

Chimia 46 (1992) 79-83  
 © Schweiz. Chemiker-Verband; ISSN 0009-4293

# Schutz gegen industrielle Schadstoffe durch den ABC-Schutzfilter 74

Werner Arnold\* und André Lavanchy

**Abstract.** This paper reports protection performance data of the NBC-canister (NBC-SF 74) against some important industrial agents under various experimental conditions (humidity, challenge concentration). The principles of construction and function of the NBC-SF 74 are explained, and a description of the measuring apparatus is given. The protection capabilities against different compounds are discussed, and for 25 substances the evaluated data listed. For challenge concentrations below 0.5 vol.-% and agents with b.p. > 65°, sufficient protection levels are observed. The protection levels against industrial agents with low b.p. are lower and must be carefully evaluated as a function of the prevailing environment conditions.

- zeitlicher Konzentrationsverlauf vor dem Filter
- Meteo/Umgebung
  - Temperaturverlauf/Luftfeuchtigkeitsverlauf

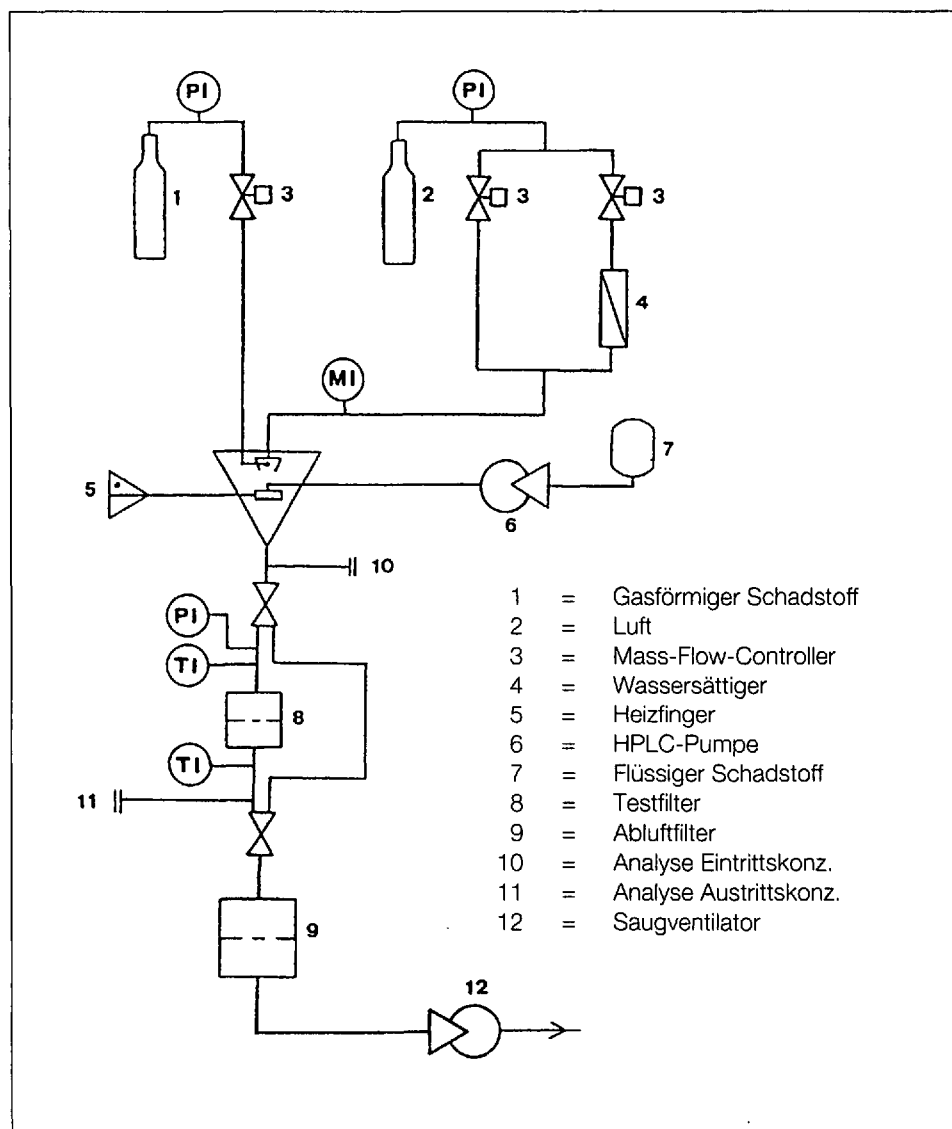
Kombinationsfilter, wie der ABC-Schutzfilter 74 (ABC-SF 74) zur Schutzmaske der Schweizer Armee [1], haben eine Doppelfunktion. Sie müssen grobe bis feinst verteilte Staubkörner, Tröpfchen (Schwebstoffe = Aerosole), sowie gasförmige Schadstoffe aus der durchströmenden Luft abscheiden. Dies geschieht nach zwei völlig verschiedenen Verfahren. Der ABC-SF 74 hat deshalb zwei Hauptkomponenten, einen Schwebstofffilter aus Glasfasermaterial und eine Aktivkohle-Schicht als Gasfilter. Die Luft durchströmt zuerst den Schwebstofffilterteil. Darin abgeschiedene Tröpfchen verdunsten mehr oder weniger rasch in den Luftstrom. Die gasförmigen Luftfremdstoffe werden im nachfolgenden Aktivkohle-Teil zurückgehalten. Daraus ergibt

## Einleitung

Wie lange schützt ein Atemfilter? – Diese Frage wird immer wieder gestellt, und kaum jemals erhält der Fragesteller eine einfache und klare Antwort, da die Abscheideleistung des Filters nicht nur durch filterspezifische Parameter, sondern ebenso stark durch die Einsatzbedingungen bestimmt wird.

Die wichtigsten Einflussgrößen sind:

- Filter
  - Menge Sorptionsmittel
  - geometrische Anordnung der Sorptionsschicht
  - Luftrate (Atemfrequenz)
- Sorptionsmittel
  - Art/Korngrösse/Imprägnierung
  - Oxidationszustand der Oberfläche/Alterung
  - Vorbeladung mit gleichen oder anderen Stoffen
- Schadstoff
  - Art(en): chemische, physikalisch-chemische und physikalische Eigenschaften
  - Zusammensetzung von Schadstoffmischungen



- 1 = Gasförmiger Schadstoff
- 2 = Luft
- 3 = Mass-Flow-Controller
- 4 = Wassersättiger
- 5 = Heizfinger
- 6 = HPLC-Pumpe
- 7 = Flüssiger Schadstoff
- 8 = Testfilter
- 9 = Abluftfilter
- 10 = Analyse Eintrittskonz.
- 11 = Analyse Austrittskonz.
- 12 = Saugventilator

\*Korrespondenz: Werner Arnold  
 Gruppe für Rüstungsdienste  
 Laboratorium Spiez  
 CH-3700 Spiez

Fig. 1. Funktionelles Apparatschema der Messanlage

Tab. 1. Sorptionsleistung des ABC-SF 74 gegen Substanzen mit einem Sdp. kleiner als 65° ('Niedrigsieder'). Eintrittskonzentration: 1000 ppm; rel. Luftfeuchtigkeit: 50%.

Substanz	Sdp. [°C]	Durchbruchskonz. [ppm]	Durchbruchszeit [min]
Dimethylether	-24.8	10	5
Methyljodid	42.5	2 (MAK)	34
2-Aminobutan	63.0	5 (MAK)	175
Diethylamin	56.0	10 (MAK)	150
Chloroform	61.1	10 (MAK)	60
Acrolein	52.0	0.1 (MAK)	87
1,1-Dichlorethen	48.0	10 (MAK)	58
Dichloromethan	40.7	100	41
Acetaldehyd	20.8	50 (MAK)	12
Aceton	56.2	100	74
Methylformiat	31.5	100	28
Methanol	64.7	100	32
Diethylether	34.6	100	65
Pentan	36.1	100	68
Dimethoxymethan	45.5	100	65
Methyl-acetat	56.9	100	82

Tab. 2. Sorptionsleistung des ABC-SF 74 gegen Stickstoffdioxid. Eintrittskonzentration : 2.15 g/m<sup>3</sup>; Durchbruchskonzentration : 5 ppm (MAK).

Prüfluftfeuchte [% R.F.]	Filterkonditionierung [% R.F.]	Durchbruchszeit [min]
0	0	43
30	30	26
60	60	5
90	90	3.5
60	frisch geöffnet	189.5

Tab. 3. Sorptionsleistung des ABC-SF 74 gegen Methyljodid. Eintrittskonzentration : 1000 ppm, Durchbruchskonzentration: 2 ppm.

Prüfluftfeuchte [% R.F.]	Filterkonditionierung [% R.F.]	Durchbruchszeit [min]
0	0	65
50	frisch geöffnet	43
50	50	34
70	70	< 5
90	90	< 2

sich die zwingende Reihenfolge des Filteraufbaues.

Ohne auf die Abscheidemechanismen des Schwebstofffilters näher einzugehen, gilt, dass eine genügende Schutzleistung im ganzen Bereich von Staub und Aerosolen, die bei zivilen C-Ereignissen freigesetzt werden, gewährleistet ist.

Physikalische Adsorption, sowie Chemisorption und Katalyse sind die wesentlichen Vorgänge bei der Abscheidung gasförmiger Stoffe im Aktivkohle-Teil. Die reine physikalische Adsorption ist eingehend erforscht und mathematisch erfassbar [2]. Entsprechend sind Simulationsmodelle entwickelt worden, deren Resultate mit vergleichbaren Messungen gut korrelieren [3].

Chemisorption und Katalyse beruhen oft auf einer Vielfalt komplexer Prozesse, die im allgemeinen noch ungenügend bekannt sind. Es fehlen mathematische Modelle zur Voraussage der Chemisorptionsleistung. Experimentelle Bestimmungen sind, unter Berücksichtigung einer möglichst breiten Variation der Einflussgrößen, ausschlaggebend zur Voraussage der Adsorptionsleistungen.

Im folgenden soll die experimentell ermittelte Schutzleistung des ABC-SF 74 gegen einige ausgewählte Substanzen, in Abhängigkeit der wichtigsten Einflussgrößen (Konzentration, Luftfeuchtigkeit), aufgezeigt und diskutiert werden. Chemisorption und Katalyse werden jeweils an einem typischen Beispiel erläutert.

## Experimenteller Teil

### Apparatur

Das Prinzip der Messapparatur ist aus dem vereinfachten funktionellen Apparatschema ersichtlich (Fig. 1). Der Prüfluftstrom (trockene, ölfreie Pressluft (2)) wird mit den beiden Mass-Flow-Controllern (3) geregelt, wobei mit dem Wassersättiger (4) die gewünschte rel. Luftfeuchtigkeit eingestellt wird. Gasförmiger Schadstoff wird mit einem auf den jeweiligen Schadstoff kalibrierten Mass-Flow-Controller (3) zudosiert. Flüssiger Schadstoff wird mit einer HPLC-Pumpe (6) dosiert, und in der Mischkammer auf einem Heizfinger (5) verdampft. Die schadstoffbeladene Luft wird analysiert (10) und durch den Testfilter geleitet. Nach dem Filter wird die Austrittskonzentration (11) bestimmt und der Luftstrom einem Abluftfilter zugeführt. Aus Sicherheitsgründen wird in der Anlage mit dem Saugventilator (12) ein kleiner Unterdruck (1000 Pa) erzeugt. Gegeben durch die hohen Anforderungen in Bezug auf Korrosion bestehen alle Rohrleitungen, Ventile etc. der Messapparatur aus Glas oder Teflon.

Die Analyse richtet sich nach dem Schadstoff. Gaschromatographie (diskontinuierliche Analyse über Gasschlaufe), IR-Analyse (20 m Gaszellen) oder elektrochemische Zellen werden eingesetzt.

Mit dieser Anlage verfügt das Laboratorium Spiez über ein modernes Instrumentarium zur Messung von Filterleistungen gegen industrielle Schadstoffe.

**Resultate und Diskussion**

Mit der beschriebenen Apparatur wurde die Schutzwirkung des ABC-SF 74 gegen die wichtigsten (Transport, Lagerung, Toxizität) industriellen Schadstoffe gemessen.

Alle in dieser Arbeit präsentierten Resultate beziehen sich auf folgende Messbedingungen:

- Volumenstrom Prüfluft : 2 m<sup>3</sup>/h
- Temperatur : 293 K
- Druck (Eingang Filter) : 93 kPa
- Filterkonditionierung : Im Luftstrom von 2 m<sup>3</sup>/h, 48 h, 293 K, entsprechende Luftfeuchte

*Organische Substanzen – Physikalische Adsorption*

Am besten verständlich und theoretisch zugänglich ist die Bindung von Gasen an Aktivkohle durch physikalische Adsorption. Hier gilt im besonderen die Regel, dass Gase und Dämpfe umso besser adsorbiert werden, je geringer die Polarität und je höher ihr Siedepunkt ist.

In der Tat ist die Schutzwirkung des ABC-SF 74 bei Raumtemperatur gegen organische Substanzen mit einem Siedepunkt über 65° im allgemeinen gut bis sehr gut (Hexan [4], Toluol [5] etc.). Als Adsorptionsvorgang steht meistens die *physikalische Adsorption* im Vordergrund. Hohe Luftfeuchtigkeit (und entsprechender Wassergehalt der Aktivkohle) sowie hohe Temperatur (Desorption) verringern die Sorptionskapazität gegenüber diesen Substanzen. Für leichtflüchtige organische Verbindungen, die sog. 'Niedrigsieder' (Sdp. < 65°) ist nach DIN 3181 der spezielle Filtertyp AX einzusetzen. Der ABC-SF 74 besitzt aber auch gegen diese Substanzen eine gewisse Schutzwirkung (Tab. 1, Fig. 2).

*Anorganische Gase und Dämpfe – Chemisorption und Katalyse*

Da die rein physikalische Adsorption für die Substanzen mit niedrigem Siedepunkt ungenügend wäre, ist die Aktivkohle mit Cr-, Cu- und Ag-Salzen imprägniert. Diese fest an der inneren Aktivkohle-Oberfläche haftenden Zusätze bewirken eine chemische Bindung (Chemisorption) mit den zu adsorbierenden Substanzen und/oder deren chemische Zersetzung. Auftretende Abbauprodukte müs-

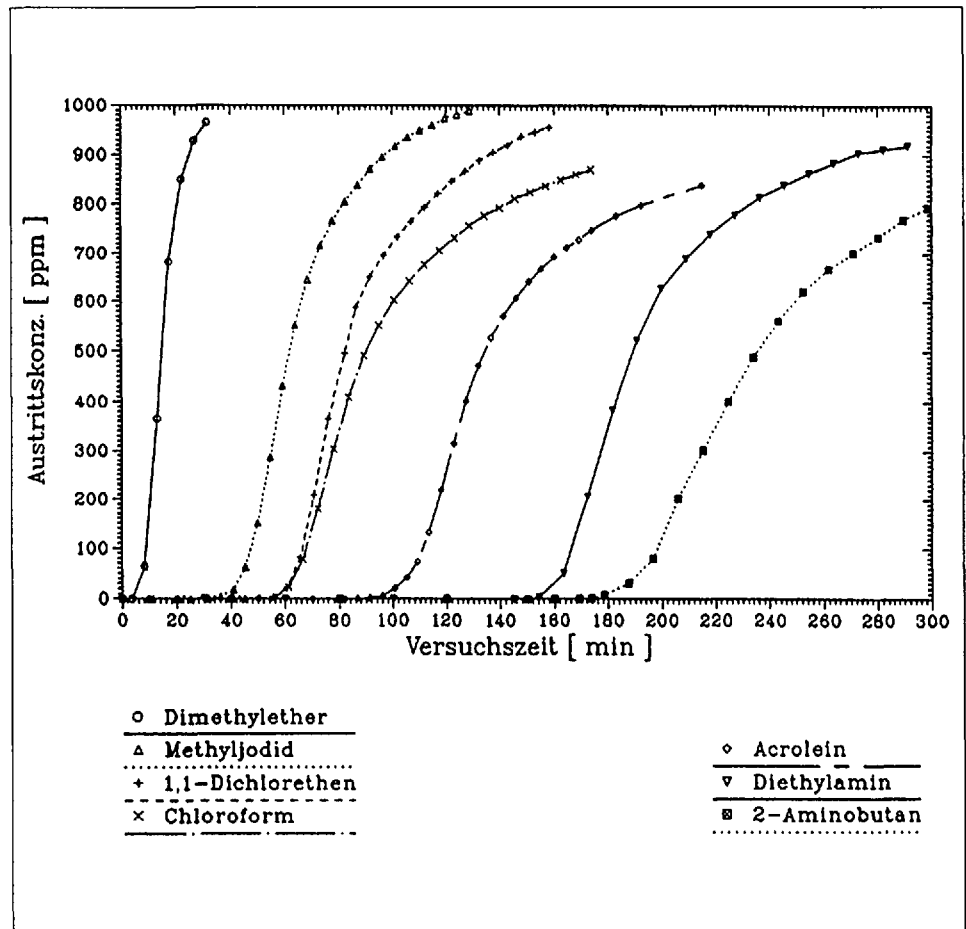


Fig. 2. Durchbruchkurven einiger 'Niedrigsieder'. Eintrittskonzentration: 1000 ppm; Rel. Luftfeuchtigkeit: 50%.

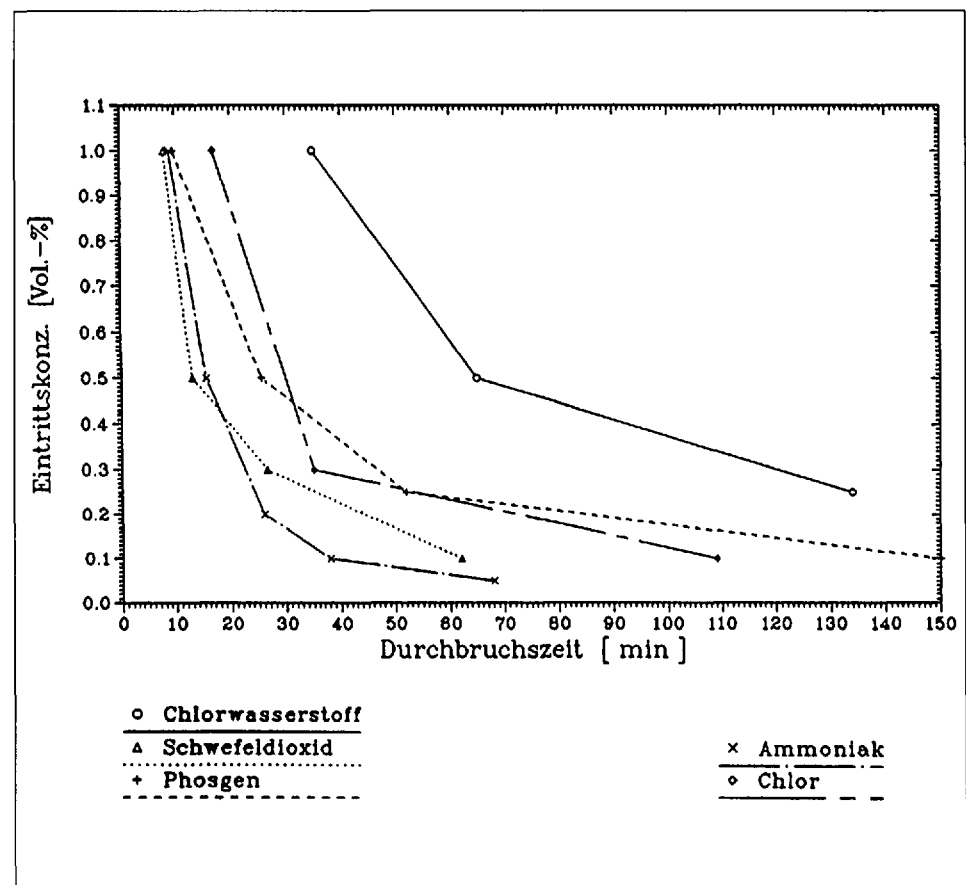
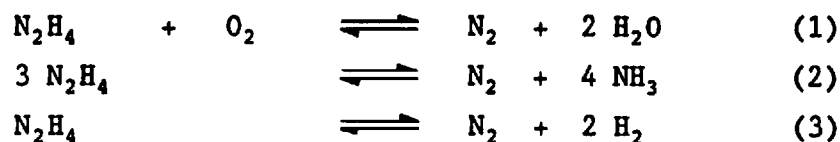


Fig. 3. Sorptionsleistung des ABC-SF 74 gegen einige wichtige techn. Gase in Abhängigkeit der Konzentration bei einer relativen Prüfluftfeuchtigkeit von 60% (kond. Filter). Durchbruchkonzentration ist der jeweilige MAK-Wert der Substanz.



*Hydrazin – ein Beispiel der Katalyse*

Ein typisches Beispiel einer Katalyse ist die Entfernung von  $N_2H_4$  aus Atemluft mittels Aktivkohle [10]. Die in diesem Fall schlechte Adsorptionsfähigkeit wird durch eine heterogene katalytische Umsetzung mehr als kompensiert. Diese kann nach drei Reaktionen ablaufen:



Untersuchungen [10] ergaben, dass die Reaktion gemäss (1) bei einem Überschuss von  $O_2$  zu über 95% abläuft. In  $O_2$ -freiem Medium überwiegt die Disproportionierungsreaktion (2) mit über 98%. Die Zersetzung in die Elemente gemäss (3) ist von untergeordneter Bedeutung.

Eigene Sorptionsmessungen mit  $N_2H_4$  bestätigen die Reaktionsmechanismen. Trotz relativ hoher Eintrittskonzentration von  $6 \text{ g/m}^3$ , konnte auch nach 6 h beim ABC-SF 74 kein Durchbruch beobachtet werden.  $NH_3$  konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden – ein Hinweis, dass die Zersetzung des Hydrazins nicht nach Reaktionsmechanismus (2) verläuft.

*Schutz vor möglichen AKW – Emissionen*

Die immer wieder auftauchenden Fragen im Zusammenhang mit Überlegungen zu möglichen Folgen von Atomkraftwerk-Unfällen lassen sich wie folgt beantworten: Der ABC-Schutzfilter kann radioaktive Edelgase wie die Isotopen von Kr und Xe nicht genügend gut abscheiden; sie haben zu tiefe Siedepunkt ( $-152.3^\circ$  bzw.  $-107.1^\circ$ ) und sind bezüglich Chemisorption inert. Jod bleibt als Partikel im Aerosolfilter oder dann sicher in der Aktivkohle hängen. Gegen radioaktives  $CH_3I$  ist die Schutzleistung nicht hervorragend bzw. sehr stark abhängig vom  $H_2O$ -Gehalt der Luft und des Adsorbens (Tab. 3); den immissionsseitig zu erwartenden niedrigen Konzentrationen ist der Filter aber gewachsen.

**Schlussfolgerung**

Der ABC-Schutzfilter 74 (und übrigens auch die Kollektivfilter in Schutzräumen mit BZS-Zulassung) bietet Schutz gegen industrielle Schadstoffe. Ob dieser Schutz ausreichend ist, hängt bei gegebenen filterspezifischen Parametern von den Einsatzbedingungen ab. Im praktischen Einsatz sind Art und Konzentration der Schadstoffe, Filterzustand sowie meteorologische

Größen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit) von entscheidender Bedeutung für die Abscheideleistung. Aufgrund unserer Messungen gelten folgende allgemeine Aussagen zur Schutzwirkung des ABC-SF 74:

– Die Konzentration des Schadstoffes soll 0.5 Vol.-% nicht überschreiten.

– Substanzen mit hohem Siedepunkt sind problemlos, bei den flüchtigen Stoffen (Sdp.  $< 65^\circ$ ) sind Art und Konzentration entscheidend.

– Saure Gase und Dämpfe werden besser abgeschieden als neutrale oder alkalische.

– Hohe Feuchtigkeit der Aktivkohle reduziert die Physisorptionsleistung, wirkt sich aber bei der Chemisorption oft positiv aus.

Die erwähnten Einsatzbeschränkungen bedeuten, dass der Filter bei realistischen Immissionskonzentrationen seine Schutzfunktion erfüllt, keinesfalls aber einen genügenden Schutz garantiert am Ort hoher und höchster Konzentrationen, wie sie Einsatzkräfte (Feuerwehr, Chemiewehr) unmittelbar auf Schadenplätzen von C-Katastrophen antreffen können! Selbstverständlich ist die Tatsache, dass der Filter fehlenden Sauerstoff in der Umgebungsluft nicht liefern kann!

Im Laboratorium Spiez wird eine Datenbank mit eigenen und aus der Literatur gesammelten Sorptionsdaten und relevanten Stoffdaten laufend ausgebaut.

Eingegangen am 6. November 1991

- [1] Nach DIN 3181 ist der ABC-SF 74 ein B2P3-Filter, also ein Kombinationsfilter, wie er gegen Kohlenwasserstoffe und eher saure Gase empfohlen wird. Für Schraubfilter dieses Types (Filterklasse 2) darf nach DIN 3181 die maximale Konzentration des Schadstoffes 0.5 Vol.-% nicht überschreiten.
- [2] D.M. Ruthven, 'Principles of Adsorption and Adsorption Processes', J. Wiley, New York, 1984.
- [3] P. Laduguie, R. Touzani, A. Lavanchy, 'Study of a Simple Model for Physical Adsorption by Active Carbon Beds', *Math. Eng. Ind.*, in press.
- [4] Beladung bei Durchbruch  $> 0.2 \text{ g/g}$  Aktivkohle ( $c_{\text{ein}} : 1000 \text{ ppm}/50\% \text{ rel. F.}$ ).
- [5] Beladung bei Durchbruch  $> 0.3 \text{ g/g}$  Aktivkohle ( $c_{\text{ein}} : 1000 \text{ ppm}/50\% \text{ rel.F.}$ ).

[6] Keine Schutzwirkung des ABC-SF 74.

[7] Keine Messungen am ABC-SF 74.

[8] Beladung bei Durchbruch  $> 0.5 \text{ g/g}$  Aktivkohle ( $c_{\text{ein}} : 1000 \text{ ppm}/50\% \text{ rel. F.}$ ).

[9] M. Reinke, 'Zur simultanen Abscheidung von Chlorwasserstoff und Schwefeldioxid aus Rauchgasen an dotierten Aktivkohlen', Dissertation, Technische Hochschule Aachen, Aachen, 1979.

[10] L. Braunstein, K. Hochmüller, W. Wied, *Vom Wasser* 1982, 59, 365.