

Die Aufnahmefähigkeit von Atemfiltern und ihre Bedingtheiten.

Von Dr. GERHARD STAMPE, Lübeck.

(Eingeg. 9. Juni 1933.)

Vorgetragen in der Fachgruppe für Luftschutz auf der 46. Hauptversammlung des V. d. Ch. zu Würzburg, 9. Juni 1933.

Atemfilter haben die Aufgabe, eine mit giftigen Gasen oder Schwebstoffen verunreinigte Atmosphäre atembar zu machen. Die Atembarkeit der Luft wird aber nicht nur durch ihre Freiheit von Giftstoffen bedingt, sondern sie erfordert weiter einen ausreichenden Sauerstoffgehalt. Daher kann ein Atemfilter nur dann gefahrlos angewandt werden, wenn der Sauerstoffgehalt der Atmosphäre schon vor ihrem Eintritt in das Filter genügend groß war.

I. Filterwirkung und Aufnahmefähigkeit.

Da das Filter Beimischungen aus der Atemluft entfernen soll, hängt seine Brauchbarkeit von zwei Eigenschaften besonders ab:

1. von der Wirksamkeit der Filtermasse, die in den Prozenten Giftstoff, die das Filter von der angebotenen Menge zurückhält, angegeben wird;
2. von der Aufnahmefähigkeit der Filtermasse, die in Grammen Giftstoff angegeben wird.

Diese beiden Eigenschaften sind abhängig voneinander und von den Bedingungen, unter denen man sie zu messen sucht.

Bei der übergroßen Empfindlichkeit der menschlichen Lunge und Nase muß die Wirksamkeit der Filtermassen in den meisten Fällen so nahe an 100% liegen, daß ein etwaiger das Filter passierender Anteil analytisch nicht mehr festzustellen ist. Dadurch wird die Grenze der Aufnahmefähigkeit der Filtermassen — der „Durchbruch“ des Atemfilters — an die Stelle gesetzt, wo sie anfängt, nicht mehr 100%ig zu wirken. Bestimmt wird dieser Punkt meist durch Feststellung der Zeit, die beim Durchströmen des Filters mit einem kontinuierlichen Luftstrom mit gleichbleibendem Giftgasgehalt bis zum Nachweis von Giftspuren hinter dem Filter verstreicht.

Damit kommt man zu einer in Zeitmaß ausgedrückten Aufnahmefähigkeit des Filters. Diese hängt aber nicht eindeutig mit der eigentlichen Benutzungszeit zusammen. Der Ausdruck für die Aufnahmefähigkeit F aus der Luftgeschwindigkeit v l/min, der Gaskonzentration c g/m³ und der bis zum Durchbruch gemessenen Zeit t min

$$1.) \quad F = \frac{v \cdot t}{1000} \cdot c \text{ g}$$

gibt die Filterleistung bei wechselnden Bedingungen nur sehr angenähert wieder¹⁾, denn die Atemfilter zeigen meist einen

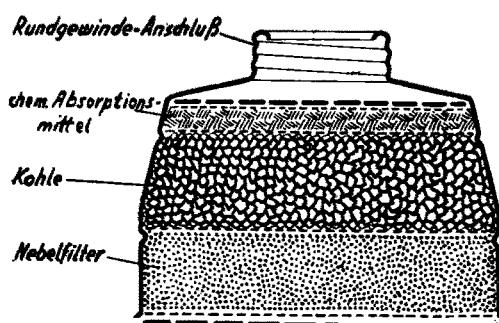


Abb. 1. Atemfiltereinsatz (Dräger-Nebelfiltereinsatz 204).

¹⁾ Auch kann man nach dieser Formel bei bekanntem F und annähernder Schätzung von v und c sich einen Überblick über die mutmaßliche Gebrauchszeit eines Atemfilters in jedem besonderen Fall machen. Vgl. Stampe, Draegerhefte 130, 1453 [1928].

Schichtenaufbau (Abb. 1), und jede Schicht folgt besonderen Gesetzen²⁾. Trotzdem kommt man zu einer Filterbewertung, wenn man als Aufnahmefähigkeit unter vergleichbaren Versuchsbedingungen die bis zum Durchbruch aufgenommene Giftmenge in g definiert (Tabelle 1). Diese Bewertung der Aufnahmefähigkeit nach dem Gewicht hat vor derjenigen nach der Zeit den Vorteil, nicht unmittelbare Schlüsse auf die praktische Benutzungszeit des Filters herauszufordern.

Tabelle 1. Aufnahmefähigkeit der Dräger-Atemfilter Type 90. Luftgeschwindigkeit: 30 l/min. Luftfeuchtigkeit: 50—70% rel. Temperatur: 15—20°. Mittlere Gaskonzentration.

Kennbuchstabe	Farbe	Stoff	Aufnahmefähigkeit in Gramm
A	braun	Tetrachlorkohlenstoff	37,9
		Chlorpirkin	43,4
		Benzol	33,0
B	grau	Phosgen	8,5
		Chlorpirkin	21,0
E	gelb	Schweflige Säure	20,3
		Schweflige Säure	8,7
F	rot	Tetrachlorkohlenstoff	3,6
		Blausäure	4,5
G	blau	Blausäure	2,8
		Chlorpirkin	3,0
J	blau/braun	Ammoniak	3,7
K	grün	Schwefelwasserstoff	6,3
		Ammoniak	3,0
L	gelb/rot	Schwefelwasserstoff	1,7
		Tetrachlorkohlenstoff	9,3
M	gelb/blau	Schwefelwasserstoff	1,2
		Benzol	5,6

II. Wirkung des Schwebstoffilters.

Bei einem Schwebstofffilter ist fast nur die Wirkksamkeit (siehe I, 1) der meist verwendeten Faserstofffiltermassen maßgebend. Diese hängt bei einem gegebenen Aerosol hauptsächlich von dem physikalischen Zustand der dispersen Phase ab. Trotzdem können sich die einzelnen Schwebstoffarten nach ihrer Grundsubstanz sehr verschieden verhalten; besonders auffallend ist der Unterschied zwischen feuchten und trockenen Nebeln³⁾. Die Schwebstofffilter gleichen den Papierfiltern für Flüssigkeiten: wenn die ersten Mengen des zu filtrierenden Niederschlages auf dem Papier bleiben, dann tun dies auch die weiteren Niederschlagsmengen, und eine Grenze findet der Vorgang erst, wenn der angesammelte Niederschlag so dicht wird, daß sich das Filter verstopft. Bei der üblichen Verwendung von Schwebstofffiltern dagegen sind die Schwebstoffe an Menge so gering, daß der Zeitpunkt des Verstopfens außerordentlich fern liegt. Auch bedeutet beim Schwebstofffilter steigende Konzentration nicht notwendig höhere Belastung, weil dichtere Nebel meist eher zur Koagulation neigen und dadurch leichter filtrierbar werden als schwächere. Dagegen bedeutet bei Nebelfiltern, wenigstens soweit sie aus Fasermaterialien bestehen, steigende Luftgeschwindigkeit eine

²⁾ Vgl. Gibbs, Clouds and Smokes, London 1924, z. B. S. 142. Vgl. Engelhard, Ztschr. Elektrochem. 31, 590 [1925].

³⁾ Remy u. Mitarbeiter, Ztschr. anorgan. allg. Chem. 138, 167 [1924]; 139, 51 [1924]; 157, 241 [1927].

Verringerung der Wirksamkeit bis zu einem Grenzwert, der nicht mehr unterschritten wird. Gleichzeitig steigt mit steigender Luftgeschwindigkeit natürlich der Durchströmungswiderstand.

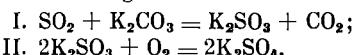
Kurve Abb. 2 zeigt dies typische Verhalten an einer Zellstoffplatte. Sie wurde absichtlich so ausgewählt, daß die Wirksamkeit nicht 100% beträgt, weil sich die Unterschiede so besser deutlich machen lassen⁴⁾.

III. Bedingtheit der Leistung von Gasfiltern:

1. durch Durchströmungsgeschwindigkeit.

Auch bei Gasfiltern ist die Luftgeschwindigkeit von ausschlaggebender Bedeutung für die Filterleistung, weniger durch Beeinflussung der Wirksamkeit wie bei den Schwebstofffiltern, sondern durch Beeinflussung der Aufnahmefähigkeit, die meist mit steigender Luftgeschwindigkeit sinkt.

Das zeigen an zwei ganz verschiedenen aufgebauten Filtertypen die Kurven Abb. 3 und 4. Das Filter A, dessen Verhalten Abb. 3 darstellt, enthält aktive Kohle, ist also ein reines Adsorptionsfilter. Das zu Abb. 4 gehörige Filter E dagegen nimmt Schwefeldioxyd durch Kaliumcarbonat auf. Es wirkt durch chemische Umsetzung:



Reaktion I geht außerordentlich schnell, während II dem Filtergebrauch nachhinkt. Filter E ist daher von der Luftgeschwindigkeit viel stärker abhängig als das nur auf den schnellen Adsorptionsvorgängen beruhende Filter A. Die Abbildungen zeigen denn auch, daß die mit „Zeit“ bezeichneten Kurven nicht horizontal verlaufen, wie es bei

$$F = f(c, v, t) \quad c \cdot v = \text{konst}$$

nötig wäre. Sie fallen auch nicht mit den mit „Konzentration“ bezeichneten Kurven zusammen, wie es im ungünstigsten Fall sein müßte; die Zeit bis zum Durchbruch nähert sich vielmehr um so stärker der Unabhängigkeit von der Luftgeschwindigkeit, je größer die Geschwindigkeit des eigentlichen Filtervorganges ist.

2. durch Gas konzentration.

Diese Art der Abhängigkeit konnte man wohl erwarten⁶⁾. Jedoch steigt wider Erwarten die Aufnahmefähigkeit mit der Konzentration etwas an⁶⁾.

Kurve Abb. 5 ist das Ergebnis von Messungen an einem kombinierten, adsorptiv und chemisch wirkenden Filter bei der Prüfung mit Phosgen. Kurve Abb. 6 zeigt an einem gleichartigen Filter die Wirkung von Änderungen in Luftgeschwindigkeit und Phosgenkonzentration. Die mit „theor.“ bezeichnete Linie stellt die oben angegebene Funktion 1 dar. Besonders bei kleineren Konzentrationen gibt der Versuch geringere Werte für die Aufnahmefähigkeit als die Theorie.

3. durch Art der Beatmung.

Bisher wurden Atemfilter bei kontinuierlicher Durchströmung mit konstant vergifteter Luft mittlerer Feuchtigkeit betrachtet. Beim Gebrauch des Filters spielen jedoch noch andere Vorgänge eine wesentliche Rolle⁷⁾.

⁴⁾ Die Messung fand statt nach einer nephelometrischen Methode mit Hilfe eines Nebels aus Trikresylphosphat. Vgl. Sauer, Ztschr. Instrumentenkunde 51, 408 [1931], und Stampe, ebenda 51, 418 [1931].

⁵⁾ Mecklenburg, Ztschr. Elektrochem. 31, 488 [1925]. Pondon u. Knipping, Beitr. Klin. Tuberk. 68, 751 [1928]. Remy u. Hene, Kolloid-Ztschr. 61, 313 [1932].

⁶⁾ Diese Erscheinung hängt unmittelbar mit dem Verhalten aktiver Kohle zusammen, wie es sich in der Adsorptionsisotherme ausdrückt. Vgl. dazu die eingehende Zusammenstellung bei McBain, The Sorption of Gases and Vapours by Solids, London 1932, Kap. IV. An Gasmaskenkohle ist Ähnliches gemessen worden von Kubelka (nach Krczil, Untersuchung und Bewertung technischer Adsorptionsstoffe, Leipzig 1931, S. 429).

⁷⁾ Engelhard u. Pütter, Ztschr. Elektrochem. 38, 906 [1932].

Die Luft durchstreicht das Filter keineswegs kontinuierlich, sondern im Atemrhythmus. Entweder kann das Filter nur von der Einatmungsluft durchstrichen werden, während die Ausatmungsluft nicht durch das Filter ins Freie geführt wird (Ventilatmung, Zweiwegatmung), Abb. 7; oder Ein- und Ausatmungsluft durchstreichen das Filter (Pendelatmung, Einwegatmung), Abb. 8. Für die Filter-

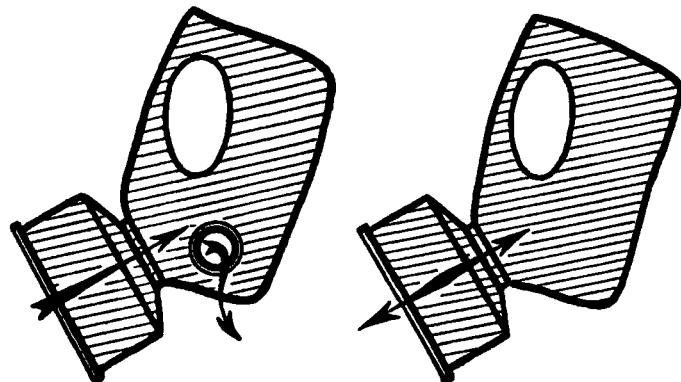


Abb. 7.

Abb. 8.

leistung wird hier die Beanspruchung des Filters in der Ausatmungsphase wesentlich. Die ausgeatmete Luft übt zwei ganz verschiedene Einflüsse auf das Filter aus:

1. Einbringen von Feuchtigkeit und CO₂ in das Filter,
2. Ausblasen von adsorbierten Gasen aus dem Filter.

Der Vorgang 2 vergrößert die Aufnahmefähigkeit des Filters in allen Fällen. Diese Vergrößerung hängt ab von der Leichtigkeit der Desorption. Kurve Abb. 9 vermittelt eine Vorstellung von diesem Vorgange. Sie stellt einen Versuch mit Chlorpikrin dar, bei dem die Ein- und Ausatmungsphase darstellenden Luftströme sehr lange, 10 min lang, flossen. Dies geschah, um die Erscheinung möglichst deutlich messbar zu machen. Mit je kürzeren Intervallen man arbeitet, um so größer werden die apparativ schwer auszuschaltenden Fehler.

Der Umfang des Vorganges 1, des Einbringens von Feuchtigkeit und Kohlensäure in das Filter, hängt besonders ab von der Temperatur des Filters, also des Raumes, in dem der Geräteträger sich aufhält. Je niedriger diese ist, desto größer ist die Wasseraufnahme des Filters. Tabelle 2 zeigt das Ergebnis eines Versuches,

Tabelle 2. Beatmungsversuche.
Außentemperatur + 1° bis + 3°. 2 h marschieren 120 Schritt/min mit Filter an der Maske. Sofort nach dem Marsch Prüfung des Filters mit Chlorpikrin 20 l/min, ¼ gesättigt 18°, bzw. Phosgen 30 l/min, 0,25 Vol.-%. (Versuchsfiltiereinsätze B.)

Nr.	Wie beatmet?	Atemwiderstand Ein- Ausatmung mm W.-S. bei 30 l/min.	Gewichtszunahme CCl ₄ -NO ₂ g min	Leistung COCl ₂ min
—	Prüfung ohne Beatmung . . .	6	—	10 28
1	Pendel	6	6 22	3 34
2	Ausatemventil + Schnappd.	11	5 9	5 38
3	Ausatemventil + Schnappd. mit erhöhtem Widerstand .	20	5 6	8 34
4	Ein- und Ausatemventil . .	8	5 0,7	9,5 28

der zur Erforschung der Leistungsänderung eines Filters durch Beatmung in giftfreier, kalter Luft angestellt wurde. Die Geräteträger marschierten 2 Stunden im Freien, dann wurden die Filter der üblichen Prüfung im kontinuierlichen Luftstrom unterworfen. Durch die vollständige Zweiwegatmung wurde die Aufnahmefähigkeit praktisch nicht geändert, da durch ein Einatemventil im Filter dafür gesorgt wurde, daß nichts von der Ausatem-

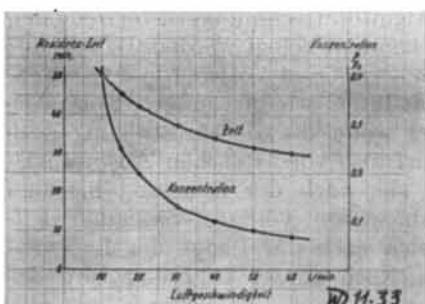


Abb. 3. Resistenz-Zeiten eines Atemfilters (Dräger A 90). In steigender Luftmenge wird die gleiche Menge von 1,19 g CCl₄/min verdampft und die CCl₄-haltige Luft durch das Filter geschickt.

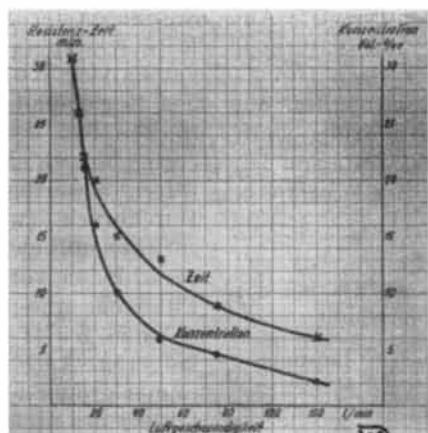


Abb. 4. Resistenz-Zeit eines Atemfilters (Dräger E 90). 310 cm³/min SO₂ werden mit steigenden Luftmengen vermischte durch das Filter geschickt.

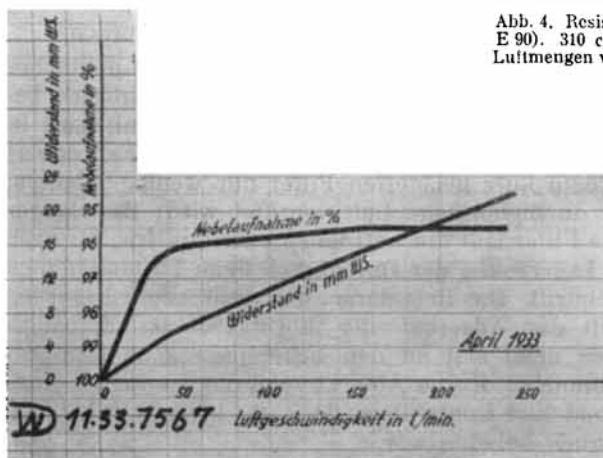


Abb. 2. Verhalten einer Zellstoffplatte als Nebelfilter bei variabler Durchströmungsgeschwindigkeit (Trikresylphosphat zerstäubt.)

Graphische Interpolation ergibt aus dieser Darstellung folgende Tabelle:

Konzentration g/m ³	Zeit min
4,4	> 60
22	12
44	7
66	15
88	20
110	25
132	30

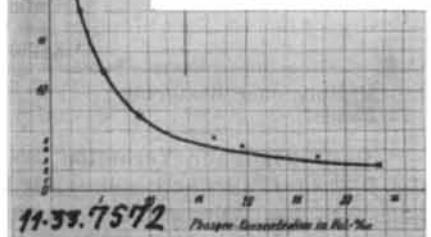


Abb. 5. Abhängigkeit der Resistenz-Zeit eines Atemfilters (Dräger E 201) von der Konzentration bei gleichbleibender Strömungsgeschwindigkeit von 30 l/min, Temp. 17–20°; relative Feuchtigkeit 60–80%.

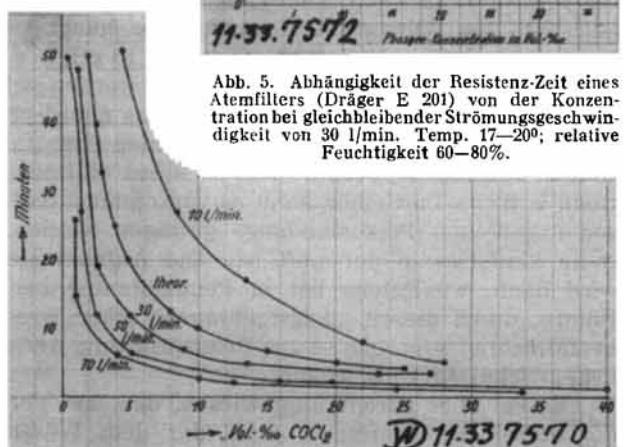


Abb. 6. Resistenz-Zeit eines Versuchsfilters (E 201) gegen Phosgen bei veränderlicher Luftgeschwindigkeit und Konzentration.

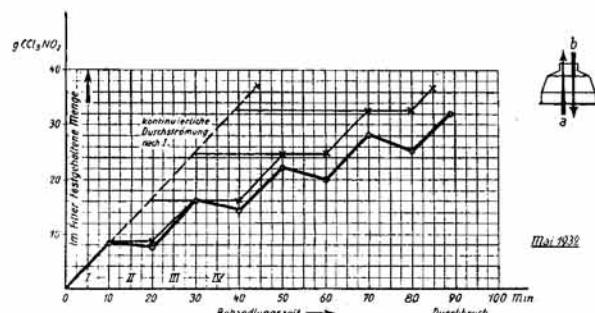


Abb. 9. Chlorpikrinsäureaufnahme eines Atemfiltereinsatzes (Dräger-Nebelfilter-einsatz 204) bei folgender Behandlung: I. 10 min lang 20 l/min Luft ~ 1/4 ges. mit CCl₄NO₂, bei 18° in Richtung a. II. 10 min lang 20 l/min Luft ohne Giftstoff, Zimmertemperatur in Richtung b. III. wie I., IV. usw.

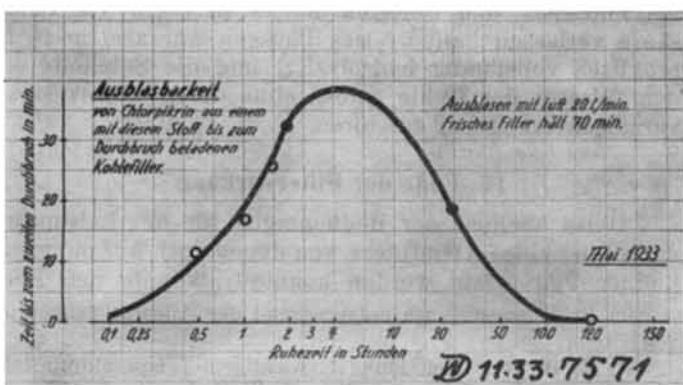


Abb. 11.

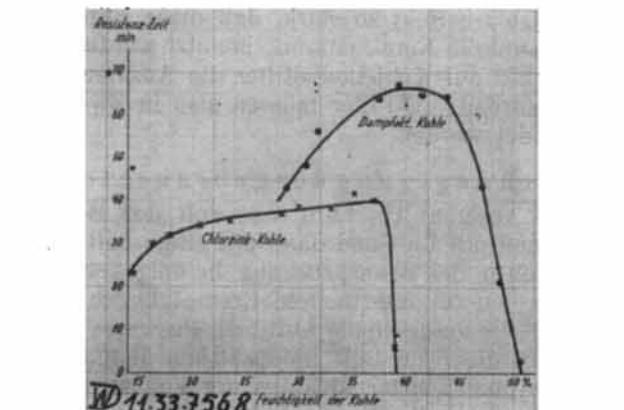


Abb. 10. Abhängigkeit der Phosgenleistung vom Wassergehalt der Kohle (Dräger-Filter 208). 30 l/min 2,5 Vol.-% COCl₂; Prüfluft 50% relative Feuchtigkeit.

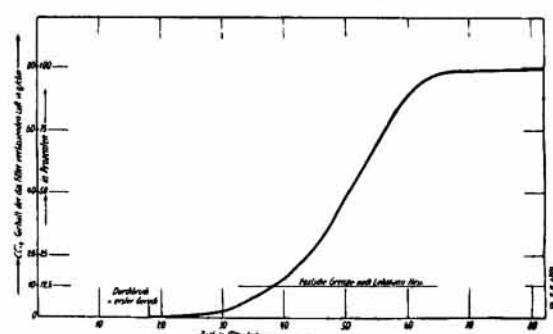


Abb. 12. Durchbruchskurve eines Atemfilters (Dräger A 90). Luftstrom: 30 l/min mit 80 g CCl₄/m³. 18°, 760 mm. 50% relative Feuchtigkeit.

luft durch das Filter zurückstrich (Versuch Nr. 4). Am größten ist der Einfluß der Ausatmungsluft natürlich, wenn sie vollständig durch das Filter zurückströmt (Versuch Nr. 1). Hier ist die Wasseraufnahme des Filters am größten und damit die reine Adsorptionsleistung stark herabgesetzt, während die Phosgenleistung gestiegen ist. Bei doppelt so langer Beatmung ist das Filter vollständig ertränkt, wie Tabelle 3 zeigt.

Tabelle 3. Beatmungsversuche.

Material und Ausführung des Versuches ebenso wie bei der vorhergehenden Tabelle, jedoch 4 h Marschzeit.

Nr.	Wie beatmet?	Atemwiderstand Ein-Ausatmung mm W.-S. bei 30 l/min	Gewichtszunahme g	Leistung CCl ₄ NO ₂ min	COCl ₂ min
—	Prüfung ohne Beatmung . . .	6	—	10	28
5	Pendel	6	6	41	0

Das auffallende Verhalten des Phosgens wird durch die leichte Löslichkeit seines Hydrolysenproduktes, der Salzsäure, in Wasser⁸⁾ verursacht. Sie hängt von der Kohlesorte stark ab, wie es Kurve Abb. 10 zeigt.

Im praktischen Gebrauch der Filter werden sich aber Ausblasen und Wasseraufnahme meistens überdecken, so daß die besprochenen Versuche nur einen Grenzfall darstellen, der aber immerhin nicht so selten eintreten wird. Denn z. B. im Luftschutz kann es vorkommen, daß Filter von ängstlichen Personen lange getragen werden, auch wenn kein Gas in der Luft ist. Die Aufnahmleistung wird dann, wenigstens bei in Pendelatmung benutzten Filtern, durch diesen „Angstgebrauch“ schon wesentlich beeinträchtigt sein, ehe es zur Beanspruchung der eigentlichen Schutzwirkung kommt.

Es sei aber darauf hingewiesen, daß das Verhalten der einzelnen Filtertypen, d. h. der dem Wesen nach verschiedenen Sorptionsmassen gegenüber den beiden besprochenen Effekten ganz verschieden sein kann. Bei den handelsüblichen Blausäurefiltern G z. B. überwiegt der Ausblaseeffekt so stark, daß diese Filter besonders zweckmäßig in Einwegatmung benutzt werden. Andererseits wirkt auf Kohlenoxydfilter die Ausatemluft geradezu zeistörend; CO-Filter müssen also in Zweiwegatmung verwendet werden.

4. durch Lagerung des gebrauchten Filters.

Im vorigen Abschnitt war von der Belastung der Filter erst mit Luft und dann mit giftgashaltiger Luft die Rede; auch bei Beanspruchung in umgekehrter Reihenfolge treten oft unerwartete Erscheinungen auf. Wenn nämlich die ausgeatmete Luft festgehaltenes Gas aus dem Filter in die freie Luft hinausblasen kann, so muß das auch in umgekehrter Richtung der Fall sein. Besonders muß dies Verhalten sich zeigen, wenn man angebrauchte oder fast völlig verbrauchte Filter längere Zeit lagern läßt, wenigstens überall da, wo die Filterreaktion nicht in einer chemischen Umwandlung besteht, sondern wo das Giftgas als solches gestapelt wird. Typische Adsorptionsfilter sind also diesem Vorgang der Desorption am meisten unterworfen⁹⁾.

Die Adsorption im Atemfilter findet wahrscheinlich in zwei Phasen statt, wobei zunächst nur in sehr schnell verlaufenden Vorgängen die Oberfläche und die größeren

⁸⁾ Lamb, Wilson u. Chaney, Ind. Engin. Chem. 11, 426 [1919]. Nielsen, Ztschr. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 27, 136, 170, 208, 244, 280 [1932].

⁹⁾ Dieser Desorptionsvorgang ist geradezu als Maß für den Wert der aktiven Kohlen vorgeschlagen worden: Allmand u. Manning, Journ. Soc. chem. Ind. 1928, 369 T.

Kapillaren der in der Atemfiltertechnik meist verwendeten Körner mit dem Adsorbendum belegt werden. Das Adsorbat wandert dann in langsamem Vorgang in das Innere des Korns und gibt dadurch wieder äußere Kornoberflächen frei, besonders wenn die Gesamtättigung noch gering war¹⁰⁾). Man darf also von typischen Adsorptionsfiltern erwarten, daß sie, nach der Beladung bis zum Durchbruch (was keineswegs völliger Sättigung entspricht) aufbewahrt, sich nach der Länge der Lagerzeit verschieden verhalten. Nach kurzer Lagerung wird das Filter bei erneuter Beanspruchung nur wenig Giftgas aufnehmen, bis es von neuem zum Durchbruch kommt; nach längerer Aufbewahrung wird die neue Resistenzzeit immer größer werden, bis nach sehr langer Zeit die Verteilung des Adsorbats im ganzen Filter gleichmäßig ist, so daß der Durchbruch bei der Prüfung sofort eintritt. Diese Erwartung kann durch den Versuch bestätigt werden.

Dieselben Erscheinungen müssen sich noch deutlicher zeigen, wenn man das einmal bis zum Durchbruch behandelte Filter nach einiger Lagerung nur mit Luft in der Einatemrichtung durchströmt. In diesem Fall dauert es bei dem kurz gelagerten Filter nur wenige Minuten, bis die durchgeblasene Luft vergiftet wird; das länger ruhende Filter läßt die Luft längere Zeit giftfrei, bis nach langen Lagerzeiten der Durchbruch beim Luftdurchleiten sofort eintritt. Das liegt daran, daß nach langer Lagerung die Luft das Adsorbat der hochbeladenen Eingangsschichten nicht erst an den Filterausgang zu transportieren braucht. Kurve Abb. 11 zeigt das Verhalten eines so behandelten Kohlefilters, das mit Chlorpikrin bis zum Durchbruch beladen war.

5. durch gegenseitige Beeinflussung verschiedener Gase in einem Filter.

Dieses Herausblasen ist aber nur bei reinen Adsorptionsfiltern möglich. Bei mit z. B. Phosgen behandelten Kohlefiltern gelang es uns nach einiger Lagerung nie, da die Kohle das Phosgen mit der Zeit vollständig hydrolysierte. Das kann man z. B. durch folgenden Versuch beweisen oder wenigstens wahrscheinlich machen: Ein Kohlefilter wurde erst mit Phosgen bis zum Durchbruch im kontinuierlichen Luftstrom behandelt und sofort danach mit einem chlorpikrinhaltigen Luftstrom. Die Phosgenreaktion der gereinigten Luft verschwand nach wenigen Minuten, und erst nach 24 min zeigten sich Chlorpikrinspuren hinter dem Filter. Damit hatte es noch 70% der Chlorpikrinleistung eines gleichartigen neuen Filters. Legte man aber eine Pause von 15 h zwischen den Phosgenversuch und die Chlorpikrinbehandlung, so dauerte es bis zum Chlorpikrindurchbruch ebenso lange wie bei einem neuen Filter, in diesem Fall 40 min; nach 8 min aber zeigte die filtrierte Luft schwache Salzsäurereaktion. Trotzdem konnte man in beiden Fällen durch Chlorbestimmung im Filterinhalt feststellen, daß nur ein nicht messbarer Teil des in das Filter hineingebrachten Phosgens und Chlorpikrins es in Form von Salzsäure verlassen hatten. Das Phosgen war also in 15 h praktisch vollständig hydrolysiert und die Salzsäure in dem Wasser der Kohle gelöst, ohne deren Adsorptionsvermögen erkennbar zu stören.

IV. Ende der Filterwirkung.

Diese Vielheit der Bedingungen für die Leistungsentfaltung eines Atemfilters, von denen doch nur ein ganz kleiner Teil erfaßt werden konnte¹¹⁾, könnte den Ein-

¹⁰⁾ Erklärungsversuch entsprechend der Adsorptionstheorie von Taylor.

¹¹⁾ Z. B. von dem äußerst wichtigen Temperatureinfluß konnte nur andeutungsweise (Tab. 2) die Rede sein.

druck einer großen Gebrauchsunsicherheit der Filtergas-schutzgeräte schaffen. Eine Reihe von bestimmenden Faktoren wird man schon beim Aufbau des Filters berücksichtigen, wie z. B. besondere Wasserempfindlichkeit durch Anwendung der Ventilatmung, so daß die Veränderlichkeit der Leistung durch den eigentlichen Filtergebrauch möglichst gering wird. Und dabei kommt dem Benutzer eine ganz allgemeine Eigenschaft aller Atemfilter zur Hilfe: der Durchbruch des Giftstoffes bei beginnender Erschöpfung der Filterwirkung erfolgt nicht plötzlich, sondern außerordentlich langsam (vgl. Kurve Abb. 12). Da die meisten Atemgifte sich durch Geruch oder Reizerscheinungen schon bei Konzentrationen bemerkbar machen, die weit unter den für eine Giftwirkung erforderlichen liegen, wird der Geräteträger frühzeitig gewarnt. In den Fällen, wo das Giftgas durch Geruch nur schwer oder gar nicht zu erkennen ist (z. B. Kohlen-

oxyd¹²⁾ oder Äthylenoxyd¹³⁾), sorgt man durch besondere Chemikalien oder Vorrichtungen für eine rechtzeitige Warnung. Schwebstofffilter verstopfen sich nach sehr langen Benutzungszeiten und erschweren die Atmung, ohne unwirksam zu werden.

So kann der aufmerksame Benutzer eines Atemfiltergerätes trotz der mannigfachen Bedingtheiten der Leistung seines Filters, von denen nur die wichtigsten in ihrer Richtung und Größe angedeutet werden könnten, sich doch dem Gerät anvertrauen. Genau so wie die Lebens-tätigkeit und besonders die Atmung des Filterträgers durch die Umwelt stark bedingt ist, ist es auch das Filter selbst, aber die richtige Anwendung und die gebührend beachtete Warnung bei beginnender Erschöpfung des Filters schützen vor Unfällen. [A. 114.]

¹²⁾ Z. B. von Hoff, Glückauf 64, 1414 [1928]. Stampe, Draegerhefte, Gaschutzmitteilungen, 10, 37 [1929].

¹³⁾ Sommer, Draegerhefte 164, 2244 [1932].

Fortschritte der anorganischen Chemie 1930 bis 1933.

Teil II. Systematische (messende) Untersuchungen.*

Von Prof. Dr. WILHELM KLEMM.

(Eingeg. 11. Januar 1934.)

Anorganisch-chemisches Institut der Technischen Hochschule Danzig-Langfuhr.

Inhalt: B. Die Eigenschaften der Verbindungen: 1. Beugung von Röntgen- und Elektronenstrahlen. 2. Dipolmessungen. 3. Raman-Effekt und Ultrarotspektrum. 4. Magnetochemie. C. Allgemeine Ergebnisse: 1. Komplexverbindungen. 2. Übergänge zwischen den Bindungsarten. 3. Aufbau der Atomkerne.

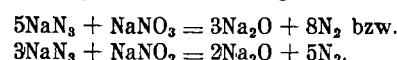
B. Die Eigenschaften der Verbindungen.

1. Beugung von Röntgen- und Elektronenstrahlen. Für die Charakterisierung der Eigenschaften der Verbindungen ist die Bestimmung der Lage der Atom-schwerpunkte eine der wichtigsten Aufgaben; die von Ewald und Herrmann herausgegebenen Strukturberichte gehören heute zu den allerwichtigsten Hilfsmitteln des Anorganikers. Die Erforschung der Kristallstruk-tu-ren hat sich besonders nach drei Richtungen hin ent-wickelt. Einmal sind wesentliche Fortschritte bezüglich der Aufklärung komplizierter Strukturen erzielt, wobei das Braggsche Laboratorium führend gewesen ist. So sind z. B. die Silicate weitgehend aufgeklärt; über die Bauprinzipien dieser Stoffklasse hat kürzlich W. Eitel¹⁴⁾ in dieser Zeitschrift berichtet. Aber auch andere komplizierte Strukturen von Elementen, Halogeniden, Oxyden, Carbiden, Phosphiden usw. sind aufgeklärt worden.

Ferner hat die Strukturuntersuchung luftemp-findlicher Stoffe wesentliche Fortschritte ge-macht. Als ein Musterbeispiel für derartige Unter-suchungen kann man eine Arbeit von E. Zintl und A. Harder¹⁵⁾ über die Alkalihydride ansehen. Es gelang, diese ganz außerordentlich feuchtigkeitsempfindlichen Stoffe ohne jede Zersetzung in die Meßkapillaren zu bringen und zu untersuchen. Alle Alkalihydride besitzen Kochsalzstruktur. Auffällig ist, daß der H⁻-Ionen-Radius bei Benutzung der üblichen Werte für die Alkalionen sehr stark wechselt (1,36 Å im LiH, 1,54 Å im CsH). Die auch sonst hervortretende starke Polarisierbarkeit des Wasserstoffes tritt also auch hier deutlich in Erscheinung und bedingt einen wesentlichen Unterschied gegenüber den Halogenen; denn die Alkalihalogenide zeigen ja bekanntlich in ihren Gitterabständen ein weitgehend additives Verhalten. Dieser Unterschied zwischen dem Wasserstoff einerseits, den Halogenen andererseits — der wegen des verschiedenen Atombaus ohne weiteres verständlich ist — drückt sich auch darin aus, daß voll-

ständige Mischbarkeit zwischen LiF und LiH nicht be-steht, obwohl der Gittertypus der gleiche ist und die Gitterabstände sich nur um 1,5% unterscheiden. Auch bei organischen Verbindungen ist die kristallchemische Verwandtschaft zwischen Kohlenwasserstoffen und ihren Fluorderivaten trotz der Ähnlichkeit der Molekular-volumina auffällig gering¹⁶⁾.

Weiterhin konnten E. Zintl und H. H. v. Baumbach¹⁷⁾ die Gitterstruktur von Natriumoxyd bestimmen. Besonders erwähnenswert ist bei dieser Untersuchung eine neue Methode zur Darstellung von Na₂O. Die Reindarstellung dieses Stoffes war bekanntlich bisher eine fast unlösbare Aufgabe. Zintl und v. Baumbach gelang die Darstellung 100%iger Präparate durch Einwirkung von Natriumazid auf Natriumnitrat oder Natriumnitrit im Va-kuum, die nach folgenden Gleichungen verläuft:



Na₂O besitzt erwartungsgemäß Fluoritgitter.

Sehr wesentlich sind unsere Kenntnisse über die Kristallstrukturen der tief-siedenden Stoffe (N₂, H₂S, SiF₄, Edelgase usw.) durch Arbeiten von Vegard, Natta, F. Simon, Keesom u. a. erweitert worden. Die Molekülschwerpunkte bilden in derartigen tief-siedenden Substanzen meist relativ einfache Strukturen, oft dichteste Kugelpackung.

Entscheidend war die röntgenographische Unter-suchung für die Aufklärung einiger merkwürdiger Verbindungen des Graphits. Die besondere Struktur dieser Substanz bringt es mit sich, daß sich zwischen den Netzebenen die verschiedenartigsten Stoffe einlagern können, so z. B. K, Rb und Cs¹⁸⁾, F-Atome¹⁹⁾ und viele andere Substanzen; vgl. dazu die Abhandlung über

¹⁴⁾ L. u. W. Klemm u. G. Schiemann, Ztschr. physikal. Chem. (A) 165, 379 [1933].

¹⁵⁾ Ztschr. anorgan. allg. Chem. 198, 88 [1931].

¹⁶⁾ Die Struktur dieser von K. Fredenhagen beschriebenen Verbindungen ist von A. Schlede u. M. Wellmann, Ztschr. physikal. Chem. (B) 18, 1 [1932], bestimmt worden.

¹⁷⁾ O. Ruff u. F. Ebert, diese Ztschr. 46, 742 [1933].

^{*}) Fortsetzung aus Heft Nr. 6, S. 84.

¹⁸⁾ Diese Ztschr. 46, 803 [1933].

¹⁹⁾ Ztschr. physikal. Chem. (B) 14, 265 [1931].