

**Zeitschrift:** Protar  
**Herausgeber:** Schweizerische Luftschutz-Offiziersgesellschaft; Schweizerische Gesellschaft der Offiziere des Territorialdienstes  
**Band:** 3 (1936-1937)  
**Heft:** 12  
  
**Artikel:** Ueber die physikalischen Vorgänge im Gas- und Schwebstofffilter der Gasmasken [Fortsetzung]  
**Autor:** H.L.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-362574>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 13.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Ueber die physikalischen Vorgänge im Gas- und Schwebstoff-Filter der Gasmasken

Von Dr. H. L.

(2. Fortsetzung)

Wenn es — genau betrachtet — auch nicht eigentlich in den Rahmen unserer Betrachtungen gehört, muss doch einiges über die chemischen Mittel zur Entgiftung der Atemluft mittels der Gasmasken gesagt werden. Die Befreiung der Atemluft von schädlichen Beimengungen auf chemischem Wege ist an sich viel einfacher als die Entgiftung durch die Adsorption. Sie beruht im Grunde meistens darauf, dass man die Gifte durch geeignete chemische Verbindungen gewissermassen fesselt oder festhält und dadurch der Atemluft entzieht. Es gibt beinahe für jeden Giftstoff irgendeine chemische Verbindung, mit dem er eine mehr oder weniger beständige neue chemische Verbindung eingeht. Diese muss aber stets so innig sein, dass mit ihrer Bildung eine sichere Entgiftung der Luft gewährleistet ist. Aber nicht alle diese Mittel sind gleich geeignet, um in der Gasmasken Verwendung finden zu können. Ein Beispiel wird dies verdeutlichen. Der äusserst gefährliche, schon mehrfach erwähnte Kampfstoff Phosgen kann sehr leicht durch Ammoniakgas unschädlich gemacht, besser gesagt, zerstört werden. Wie aber das Ammoniakgas in der Gasmasken unterbringen? In der ersten Fortsetzung dieses Aufsatzes wurde erwähnt, dass 4 g Holzkohle imstande sind — bei 0° und 760 mm Druck — 93 mg Ammoniakgas aufzunehmen. Diese 93 mg Ammoniak wären ausreichend, um rund 136 mg Phosgen zu vernichten. Man könnte also daran denken, solche mit Ammoniakgas beladene Holzkohle in eine speziell gegen Phosgen zu verwendende Gasmasken einzufüllen. Dies wäre aber praktisch nicht durchführbar, erstens weil das in der Kohle adsorbierte Ammoniak als Dampf einer bei ca. —38° siedenden Flüssigkeit leicht wieder an die Atmosphäre abgegeben wird, zweitens weil bei der Zerstörung des Phosgens durch Ammoniak hohe Temperaturen auftreten, die das Entgiftungsmittel rasch aus der Kohle vertreiben würden und in die Atemluft gelangen liessen. Nun ist aber Ammoniak ein Gas, das selbst die Schleimhäute stark angreift, so dass dieser Weg zur Phosgenbeseitigung nicht gangbar ist. — Ammoniakgas ist in Wasser ausserordentlich löslich: bei 20° vermag 1 l Wasser etwa 700 l Ammoniakgas aufzunehmen. Würde man durch eine so starke Ammoniaklösung — man nennt sie auch Salmiakgeist — phosgenhaltige Luft leiten, so würde das Gift zwar augenblicklich unschädlich gemacht, aber wie bei der mit Ammoniak gesättigten Holzkohle würde die entgiftete Atemluft so viel Ammoniakgas aus der Lösung mitnehmen, dass sie wiederum unatembar würde. Ausserdem wäre das Unterbringen einer Flüssigkeit im Gasfilter mit vielen Unzuträglichkeiten verbunden.

Diese Beispiele zeigen, dass ein chemischer Entgiftungsstoff, auch wenn er an sich noch so

wirksam ist, derart beschaffen sein muss, dass durch seine Anwendung nicht andere schädigende Beimengungen in die Atemluft gelangen. In welcher Form könnte man aber die phosgenvernichtende Eigenschaft des Ammoniaks zur Anwendung bringen, ohne die Atemluft mit Ammoniak neuerdings zu vergiften? Es wurde gefunden, dass eine seit langer Zeit bekannte Verbindung des Ammoniaks mit Formaldehyd, das sogenannte Urotropin, die Eigenschaft besitzt, das Phosgen ebenso rasch unschädlich zu machen wie das Ammoniak selbst. Das Urotropin ist ein fester, nicht flüchtiger, geruchloser Körper, der sich der Atemluft nicht beimischt. Man löst ihn in Wasser auf, bringt die Lösung auf Bimssteinkörner, die sehr porös sind, oder auf Kieselguhr, lässt die Körner trocknen und hat nun eine grosse Oberfläche von Urotropin, die befähigt ist, eine grössere Menge Phosgen unschädlich zu machen.

Auf diese Weise kann man jedes Gift, indem man ein zu ihm passendes Gegengift auf Bimsstein oder Kieselguhr verteilt, chemisch zerstören, bzw. binden. Warum — so wird man geneigt sein zu fragen — verwendet man dieses Verfahren nicht allgemein in den Filtern der Gasmasken? Die Antwort ist sehr einfach. Die Gasmasken für die Armee und die Zivilbevölkerung soll im Kriegsfall gegen eine Reihe von unter sich ganz verschiedenen Kampfstoffen — es waren im Weltkrieg etwa 15 in Gebrauch — wirksam sein. Eine solche Wirksamkeit besitzt aber nur die Aktivkohle, die ohne Rücksicht auf die besondern chemischen Verwandtschaften alle gas- und dampfförmigen Gifte aus der Atemluft entfernt. Wollte man aber nur mit chemischen Entgiftungsmitteln ein allgemein wirksames Filter aufbauen, so würde dieses zu einem chemischen Miniaturlaboratorium, in dem für jeden einzelnen Giftstoff eine besondere Entgiftungsschicht enthalten sein müsste. Dies würde die Herstellung der Filter nicht nur sehr kompliziert, sondern auch sehr kostspielig gestalten. Die Praxis geht nun darauf aus, die Hauptfilterschicht für möglichst viele Gifte wirksam zu machen — eben durch die Verwendung von Aktivkohle — und ergänzt sie nur für die ganz gefährlichen Gifte durch eine verhältnismässig dünne Schicht, die geeignet ist, das äusserst gefährliche Phosgen und die Blausäure auf chemischem Wege zu zerstören. Gerade diese beiden gasförmigen Kriegsgifte, deren Flüssigkeiten bei verhältnismässig tiefen Temperaturen sieden, könnten unter Umständen durch Dämpfe von höher siedenden Flüssigkeiten aus der Kohle wieder verdrängt werden und würden dann in der chemisch wirksamen Schicht unschädlich gemacht.

Ganz anders liegt der Fall, wenn es sich darum handelt, ein Filter herzustellen, das in gewerblichen Betrieben verwendet werden soll. Hier wird

es sich meistens darum handeln, einen einzigen Giftstoff oder mehrere Gifte, die zu derselben chemischen Familie gehören, aus der Atemluft zu entfernen. Für solche Zwecke kann man entweder nur mit chemischen Gegengiften ein Filter aufbauen, oder man kombiniert eine wenig starke Schicht von Aktivkohle mit einer dickeren Schicht von chemisch wirksamen Stoffen. So hat man beispielsweise in der chemischen Industrie Spezialgasmasken für Dämpfe saurer Natur (Salzsäuregas, Schwefeldi- und -trioxyd, Schwefelwasserstoff, nitrose Gase usw.) oder solche für basische Dämpfe (Ammoniak, Anilin, Pyridin etc.) oder für Lösungsmittel (Benzol, Toluol, Tetrachlorkohlenstoff, Schwefelkohlenstoff und ähnliche), d. h. man passt die Zusammensetzung des Filters den zu entfernenden Stoffen an. So gibt es denn eine ganze Reihe von Spezialfiltern für besondere Zwecke, die nur für einen Giftstoff oder eine bestimmte Gruppe ein Maximum an Wirksamkeit besitzen, dagegen für andere Gifte ganz unwirksam sind. Solche Filter müssen naturgemäss eine genaue Aufschrift oder ein gut erkennbares Farbzeichen tragen, damit sie nicht mit andern Filtern verwechselt werden können. Eine solche Verwechslung könnte unter Umständen verhängnisvolle Folgen nach sich ziehen.

Wir kommen nun zu dem Schwebestoff-Filter der Gasmasken, das die Aufgabe hat, die in Form von Staub oder Nebel in der Atemluft vorhandenen Giftstoffe zu beseitigen. Die Vorgänge, die sich hierbei abspielen, sind der physikalischen Aufklärung viel schwerer zugänglich als dies bei den Gasen und Dämpfen der Fall war. Was wir bis heute darüber wissen, sind im Grunde genommen nur tastende Versuche zu ihrem Verständnis.

Schon in der Einleitung zu unseren Betrachtungen ist angedeutet worden, dass die Befreiung der Atemluft von ihren gas- und dampfförmigen Giftstoffen schon bald nach deren Einführung als Kampfmittel ziemlich befriedigend gelang. Die Gasfilter der Schutzmasken drohten somit die chemischen Kampfstoffe schon kurze Zeit nach ihrem Auftreten wieder lahmzulegen. Man kam dadurch auf den Gedanken, den eigentlichen Giftgasen solche Stoffe beizufügen, die durch die bis dahin verwendeten Filter hindurchgingen, und legte diesen neuen Kampfmitteln den Namen «Maskenbrecher» bei. Sie waren an sich durchaus nicht giftiger als etwa das Chlor oder gar das Phosgen und das Chlorpikrin. Wohl aber übten sie einen bisher nicht geahnten Reiz auf die Schleimhäute der Atemwege aus und zwangen den Maskenträger durch den Hustenreiz und die Atemnot, die sie hervorriefen, die Gasmasken vom Gesicht wegzureissen. Gerade dies wollte man erreichen, denn nun war der Soldat den viel gefährlicheren Lungengiften schutzlos ausgesetzt. Diese Maskenbrecher, auch Blaukreuzstoffe genannt, waren meistens feste, arsenhaltige Stoffe, die, in flüssigen Phosgen aufgelöst, zunächst abgeblasen, später aber in Granaten verschossen wurden. Das

flüssige Phosgen verdampfte, sobald es in die Luft gelangte, sehr rasch und der darin aufgelöste Blaukreuzstoff blieb in Form feinsten Staubes in der Luft schwebend zurück. Da er von der Gasmaske nicht zurückgehalten wurde, kam er in Nase und Rachen der Kämpfer. Durch seine Reizwirkung zwang er sie zum Abnehmen der Maske und gab sie damit dem Phosgen preis.

Während also das Gasfilter die viel feineren Phosgenmoleküle zurückzuhalten vermochte, gingen die viel grösseren Teilchen des Maskenbrechers beinahe ungehindert durch das Filter hindurch. Es schien auf den ersten Blick geradezu paradox, dass die feinsten Teilchen festgehalten wurden, während die weniger feinen hindurchschlüpfen konnten. Die Erklärung für diese verblüffende Tatsache ist in den Brown'schen Bewegungen zu suchen. Die äusserst lebhaften Eigenbewegungen der Gasmoleküle führen diese während ihres Durchganges durch die Poren der Aktivkohle mit absoluter Gewissheit einmal an die Porenwand, wo sie festgehalten werden. Die Staubteilchen der Maskenbrechersubstanz mit ihren vergleichsweise sehr trägen Eigenbewegungen werden durch die Luft durch die Poren und Kanälchen hindurchgeführt, ohne einmal mit den Porenwänden in Berührung zu kommen. Sie werden deshalb auch nicht zurückgehalten. Selbstverständlich stossen einige von ihnen an die Wandungen, wo sie haften bleiben, die Mehrzahl jedoch entgeht dieser Gefangennahme. Wir dürfen dabei nicht vergessen, dass die Staubteilchen in einem grossen Ueberschusse von Luft schweben, gewissermassen wie Fische in einem Fluss durch eine starke Strömung mitgerissen werden können, auch wenn sie zum Ufer schwimmen möchten. Nur denjenigen Fischen wird es gelingen, das Ufer zu erreichen, deren Schnelligkeit und Kraft hinreicht, um die Strömung zu überwinden, während die trägen und schwachen fortgeführt werden.

Einen noch bessern Begriff von der Wirkung der Maskenbrecher erhalten wir durch einige Zahlen. Wohl der gefährlichste dieser Stoffe war das unter dem Namen «Clark II» verwendete Diphenylarsinzyanid. Wenn von dieser Substanz  $0,25 = \frac{1}{4}$  mg in Form feinsten Staubes in  $1 \text{ m}^3$  Luft verteilt wird, ist die Reizwirkung eines solchen Gemisches bereits unerträglich, d. h. ein Maskenträger, der zu seinem Schutze nur ein Gasfilter besitzt, wird die Maske schon nach wenigen Augenblicken vom Gesicht reissen. Dagegen ist die «Giftwirkung» des Phosgens ungefähr zehnmal grösser als die des Clark II.

Durch das Auftreten der Maskenbrecher wurde das bisher verwendete Gasfilter der Schutzmaske mit einem Schlage unbrauchbar. Es trat erst mit dem Augenblick wieder in seine Rechte, als es gelang, ihm ein wirksames Schwebestoff- oder Kolloidfilter vorzuschalten. Schon vor dem Weltkrieg kannte man in manchen Gewerbebetrieben Staubschutzmittel. So z. B. in Zementfabriken, Kalk-

brennereien und dergleichen Werken, in denen die Arbeiter ständig in staubiger Luft atmen mussten. Diese noch sehr primitiven Schutzmassnahmen, die nur die gröbern Staubpartikel von den Atemwegen fernzuhalten vermochten, bestanden zunächst nur aus angefeuchteten Tüchern, die vor Mund und Nase festgebunden wurden. Sie wurden allmählich durch feuchte Schwämme ersetzt, die zwar etwas wirksamer waren, aber nur ungern getragen wurden, da es begreiflicherweise sehr lästig war, stundenlang einen feuchten Gegenstand auf der Gesichtshaut liegen zu haben. Immerhin gaben diese Vorläufer des Schwebestoff-Filter den Fingerzeig zur Entwicklung der heutigen, auch die feinsten Stäube und Nebel zurückhaltenden Schutzgeräte. Denn es ist klar, dass auch ein feinporiger Schwamm für Partikel der Grössenordnung von  $10^{-3}$  bis  $10^{-6}$  (ein Tausendstel bis ein Millionstelmillimeter) ungeeignet war.

Man fand, dass eine Wergschicht, eine Zellstoffschicht oder ein dichtes Papier, das in besonderer Weise gefaltet war, diesem Zweck viel besser genügten. Solche Anordnungen, bei denen lockere Stoffe, wie die eben genannten, in mehreren Schichten in den Weg der Atemluft gelegt wurden, nennt man Körperfilter. Man zwingt gewissermassen die Staubpartikel, an die Fasern dieser Mittel zu stossen; durch die unmittelbare Berührung werden sie dann festgehalten. Wenn die Zahl der Schichten nur gross genug ist, so findet jedes Staubteilchen einmal seinen Weg gehemmt und bleibt haften. Zu den Körperfiltern gehören auch die Netzfilter. Sie bestehen aus einer grössern Anzahl von netzähnlichen Stoffen, die in geeigneten Abständen hintereinander geschaltet sind. Die Netze können aus Textilfäden oder aus feinen Metalldrähten bestehen. Dadurch, dass die Netze nicht dicht aufeinanderliegen, entstehen im Luftstrom Schwingungen (stehende Wellen), die der Staubablagerung günstig sind. Die Abstände hängen ab von der Strömungsgeschwindigkeit der Luft, vom spezifischen Gewicht der Fäden und von ihrem Durchmesser.

Neben den Körperfiltern gibt es noch sogenannte Hohlraumfilter (Wellblech-, Röhren- und Kammerfilter). Sie beruhen in der Hauptsache auf dem Prinzip, die mit Staub oder Nebel beladene Luft an gebogenen Flächen vorbeizuführen. Auch die gebogenen Flächen werden in genau berechneten Abständen hinter einander angebracht. Auch hier zwingt man die Atemluft, Schwingungen auszuführen, die den Zweck haben, die Staub- und Nebelteilchen an die Flächen prallen zu lassen.

Es ist aber durchaus nicht ausgeschlossen, dass auch in allen diesen Schwebestoff-Filtern elektrische Vorgänge mitwirken. Durch die Reibung der Partikelchen — sei es an der Luft, sei es an den in ihren Weg gelegten Hindernissen — können sie sich sehr wohl elektrisch aufladen und dadurch an den entgegengesetzt aufgeladenen Flächen oder Fasern hängen bleiben. Tatsächlich kennt die In-

dustrie in manchen ihrer Zweige, wo sehr feine Stäube auftreten, Vorrichtungen, z. B. mit hohen Spannungen künstlich aufgeladene Drähte (es kommen Spannungen von 50'000 bis 100'000 und mehr Volt in Frage), die die feinsten Partikelchen anziehen und festzuhalten vermögen. Es sind dies die heute in grosser Zahl angewandten elektrischen Entstaubungsanlagen, z. B. Cotrellfilter (nicht zu verwechseln mit elektrisch betriebenen Staubsaugern). Sie dienen nicht nur dem hygienischen Zwecke, die Umgebung der betreffenden Werke von schädlichem Staub freizuhalten, sondern auch im Interesse der Wirtschaftlichkeit der Betriebe, um das als Staub mitgeführte, oft wertvolle Material nicht verloren gehen zu lassen. So ist es denn nicht ausgeschlossen, dass die Körper- und Hohlraumfilter der Gasmaske gewissermassen als elektrische Entstaubungsanlagen «en miniature» wirken.

Während die Ablagerung von Staub aus einem im Ruhezustand befindlichen Gase ziemlich gut studiert ist — siehe in der 1. Fortsetzung die Zahlen über die Abhängigkeit der Fallgeschwindigkeit von Staubpartikelchen von ihrem Durchmesser —, stellten sich der Untersuchung der Ablagerung in strömenden Gasen — dies ist der Fall im Innern des Schwebestoff-Filter — grosse Schwierigkeiten entgegen. Gerade durch die Arbeiten zur Aufklärung der Vorgänge im Gasmaskenfilter und durch das Bestreben, eine möglichst weitgehende Befreiung der Luft von ihren giftigen Stäuben und Nebeln zu erreichen, ist dieses bisher sehr vernachlässigte Gebiet physikalischer Forschung in den letzten Jahren etwas lebhafter behandelt worden, und es sind wichtige Erkenntnisse zutage getreten, ohne dass jedoch bis heute ein auch nur annähernd klarer Einblick in diese verwickelten Vorgänge gewonnen werden konnte.

Wir kehren nun wieder zu dem Gegensatz zwischen der für Kriegszwecke geschaffenen Gasmaske und der für den gewerblichen Gebrauch bestimmten Schutzmaske zurück. Ebenso wenig wie man eine Schutzvorrichtung für ein ganz bestimmtes industrielles Giftgas so aufbaut, dass es für eine grössere Anzahl von schädlichen Gasen oder Dämpfen dienen könnte, wird man ein Schutzgerät für einen Betrieb mit gesundheitsgefährdendem Staub mit der für diesen Zweck unbrauchbaren Aktivkohle ausstatten. Vielmehr wird es nur ein Schwebestoff-Filter enthalten, und zwar ein solches, das für eben den zu entfernenden Staub am geeignetsten ist. Denn von der Teilchengrösse des betreffenden Staubes, vom spezifischen Gewicht der in Frage stehenden Substanz und von ihrer Eigenart wird es abhängen, ob man einem Körper- oder Hohlraumfilter den Vorzug geben wird und wie es ausgestaltet werden soll.

Wie muss nun ein Schutzgerät beschaffen sein, das sowohl verschiedene giftige Gase oder Dämpfe als auch Schwebestoffe aus der Luft entfernen,

ein Filter also, wie es im Kriegsfall dem Soldaten und der Zivilbevölkerung als Schutz dienen soll? Es muss zunächst nach seiner äusseren Form als Gesichtsmaske ausgebildet sein, die nicht nur die Atemwege — Mund und Nase —, sondern auch die Augen gegen Augenreizstoffe schützt. Die meisten Lungen-, Rachen- und Hautgifte — nicht nur die eigentlichen Augenreizstoffe — üben auf die Augen eine mehr oder weniger heftige Reizwirkung aus. Besonders sei hier betont, dass z. B. das Phosgen, selbst wenn es stark mit Luft verdünnt ist, die Augen sehr stark reizt. Trotzdem wird diese Tatsache häufig übersehen oder in manchen Abhandlungen über chemische Kampfstoffe abgeleugnet. Solange im Weltkriege die Gasmaske nur gegen gasförmige Gifte zu kämpfen hatte, war sie so beschaffen, dass der Träger nicht nur durch sie einatmete, sondern auch die verbrauchte Luft durch das Filter ausatmete. Diese Sachlage änderte sich in dem Augenblicke, als die Maskenbrecher auftraten und man dem Gasfilter noch ein Schwebestoff- oder Kolloidfilter angliedern musste. Dies geschah zunächst in der Art, dass man an das ursprüngliche Gasfilter einen Vorsatz anschrauben konnte, was nur im Bedarfsfalle geschah. Der Grund zu dieser Trennung lag einmal darin, dass man während des Krieges wegen der z. T. bestehenden Schwierigkeit der Materialbeschaffung nicht so rasch alle Filter umgestalten konnte. Der Hauptgrund ist aber darin zu suchen, dass die damaligen Schwebestoff-Filter, die meistens Watte- oder Zellstoffschichten enthielten, der Atmung einen erheblichen Widerstand entgegensezten. Jedes Filter hemmt die Atmung in einem bestimmten Ausmasse, und es ist natürlich für den Träger der Maske nicht gleichgültig, ob die Hemmung gering oder stark ist. Liegt oder sitzt der Träger ruhig, so tritt die Hemmung nicht allzu sehr in Erscheinung. Ist er aber gezwungen, sich zu bewegen, zu springen oder gar mit aufgesetzter Maske zu arbeiten, z. B. Schützengräben auszuwerfen (oder muss ein Zivilist bei einem Brande Feuerwehrdienst leisten), so macht sich ein grösserer Atemwiderstand im Filter sofort recht unangenehm bemerkbar. Die Tätigkeit verlangsamt sich erheblich oder muss sogar eingestellt werden, wenn die Maske wegen drohender Gasgefahr nicht abgelegt werden darf. Die Atmungshemmung trat bei den frühern Gasmasken sowohl beim Ein- als auch beim Ausatmen auf; denn beidemale musste die Luft durch sämtliche Schichten des Filters angesaugt bzw. durchgedrückt werden. Ein derartiges Filter nennt man ein «Einweg-» oder «Pendelfilter», weil die Luft im Ein- und Ausatmen nur einen und denselben Weg zurücklegt oder gewissermassen durch die Schichten hinundherpendelt. Um wenigstens der ausgeatmeten Luft, die ja frei von Gift ist, den Rückweg durch die Schichten des Filters zu ersparen, brachte man im weiteren Verlauf des Krieges im mundwärts gelegenen Teile des Filters ein kleines Ventil an. Die Verschlussplatte dieses Ventils

konnte sich nur nach aussen öffnen, so dass die Ausatemluft direkt ins Freie austrat, ohne nochmals durch die Filterschichten strömen zu müssen. Eine Feder drückte die Verschlussplatte des Ventils von aussen nach innen, so dass es geschlossen wurde, sobald die Ausatmung beendet war. Dieser Druck der Feder verhinderte ausserdem, dass während des Einatmens unfiltrierte Luft in die Atemwege gelangen konnte. Der Federdruck durfte natürlich nur so stark sein, dass der Widerstand, den er der Ausatmung entgegensezte, geringer war als der Widerstand in den Filterschichten. Auf diese Weise war der Gesamtemwiderstand (Widerstand beim Einsaugen + Widerstand beim Ausatmen) beinahe auf die Hälfte herabgesetzt. Man nennt diese Filter «Ventil-» oder «Zweiwegfilter», weil eben die Ausatemluft einen andern, «zweiten» Weg macht, um wieder in die freie Atmosphäre zu gelangen.

Ueber die Anordnung der Schichten im Filter ist folgendes zu sagen: Nach aussen (im Sinne der eingeatmeten Luft) kommt das Schwebefilter zu liegen, denn zuerst müssen die Staub- und Nebelteilchen aus der Luft entfernt werden, damit grössere Partikelchen nicht die Poren der Aktivkohle verstopfen. In zweiter Stelle kommt die aus Aktivkohle bestehende, meist stärkste Schicht des Filters, in der die gas- oder dampfförmigen Gifte zurückgehalten werden. Als dritte, dem Munde zunächst liegende Schicht folgt die chemische, deren Aufgabe darin besteht, Reste von Giftgasen, die der Adsorption durch die Kohleschicht entgangen sind, zu absorbieren bzw. zu zerstören.

Das Schwebestoff-Filter, dessen Zusammensetzungsmöglichkeiten wir bereits kennen gelernt haben, muss selbstverständlich so angeordnet werden, dass es einen möglichst geringen Widerstand erzeugt. Bei Hohlraumfiltern ist er an sich schon geringer als bei Körperfiltern. Die Aktivkohleschicht soll aus ganz gleichmässig geformten und auch möglichst gleich grossen Körnern bestehen. Nur unter dieser Voraussetzung lässt sich eine gleichmässige und, was besonders wichtig ist, eine lückenlose Schicht herstellen. Es ist klar, dass die eingeatmete Luft dem Weg des geringsten Widerstandes folgt, sind aber Lücken vorhanden in der Schichtung, so besteht die Gefahr, dass ungenügend filtrierte oder gar unfiltrierte Luft durch das Filter gelangt. Die Form und die Grösse der Körner waren Gegenstand eines genauen Studiums, denn von diesen Faktoren hängen sowohl der Widerstand als auch die Möglichkeit der verlangten gleichmässigen Lagerung ab. Genau dasselbe gilt auch für die chemische Absorptionsschicht, die ja auch aus Körnern besteht. — Die erste, äusserste Schicht und die letzte, innerste, werden durch ein gelochtes Blech oder durch ein Drahtsieb festgehalten; diese bilden Boden und Deckel der ganzen Filterfüllung.

Jede Gasmaske hat einen sogenannten «toten Raum». Darunter versteht man den Raum, der zwischen Einatmung und Ausatmung einerseits

und zwischen Ausatmung und Einatmung andererseits stets entweder mit filtrierter Frischluft oder mit Ausatemluft erfüllt bleibt. Der Totraum setzt sich zusammen erstens aus den Hohlräumen zwischen den Abteilungen eines eventuell vorhandenen Hohlraumfilters für Schwebestoffe und den Hohlräumen zwischen den einzelnen Körnern der Aktivkohle und der chemisch wirksamen Schicht, zweitens aus dem Raum, der zwischen der Gesichtshaut und der Wandung der eigentlichen Maske plus dem Raum, der hinter dem Siebboden des Filters liegt, und den Atemwegen bis zur Lunge. Die Bedeutung des Totraumes ist verschieden, je nachdem wir ein Ventil- oder Pendelfilter vor uns haben. Beim Pendelfilter ist der gesamte Totraum nach der Ausatmung mit verbrauchter Luft angefüllt, d. h. einer Luft, der schon ein Teil ihres ursprünglichen Sauerstoffgehaltes fehlt und die ausserdem ziemlich viel Wasserdampf und durchschnittlich 4 % Kohlensäure enthält. Die Kohlensäure bildet sich im Blute durch Verbrennung von gewissen Stoffarten des Körpers, und der Wasserdampf wird von der ca. 37° warmen wässrigen Blutflüssigkeit an die Atemluft abgegeben. Es leuchtet nun ohne weiteres ein, dass je grösser der Totraum einer Maske ist, destomehr schon verbrauchte Luft beim nächsten Atemzuge eingeatmet werden muss, ehe neue Frischluft in die Lungen gelangt. Mit andern Worten: ein grosser Totraum vermindert die lebensnotwendige Menge Sauerstoff, die den Lungen dargeboten wird und kann dadurch auf die Dauer ein Gefühl von Atemnot hervorrufen. Der Hersteller einer Gasmaske muss darum bestrebt sein, den Totraum möglichst klein zu gestalten. Dass diese Aufgabe durchaus nicht so einfach ist, erhellt schon daraus, dass wenn man zur Verminderung der zwischen den Körnern befindlichen Zwischenräume die Packung der Körner zu dicht machen wollte, nun der mechanische Atemwiderstand wiederum grösser würde. Durch genaue Versuche muss eben der goldene Mittelweg ermittelt werden. Bei dem Ventil- oder Zweiwegfilter fällt beim Ausatmen diese Komponente des Totraumes weg, denn die Ausatemluft entweicht nach aussen, ohne dass sie nochmals die Filterschichten passieren muss. Im Innern der Filterschichten ist also stets nur Frischluft vorhanden.

Den Beimengungen, die in der Lunge zu der Atemluft hinzutreten, Wasserdampf und Kohlensäure, kommt in der Arbeitsweise des Filters eine besondere Bedeutung zu. Ihre Rolle ist aber verschieden, je nachdem es sich um ein Pendelfilter oder um ein Ventilfilter handelt. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, dass ein Feuchtigkeitsgehalt der Aktivkohle deren Adsorptionsvermögen für Gase und Dämpfe herabsetzt. Nun ist aber in den Lungen die Atemluft stark mit Feuchtigkeit beladen worden. Diese Feuchtigkeit wird beim Pendelfilter von der Aktivkohle zum Teil aufgenommen und vermindert ihre Aufnahmefähigkeit für Giftstoffe. Wohl nimmt die beim Einatmen durchströmende Frischluft einen Teil dieser

Feuchtigkeit wieder auf, da sie meistens einen geringeren Wasserdampfgehalt aufweist als die Ausatemluft. Mit der Zeit wird sich ein Gleichgewichtszustand einstellen, der aber in jedem Fall auf der Seite eines etwas geringern Aufnahmevermögens liegt. — Ganz anders wirkt sich der Gehalt an Kohlensäure in der Ausatemluft aus. Sie wird beim Durchströmen der Aktivkohle auch zum Teil adsorbiert wie der Wasserdampf. Beim folgenden Einatmen wird die Frischluft, die viel weniger Kohlensäure enthält, einen Teil dieser aufgenommenen Kohlensäure wieder mitnehmen und in die Lungen führen. Diese Luft wird aber aus dem Blute nun nicht mehr so viel Kohlensäure aufnehmen, da ihr Gehalt an diesem Gas schon höher als normal ist. Auch hier wird sich schliesslich ein Gleichgewichtszustand herausbilden, der letzten Endes dazu führt, dass der Kohlensäuregehalt des Blutes eines Maskenträgers (mit Pendelfilter) höher sein wird als normal, was bei längerem Tragen des Schutzgerätes eine verminderte Arbeitsleistungsfähigkeit hervorgerufen kann. — Betrachten wir den Einfluss der Ausatemluft in ihrer Gesamtheit auf die Arbeitsweise des Filters, so ergibt sich, dass die vollständig giftgasfreie Luft, die die Lungen verlässt, beim Durchströmen der Aktivkohle eine geringe Menge der bereits adsorbierten Giftstoffe mit sich nach aussen führen wird, und zwar umsomehr, je stärker die Kohle schon an solchen Stoffen gesättigt ist. Es wird also eine teilweise Wiederbelebung oder Regeneration der Aktivkohle beim Pendelfilter eintreten. Diese Verhältnisse wurden von Engelhard und Pütter \*) durch genaue Untersuchungen festgestellt.

Wenn wir nun die Frage aufwerfen: ist dem Pendel- oder dem Ventilfilter der Vorzug zu geben?, so sind folgende Vor- und Nachteile der beiden Filterarten gegeneinander abzuwägen:

- a) Pendelfilter. Vorteile: 1. die Ausatmung führt zu einer teilweisen Regenerierung der Aktivkohle;  
Nachteile: 1. grösserer Totraum, 2. Atemwiderstand muss beim Einatmen und Ausatmen überwunden werden, 3. verminderte Aufnahmefähigkeit der Aktivkohle durch den Feuchtigkeitsgehalt der Ausatemluft, 4. Anreicherung des Kohlensäuregehaltes in der Einatemluft und damit auch im Blute;
- b) Ventilfilter. Vorteile: 1. geringerer Totraum, 2. Atemwiderstand geringer, 3. keine Befeuchtung der Aktivkohle, 4. keine Anreicherung der Einatemluft und damit des Blutes an Kohlensäure;  
Nachteile: 1. keine Wiederbelebung der Aktivkohle.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass es auch kombinierte Filter gibt, die nur für den Schwebestoffteil ein Ventil besitzen. In diesem ist das Schwebestoff-Filter ein Hohlraumfilter, das einen besonders grossen Totraum ergibt. Das Kol-

\*) Zeitschr. f. Elektrochemie XXXVIII, 906 (1932).

loidfilter ist also Zweiwegfilter, die übrigen Teile wirken als Einwegfilter. — Endlich gibt es auch Filter, die ausser dem Ausatemventil auch ein Einatemventil besitzen, das sich nur von aussen nach innen öffnen kann.

Bezüglich der Arbeitsweise der Adsorptionsfilter ist noch zu sagen, dass die Sättigung der Aktivkohle derart vor sich geht, dass zunächst die nach der Frischluftseite gelegenen Schichten sich erschöpfen, während die nach dem Munde hin gelegenen noch ganz frisch sein können. Im Laufe des Gebrauchs schreitet die Sättigungszone immer weiter nach dem Innern vor, bis schliesslich die ganze Aktivkohle erschöpft ist. Bleibt ein nur wenig gebrauchtes Filter einige Zeit liegen, so wandert ein Teil des adsorbierten Giftgases durch das Verschlussieb in die freie Atmosphäre, ein anderer Teil dagegen in die noch frischen Schichten (nach innen). Es tritt also eine teilweise Wiederbelebung der nach aussen gelegenen Schichten ein, während die bisher noch gasfreien Schichten sich teilweise beladen. — Bleibt das Filter geschlossen liegen, so kann nach aussen nichts entweichen. Im Innern aber findet ein allmählicher Ausgleich zwischen den schon beladenen und den noch gasfreien Schichten statt, der erst dann zum Stillstand kommt, wenn alle Teile einen gleichmässigen Sättigungsgrad erreicht haben. Die Gesamtaufnahmefähigkeit ändert sich durch den Ausgleich nicht, es findet aber keine Wiederbelebung statt. — Darnach ist ein Aufbewahren des Filters im offenen Zustande vorteilhafter, als wenn es verschlossen ist, vorausgesetzt, dass das Aufbewahren in trockener Luft geschieht.

Die «Leistung» eines Filters lässt sich ausdrücken durch seine «Resistenzzeit» oder durch sein «Aufnahmevermögen». Die Resistenzzeit eines Gasmaskenfilters gibt die Zeit an, wie lange es dauert, bis das Filter durchbrochen wird, d. h. bis in dem das Filter verlassenden Luftstrom die ersten Spuren eines Giftstoffes nachweisbar sind. Das Aufnahmevermögen dagegen ist gekennzeichnet durch die Anzahl Gramm Giftstoff, die bis zum Durchbruch im Filter zurückgehalten werden — Zunächst hängt die Leistung des Filters, gleichviel ob sie nach Zeit oder nach Gewicht bestimmt wird, davon ab, welcher Art der Giftstoff ist. Wie schon früher erwähnt, gilt die Regel, dass von einem Gas umso mehr aufgenommen wird, je höher der Siedepunkt der zu ihm gehörigen Flüssigkeit liegt. Wie oben dargelegt, spielt auch die Aufbewahrungsart eine gewisse Rolle; besonders ist feuchte Luft für die Leistung schädlich. Sodann sind auch Temperatur und Luftdruck, unter denen das Filter arbeitet, von Einfluss: je tiefer die Temperatur (kalte Jahreszeit) und je höher der Luftdruck (geringe Höhe über dem Meer), umso höher die Leistung. Ferner ist massgebend die Menge Gift, die in einem bestimmten Luftvolumen enthalten ist, mit andern Worten seine Konzentration. Man wird annehmen können, dass das Aufnahmevermögen weniger von der Dichte des Gases abhängig ist als

die Resistenzzeit, denn bei einem grössern Luftüberschuss wird das Filter rascher durchbrochen werden. Eine merkbare Rolle spielt auch die Strömungsgeschwindigkeit der Luft durch das Filter. Je grösser diese ist, umso kürzer ist die Zeit, während welcher das in der Luft befindliche Gift mit den wirksamen Faktoren in Berührung ist, umso früher wird der Durchbruch erfolgen und umso kleiner das aufgenommene Gewicht sein. Denn die Adsorption erfolgt zwar rasch, aber nicht momentan. Die Leistung wird also verschieden sein, je nachdem der Träger in Ruhe ist oder sich mehr oder weniger stark bewegt (z. B. springt oder angestrengt arbeitet).

An was erkennt der Maskenträger den erfolgten Durchbruch seines Filters oder, mit andern Worten, die für ihn beginnende Gefahr einer Vergiftung infolge Erschöpfung einer der Filterschichten? Zwei Eigenschaften der Giftstoffe geben uns die Antwort: 1. der Geruch und 2. die Reizwirkung der Gifte. Manche Kampfstoffe haben einen charakteristischen Geruch (vgl. die kleine Tabelle auf Seite 177 im ersten Teil dieses Aufsatzes). Sobald der Maskenträger einen dieser Gerüche oder, allgemein gesprochen, überhaupt einen Geruch wahrnimmt, weiss er, dass sein Filter erschöpft ist und wird nun sofort den verbrauchten Filtereinsatz gegen einen frischen auswechseln. Oder er merkt, dass seine Augen zu tränen beginnen, oder er muss niessen oder husten, dann ist ebenfalls der Zeitpunkt gekommen, da sein Filter versagt. — Der Durchbruch erfolgt nicht plötzlich zu 100 %, sondern ganz allmählich, so dass genügend Zeit verbleibt, um die Auswechslung des Einsatzes in aller Ruhe, d. h. ohne Hast vorzunehmen. Selbstverständlich muss während der kurzen Zeit der Auswechslung der Atem angehalten werden.

Noch kurz einige Worte über das Kohlenoxyd. Dieses ausserordentlich giftige Gas entsteht überall da, wo kohlenstoffhaltige Substanzen bei ungenügendem Luftzutritt, d. h. unvollkommen verbrennen — das klassische Beispiel hierfür sind Oefen, die mit verschlossenen oder ungenügend geöffneten Abzugsklappen brennen. Kohlenoxyd kann ferner bei Feuersbrünsten auftreten, wenn der Brand in geschlossenen Räumen entsteht. Es bildet sich auch beim Krepieren grosskalibriger Granaten und kann auch in diesem Falle gefährlich werden, wenn sich die Explosionsgase in ungenügend belüfteten Räumen angesammelt haben. Es ist zu etwa 7—8 % im gewöhnlichen Leuchtgas enthalten und bewirkt die häufig auftretenden Leuchtgasvergiftungen. — Kohlenoxyd ist der Dampf einer bei  $-190^{\circ}$  siedenden Flüssigkeit und wird aus diesem Grunde von Aktivkohle nur in ganz geringer Menge aufgenommen, d. h. es geht ohne weiteres durch die gewöhnliche Gasmaske hindurch. Es gibt auch keine chemischen Bindemittel für Kohlenoxyd, wenigstens nicht bei gewöhnlicher Temperatur. Kohlenoxyd ist ein farb- und vollständig geruchloses Gas; es übt auch keinerlei

Reizwirkung auf Augen und Atemwege aus. Seine Giftigkeit beruht darauf, dass es sich mit dem roten Farbstoff des Blutes verbindet und ihm dadurch die Fähigkeit nimmt, sich mit dem lebensnotwendigen Sauerstoff zu vereinigen. Hat das Blut eine gewisse Menge des Giftes aufgenommen, so tritt der Tod durch Ersticken ein. Die ersten Anzeichen der Kohlenoxydvergiftung sind fahle Hautfarbe, Kopfschmerzen, Schwindel, Ohnmacht. Tritt nicht alsbald Hilfe ein — künstliche Atmung im Freien oder Zuführung von reinem Sauerstoff —, so ist der Tod unabwendbar. Da auch in chemischen Betrieben, Eisenhüttenwerken, Kokereien, Kalköfen Kohlenoxyd in grösseren Mengen auftreten kann, lag schon seit langem ein dringendes Bedürfnis vor, auch gegen dieses heimtückische Giftgas eine wirksame Schutzmaske zu besitzen. Es hat sehr lange gedauert und grosser Anstrengungen bedurft, bis es vor wenigen Jahren gelang, eine sicher wirkende Maske gegen Kohlenoxyd herzustellen. Der Schutz beruht darauf, dass man das Kohlenoxyd mit Sauerstoff in Kohlendioxyd überführt, ein ungefährliches Gas, das meist mit dem Namen Kohlensäure bezeichnet wird. Da bei gewöhnlicher Temperatur die Vereinigung der beiden Gase nicht eintritt, muss sie durch Vermittlung sogenannter Ueberträger stattfinden. Es würde hier aber zu weit führen, diese nicht ganz einfachen Vorgänge und ihre Durchführung zu beschreiben. Wichtig ist für uns nur, zu wissen, dass die gewöhnliche Gasmasken gegen Kohlenoxyd

nicht schützt, dass man mit ihr sich an Feuerlöscharbeiten demnach nicht beteiligen soll.

In den vorstehenden Ausführungen sollte versucht werden, ein speziell auch dem Laien verständliches Bild von den physikalischen Vorgängen in den Filtern der Gasmasken, die ja nun sozusagen Allgemeingut geworden ist, zu entwerfen. Wenn dieses Bild auch nicht die letzten Ursachen der Wirksamkeit der Aktivkohle und des Schwebestoff-Filterns aufklären konnte — denn das letzte «Warum» bei der Adsorption von Giftgasen an Aktivkohle und von Schwebestoffen an der Oberfläche fester Körper muss zunächst unbeantwortet bleiben —, so hofft der Verfasser dennoch, diese Vorgänge und ihren Zusammenhang mit gewissen Eigenschaften und Gesetzmässigkeiten der verschiedenen Erscheinungsformen der Materie bis zu einem gewissen Grade verständlich gemacht zu haben. Ob wir jemals imstande sein werden, die letzten Schleier zu lüften, die uns heute noch den klaren Einblick verwehren, steht dahin. Sicher ist nur, dass noch ein weites Feld der Forschung auf diesem Gebiete dem Physiker und dem Chemiker offensteht. — Die Gasmasken sind, so wie sie heute vor uns liegen, das Ergebnis einer Unzahl von Versuchen, die z. T. schwierig durchzuführen waren. Sie verdient daher die Achtung von allen denjenigen, die sie benützen, und dieser Achtung kann der Benutzer dadurch am besten Ausdruck verleihen, dass er seinem Schutzgerät eine sorgfältige Behandlung zuteil werden lässt.

## La défense aérienne passive à l'Exposition internationale de Paris

Par L.-M. S.

Il est symptomatique de constater que les promoteurs de l'Exposition internationale de Paris ont réservé un pavillon à la défense aérienne passive ainsi qu'aux moyens modernes de lutte contre l'incendie. On voit par là que toutes les grandes nations sont absolument pénétrées de l'importance qu'aurait, dans un conflit futur, l'action des gaz toxiques, des bombes explosives et incendiaires. Il serait fastidieux, dans une relation telle que celle-ci, de donner en détails les renseignements que nous avons puisés aux différents stands. Nous préférons observer des faits généraux et en tirer des conclusions nettes et précises.

### Des nouvelles méthodes d'agression par les gaz.

Tous les écrivains militaires sont d'accord pour affirmer que l'aviation est appelée à jouer un rôle étonnamment grand en cas d'attaque future. La dispersion du corps toxique doit compenser l'imprécision du bombardement par avion. On peut voir à l'Exposition de Paris quelques bombes, d'impressionnant calibre, qui doivent faire réfléchir les plus braves. En effet, si un obus de 75 ne peut être chargé que de 7% de son poids de corps agressif, une bombe à gaz de 200 kgs, peut en contenir 70%. Dans de telles conditions, la guerre chimique est économique.

Il est également insisté sur l'arrosage préalable des terrains par des avions-citernes à l'aide de l'ypérite liquide projetée à l'état de fines gouttelettes. Si l'avion peut, par suite d'une défense active insuffisante, voler en rase-mottes, on conçoit que de tels engins soient éminemment dangereux. C'est pourquoi, il est recommandé de disposer d'une D. C. A. bien organisée, obligeant les appareils à prendre de la hauteur et les empêchant, par conséquent, de remplir leur mission.

Les conséquences tactiques de l'emploi des gaz sont multiples. D'une part, les canons créent des zones dangereuses dans un rayon déterminé, d'autre part les avions ne connaissent plus de limite sans compter que certaines bombes, appelées autogènes, peuvent dégager des gaz avec un retard pouvant atteindre 24 heures! Il est fait mention, à ladite exposition, du «panachage» des obus spéciaux et explosifs rendant suspect tout éclatement de tels engins. L'arrière doit être parfaitement organisé; les localités, les points vitaux, seront l'objet de précautions spéciales, de camouflages, afin de parer à toute attaque éventuelle.

On peut voir également combien la France s'est efforcée de créer une direction en vue de l'organisation de l'arme chimique, tant en matière de défense passive