung der Anpassung im Vergleich zur vorausgegangenen. Diese Approximation und die experimentellen Werte sind in Abbildung 7 dargestellt.

Aus der Abbildung geht hervor, daß die Abscheidekurven mit zunehmender Gasgeschwindigkeit V zu kleineren Aerosoldurchmessern verschoben werden. Dies ist in Einklang mit den vorausgegangenen theoretischen Überlegungen, denn mit zunehmender Geschwindigkeit fällt es auch kleineren Aerosolen schwerer den gekrümmten Stromfäden zu folgen. Offensichtlich jedoch ist der Koeffizient B_1 keine Konstante, sondern eine Funktion von V. Diese Funktion hat folgende Gestalt:

$$B_1(V) = 15.36/V.$$

Die weiteren mathematischen Ansätze zur Darstellung der Aerosolabscheidegrade sollen mit den gemachten theoretischen Aussagen in Relation gesetzt werden und wählen deshalb folgenden Ausdruck:

$$F(D) = 1 - \text{EXP}(-A \cdot D^2)^{B(V)}$$

mit $B(V) = B_1(V)/2.$

$$F(D) = 1. - \text{EXP}(-A(I) * (D^{**}B(I)))$$

$$(\circ) A(1) = 4.53E+35, B(1) = 7.0$$

$$(\square) A(2) = 7.92E+21, B(2) = 4.2$$

$$(\times) A(3) = 3.33E+18, B(3) = 3.5$$

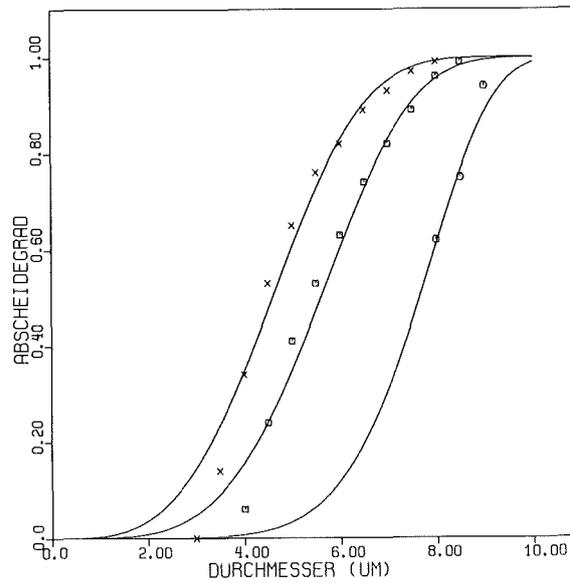


Abbildung 7: Abhängigkeit des Abscheidegrades vom Aerosoldurchmesser für einen Fangrillenabscheider bei 3 verschiedenen Gasgeschwindigkeiten. Darstellung der experimentellen Ergebnisse und deren Einzelapproximation (x) $V = 4.39$ m/sec, (\square) $V = 3.66$ m/sec und (\circ) $V = 2.2$ m/sec

Damit folgt:

V(m/sec)	A(1/m ²)	B
2.20	$1.54 \cdot 10^{10}$	3.5
3.66	$2.68 \cdot 10^{10}$	2.1
4.39	$3.84 \cdot 10^{10}$	1.75

Die Darstellung der Koeffizienten A in linearer Abhängigkeit der Gasgeschwindigkeit V:

$$A(V) = A_1 \cdot V + A_2$$

ergibt durch Anwendung der Methode kleinster Quadrate die Koeffizienten

$$A_1 = 9.3 \cdot 10^9 \text{ (sec/m}^3\text{)} \quad \text{und} \quad A_2 = - 5 \cdot 10^9 \text{ (1/m}^2\text{)}.$$

Diese zweidimensionale Approximation hat als Ergebnis:

V(m/sec)	A(1/m ²)	S
2.20	$1.54 \cdot 10^{10}$	0.003
3.66	$2.90 \cdot 10^{10}$	0.037
4.39	$3.58 \cdot 10^{10}$	0.046

Die Werte für S der letzten Tabelle deuten eine annehmbare zweidimensionale Approximation der Funktion:

$$F(D,V) = 1 - \text{EXP}(- (A(V) \cdot D^2)^{B(V)})$$

im Geschwindigkeitsbereich zwischen 2.2 und 4.4. m/sec an. Ausschnitte dieser Approximation und die ihr zugrundeliegenden experimentellen Ergebnisse sind in Abbildung 8 dargestellt.

Die Funktion F(D,V) im Bereich von 1 bis 12 µm im Aerosoldurchmesser und 2 bis 8 m/sec in der Gasgeschwindigkeit zeigt Abbildung 9.

Diese Approximation ergibt für B(V) = 1 eine Gasgeschwindigkeit V = 7.68 (m/sec) und

$$A(7.68) = 6.64 \cdot 10^{10} \text{ (1/m}^2\text{)}$$

$$F(D, V) = 1. - \text{EXP}(-(A(V) \cdot D^{**2}) \cdot B(V))$$

$$A(V) = A1 \cdot V + A2$$

$$A1 = 9.3E+09 \quad A2 = -5.5E+09$$

$$B(V) = 15.36/2 \cdot V$$

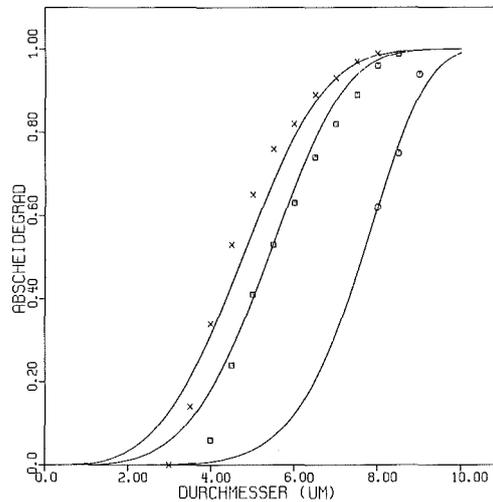


Abbildung 8: Ausschnitt aus der zweidimensionalen Anpassung und den entsprechenden experimentellen Ergebnissen
Symbole wie Abb. 2

Für den Ausdruck $n \cdot \alpha \cdot \Psi$ errechnet man:

$$n \cdot \alpha \cdot \Psi = 5.385 \cdot 10^{10} \cdot D^2$$

d.h. die lineare Geschwindigkeitsextrapolation von $A(V)$ liefert einen größeren Wert, verglichen mit dem theoretischen Wert. Zusätzlich liegen Meßergebnisse zum Abscheidegrad von einem anderen Euroform-Fangrillenabscheider vor, die bei einer Gasgeschwindigkeit $V = 8$ m/sec durchgeführt wurden /3/. Diese Ergebnisse lassen sich mit

$$\eta(D) = 1 - \text{EXP}(-3.05 \cdot 10^{12} \cdot D^2)$$

beschreiben. Daraus folgt, daß die lineare Geschwindigkeits-

$$F(D,V) = 1. - \text{EXP}(-A(V) \cdot D^{**2}) ** B(V)$$

$$A(V) = A1 \cdot V + A2$$

$$A1 = 9.3E+09 \quad A2 = -5.E+09$$

$$B(V) = 15.36/2 \cdot V$$

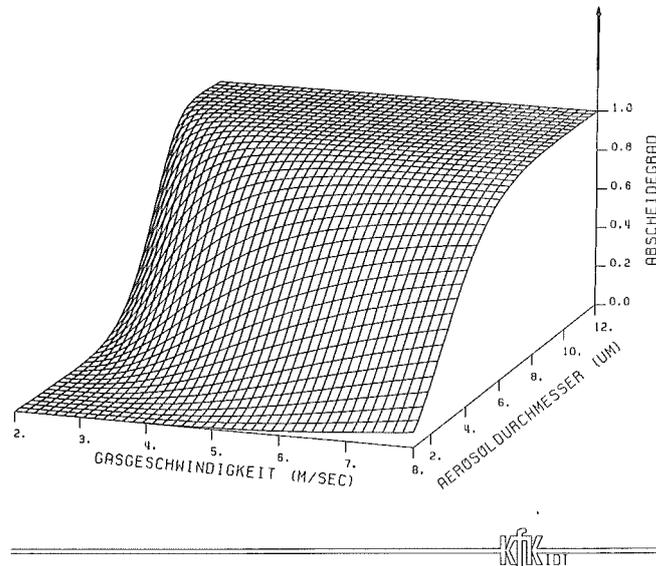


Abbildung 9: Dreidimensionale Darstellung von $F(D,V) = 1 - \text{EXP}(-A(V) \cdot D^2)^{B(V)}$ mit $A(V) = A1 \cdot V + A2$

abhängigkeit

$$A(V) = A1 \cdot V + A2$$

zur Beschreibung der vorliegenden Ergebnisse nicht ausreicht. Wir nehmen deshalb zur Darstellung der Abhängigkeit von A folgenden exponentiellen Ansatz:

$$A(V) = A1 \cdot \text{EXP}(A2 \cdot V^{A3})$$

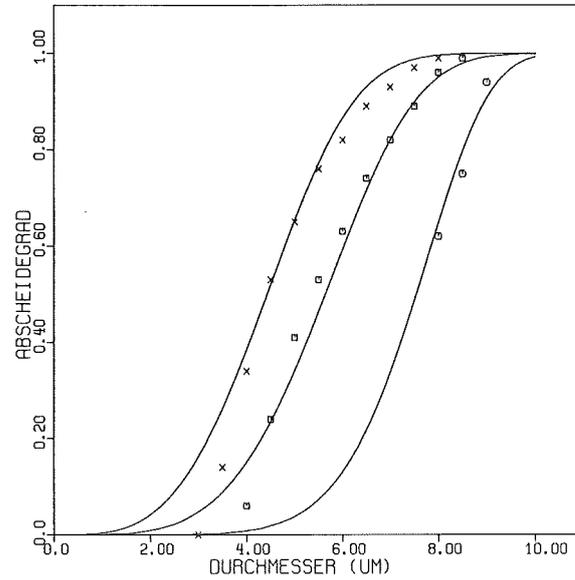
mit $A1 = 1.35 \cdot 10^{10} \text{ (1/m}^2\text{)}, \quad A2 = 0.0173, \quad A3 = 2.82$

$$F(D, V) = 1. - \text{EXP}(-A(V) * D^{**2}) ** B(V)$$

$$A(V) = A1 * \text{EXP}(A2 * (V ** A3))$$

$$A1 = 1.35E+10, A2 = 0.0173, A3 = 2.82$$

$$B(V) = 15.36 / 2 * V$$



KJK
TOT

Abbildung 10: Ausschnitt aus der zweidimensionalen Approximation und den entsprechenden experimentellen Ergebnissen
Symbole wie Abb. 2

und erhalten damit:

V(m/sec)	A(1/m ²)	S
2.20	1.58 10 ¹⁰	0.004
3.66	2.64 10 ¹⁰	0.027
4.39	4.14 10 ¹⁰	0.050
7.68	3.08 10 ¹²	-

Diese Approximation hat den Vorteil, daß sie die theoretischen

Vorstellungen und die vorhandenen experimentellen Ergebnisse in Verbindung bringt. Sie benötigt allerdings eine exponentielle Geschwindigkeitsabhängigkeit von A, d.h. des Trägheitsparameters.

Abbildung 10 zeigt die zweidimensionale Anpassung der experimentellen Ergebnisse mit Hilfe der exponentiellen Geschwindigkeitsabhängigkeit des Koeffizienten A(V). Abbildung 11 stellt die gesamte Approximation der Abscheidegrade des Fangrillenabscheiders dar.

$$F(D,V) = 1. - \text{EXP}(-(\text{A}(V) \cdot \text{D}^2) \cdot \text{B}(V))$$

$$\text{A}(V) = \text{A1} \cdot \text{EXP}(\text{A2} \cdot \text{V}^{\text{A3}})$$

$$\text{A1} = 1.35\text{E}+10 \quad \text{A2} = 0.0173 \quad \text{A3} = 2.82$$

$$\text{B}(V) = 15.36/2 \cdot \text{V}$$

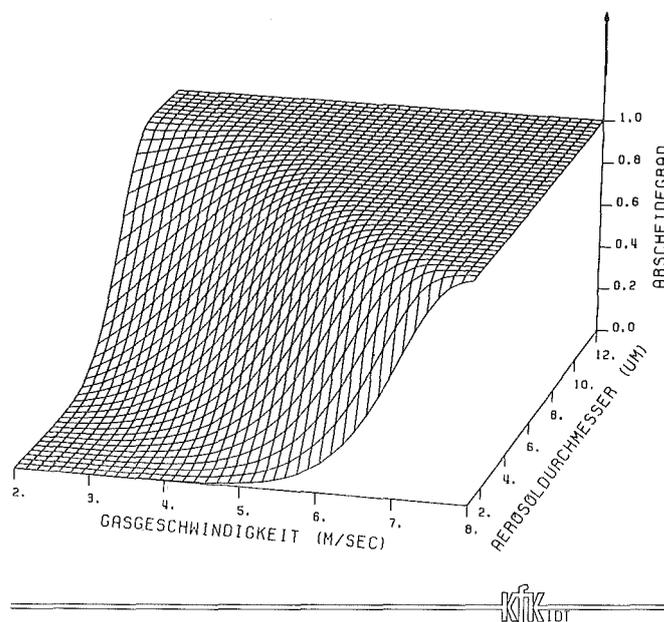


Abbildung 11: Dreidimensionale Darstellung von
 $F(D,V) = 1 - \text{EXP}(-\text{A}(V) \cdot \text{D}^2) \cdot \text{B}(V)$ mit
 $\text{A}(V) = \text{A1} \cdot \text{EXP}(\text{A2} \cdot \text{V}^{\text{A3}})$

Neben den Streulichtmessungen zur Aerosolabscheidung am Fangrillenabscheider liegt noch eine weitere Messung vor, die durch Auswertung von Kernporenfiltern am Rasterelektronenmikroskop gewonnen wurden. Die Anpassung der Ergebnisse ergab:

$$A = 1.764 \cdot 10^{10}$$

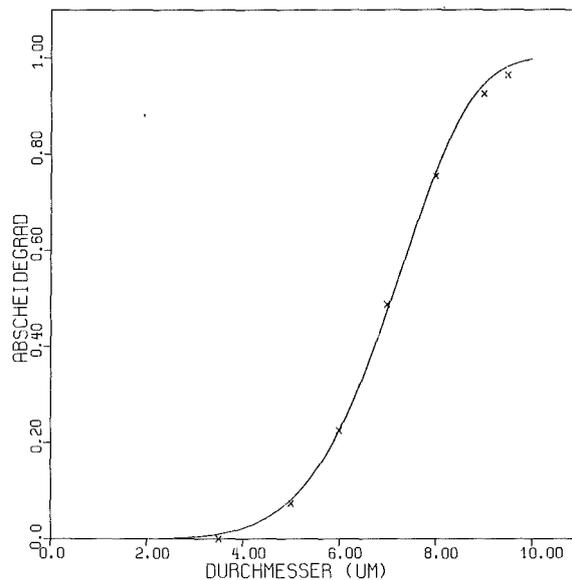
$$B = 3.$$

mit $S = 0.001$

und ist in Abbildung 12 dargestellt. Die zugrundeliegenden Experimente wurden wie eine der Streulichtmessungen bei einer Gasgeschwindigkeit von $V = 4.39$ m/sec durchgeführt, ist jedoch mit dieser nicht vergleichbar. Eine recht gute Übereinstimmung der Ergebnisse mit der vorausgegangen zweidimensionalen Approximation erreicht man bei einer Gasgeschwindigkeit $V = 2.56$ m/sec.

$$F(D) = 1. - \text{EXP}(-(A*(D**2))**B)$$

$$A = 1.764E+10, B = 3.0$$



KIT

Abbildung 12: Experimentelle Ergebnisse (x) und die Approximation der REM-Messungen

IV. Faserpaketabscheider

Dem im letzten Kapitel beschriebenen Fangrillenabscheider ist ein Faserpaketabscheider als Feintropfenabscheider nachgeschaltet. Dessen Dekontaminationsfaktoren sind abhängig vom Aerosoldurchmesser in Tabelle 3 aufgelistet /4/.

Tabelle 3: Meßwerte zur Aerosolabscheidung am Faserpaketabscheider

LogD	LogDF	LogD	LogDF
0.143	2.805	0.555	5.000
0.201	2.875	0.602	5.750
0.279	2.911	0.634	5.607
0.322	3.500	0.652	6.089
0.342	3.500	0.690	6.125
0.380	3.964	0.719	5.821
0.477	4.661	0.748	6.107
0.517	4.768	0.778	6.089

In den ersten Störfallrechnungen zur Aerosolfreisetzung aus PASSAT wurde folgende Darstellung dieser Abhängigkeit benutzt:

$$\log DF = 7.4 \cdot \log D + 1.11$$

mit D = Partikeldurchmesser in μm

Dies entspricht einer Geraden in einem doppellogarithmischen Koordinatensystem. Die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen den aufgrund der letzten Gleichung errechneten und den experimentellen Ergebnissen ist $S = 1.74$. Die Anwendung der Methode kleinster Quadrate zur Approximation dieser experimentellen Ergebnisse gibt folgende lineare Beziehung:

$$\log DF = 6.2 \cdot \log D + 16$$

mit $S = 0.98$

Die Ähnlichkeit der doppellogarithmischen Darstellung der experimentellen Wertepaare ($\log DF$, $\log D$) des Fasermattenpaketabscheiders mit der Darstellung der Wertepaare (η, D) des Fangrillenabscheiders führte zu folgendem mathematischen Ansatz:

$$\log(DF) = K \cdot (1 - \text{EXP}(-A \cdot (\log D)^B)) + M.$$

Die Auswahl entsprechender Anfangswerte und anschließende Anwendung der Methode der kleinsten Quadrate ergab die Koeffizienten

$$A = 7.814$$

$$B = 3.0$$

$$K = 3.75$$

$$M = 2.5$$

mit $S = 0.46$

In Abbildung 13 sind sowohl die experimentellen Wertepaare als auch deren Approximation dargestellt. Die Approximation der experimentellen Werte ist gut, sie ist aber nicht geeignet, das gesamte Aerosolabscheideverhalten des Fasermattenpaketabscheiders zu beschreiben. Der Dekontaminationsfaktor eines Abscheiders geht gegen $DF = 1$ für kleiner werdende Partikeldurchmesser. Gründe für diese Diskrepanz könnten sein:

- 1). entweder verleiten die zwei kleinsten experimentellen Werte zu falscher Schlußfolgerung, d.h. tatsächlich fallen die Werte weiter ab gegen $\log DF = 0$,
- 2). oder die Abflachung der Funktion im Durchmesserbereich um $D = 1.5 \mu\text{m}$ ist richtig und sie stellt die Überlagerung verschiedener Filterwirkungsmechanismen dar, wie z.B. die Abscheidung von Aerosolen durch Trägheits- bzw. Diffusionseffekte.

Letztliche Klärung dieser Diskrepanz können nur weitere Experimente zur Aerosolrückhaltung am Fasermattenpaketabscheider mit kleineren Aerosoldurchmessern bringen.

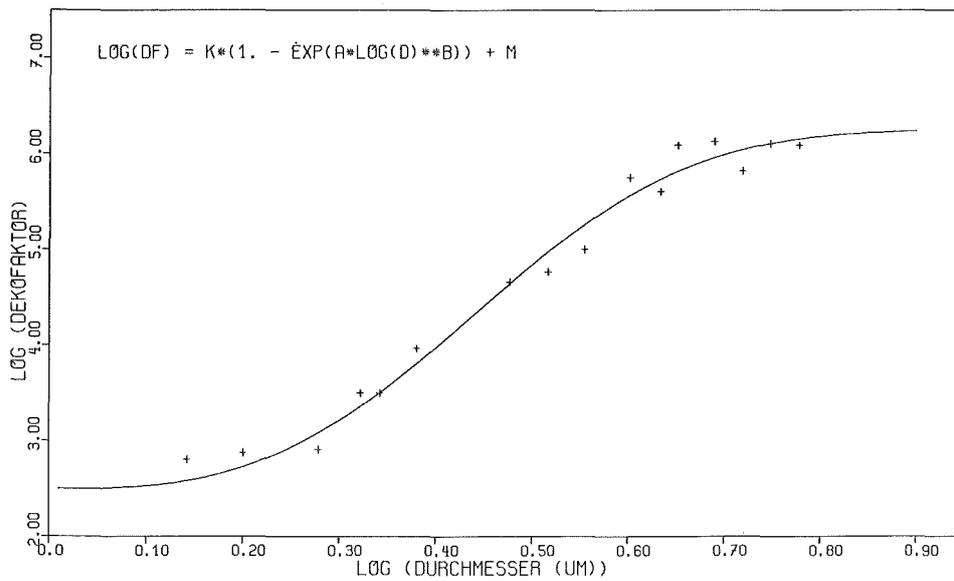


Abbildung 13: Dekontaminationsfaktor des Faserpaketabscheiders als Funktion des Aerosoldurchmessers. Darstellung und Approximation experimenteller Ergebnisse in doppellogarithmischem Maßstab

Die Approximation der Abhängigkeit des DF's vom Volumenstrom basiert auf folgenden experimentellen Resultaten:

Volumenstrom V(Nm ³ /h)	DF
75	4583
100	1854
125	1333
150	1166

Das diesen Experimenten zugrundeliegende Aerosolspektrum erstreckte sich über Durchmesserbereich von 0.01 bis 0.4 µm mit maximaler Partikelanzahl bei 0.12 µm. Der mathematische Funktionsansatz war:

$$F(V) = A/V^3 + B/V^2 + C/V + D.$$

Die Koeffizienten der Funktion sind

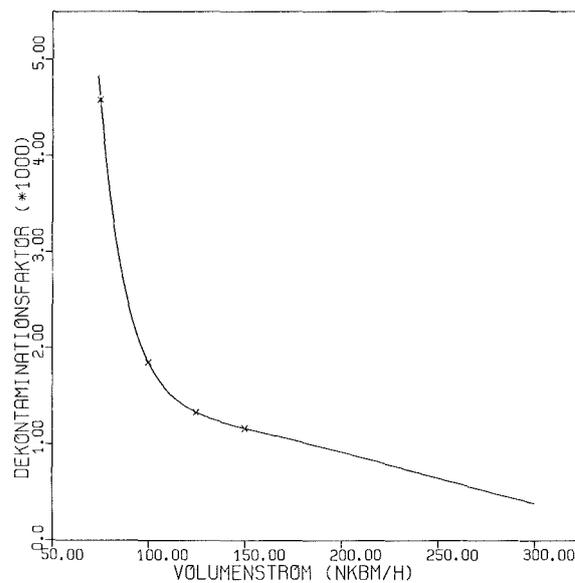
$$\begin{aligned} A &= 9.6 \cdot 10^9 \\ B &= -1.9 \cdot 10^8 \\ C &= 1.4 \cdot 10^6 \\ D &= -2.6 \cdot 10^3 \end{aligned}$$

Experimentelle Meßwerte für $V = 75, 100, 125$ und $150 \text{ Nm}^3/\text{h}$ und die Funktionswerte zwischen $V = 74$ und $300 \text{ Nm}^3/\text{h}$ sind in Abbildung 14 wiedergegeben.

$$DF(\dot{V}) = A/\dot{V}^{**3} + B/\dot{V}^{**2} + C/\dot{V} + D$$

$$A = 9.613125\text{E}+09, B = -1.965487\text{E}+08$$

$$C = 1.452775\text{E}+06, D = -2.632\text{E}+03$$



KIK_{TOT}

Abbildung 14: Dekontaminationsfaktor des Paketabscheiders als Funktion des Volumenstroms (Nm^3/h)

Diese Approximation gibt die experimentellen Werte zwar exakt wieder und ist deshalb in diesem Bereich gültig. Sie ist nicht anwendbar im Gebiet des Volumenstroms $V < 75 \text{ Nm}^3/\text{h}$, da sie hier gegen ∞ strebt.

V. Schlußfolgerungen

Die Modellierung der Testanlage PASSAT hat gezeigt, daß die zeitabhängige Beschreibung der Jodsorptionsfilterstrecke ein umfassenderes Bild darstellt als die Aerosolrückhaltung. Sind für die Jodfilterstrecke Quellstärke, Temperaturverhalten der Gaserhitzer, sowie das Verhalten des Sorptionsfilters innerhalb gewisser Bereiche bekannt und damit modellierbar, so fehlt die für die Modellierung der Aerosolrückhaltung dringend notwendige Vorstellung über Masse und Spektrum an Aerosolen, die die Anlage PASSAT treffen, fast vollständig. Es ist deshalb im Moment praktisch unmöglich, die Differenzdruckänderung über das HEPA-Filter abhängig von seiner Beladung (Zeit) anzugeben, da das Aerosolspektrum hierauf entscheidenden Einfluß hat. Von Wichtigkeit sind deshalb die neueren Experimente des Laboratoriums für Aerosolphysik und Filtertechnik (LAF II) zur Bestimmung des Aerosolfraktionsabscheidegrades eines Euroform-Lamellenabscheiders. Der Abscheidegrad des Fangrillenabscheiders als Funktion des Aerosoldurchmessers konnte mit guter Näherung angegeben werden. Weiter war es möglich, einiges über seine zweidimensionale Abhängigkeit, Durchmesser und Gasgeschwindigkeit auszusagen, das allerdings den theoretischen Vorstellungen über den Lamellenabscheider zum Teil widerspricht.

Noch nicht geklärte Diskrepanzen treten auf zwischen den beiden Meßmethoden

- Streulichtmessungen und
- REM-Messungen an Kernporenfiltern.

Für den Faserpaketabscheider konnte der Dekontaminationsfaktor jeweils als Funktion von Aerosoldurchmesser und vom Volumenstrom mathematisch modelliert werden.

Literaturverzeichnis

- /1/ Nagel, K., Furrer, J.:
Zeitabhängige Modellierung einer Jodsorptionsfilterstrecke
KfK-3544 (1983)
- /2/ Bürkholz, A., Muschelknautz, E.:
Tropfenabscheider Übersicht zum Stande des Wissens
Chemie-Ing.-Technik 44. Jhrg. 1972, S. 503
- /3/ Hochleistungsabscheider, Typenreihe TS5
Euroform (Aachen), Produktinformation
- /4/ Furrer, J., Kaempfer, R., Linek, A., Maerz, A.:
Results of Cleaning Dissolver Off-gas in the PASSAT Prototype
Dissolver Off-gas Filter System
CONF-801038, p. 566 (1980)
- /5/ Nagel, K., Furrer, J., Becker, G., Obrowski, W., Seghal, Y.P.,
Weyman, J.:
Time-Dependent Analyses of Dissolver Off-gas Cleaning
Installations in a Reprocessing Plant
CONF-820833, p. 51 (1982)