

Zeitschrift: Mitteilungen aus dem Gebiete der Lebensmitteluntersuchung und Hygiene = Travaux de chimie alimentaire et d'hygiène

Herausgeber: Bundesamt für Gesundheit

Band: 51 (1960)

Heft: 1

Artikel: Filtrierung und Hohlraumverhältnisse bei Zigarettenfiltern

Autor: Eschle, K.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-982908>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 29.01.2026

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

Filtrierung und Hohlraumverhältnisse bei Zigarettenfiltern

Von K. Eschle, Zürich *)

I. Einleitung

Seit es Wynder, Graham und Croninger¹⁾ gelungen ist, mit Tabakrauchteer Experimentaltumore zu erzeugen, hat man sich von der Industrieseite her erneut mit der Aufgabe beschäftigt, Mittel und Wege zur Verminderung der schädlichen Wirkung des Tabakrauchens, vor allem des Zigarettenrauchens, zu finden. Man glaubte, Filter wären das dazu geeignete Mittel. Man hat denn auch in der Folge versucht, die bereits bestehenden Papier-Watte-Filter durch andere wirkungsvollere Materialien zu ersetzen. Es sind daher seit einigen Jahren in ständiger Fortsetzung neue Filtermarken in den Handel gekommen.

Nachdem nun die analytische Erfassung der Filterwirksamkeit gebührende Aufmerksamkeit gefunden hat²⁾³⁾, soll in dieser Arbeit das Wesen der Filtrierung in Zigarettenfiltern grundsätzlich untersucht werden. Dabei ist es notwendig, sich vom Tabakrauch einerseits und vom Filter anderseits ein möglichst treffendes physikalisch-chemisches Bild zu machen. Speziell die Hohlraumverhältnisse in den Filtern scheinen aufschlussreich zu sein.

II. Der Tabakrauch

Der Tabakrauch, derjenige des Neben- wie des Hauptstromes, besteht aus einer ganzen Symphonie von einzelnen Substanzen in gasdampfförmiger, flüssiger und fester Phase (u.a. Harze, Wasserdampf und Flugasche), welche in permanenten Gasen (Restluft, Kohlenoxyd, Kohlendioxyd, Ammoniak usw.) so fein verteilt sind, dass das menschliche Auge die Existenz des Rauches nur an der bläulichen Streuung des weissen Lichtes erkennen kann. Bei noch grösserer Verdünnung der Rauchkolloide im Raum verschwindet der Rauch sehr rasch, ohne dass er eine merkliche Tendenz, zu Boden fallen zu wollen, aufweist. Die Teilchengrösse der Rauchkolloide muss also entsprechend dem Stokes'schen Gesetz weit unter der unteren Auflösungsgrenze des Auges, d.h. unter 50 μ , liegen.

Wie aus der Literatur über Air-Pollution bekannt ist, bewegen sich die Durchmesser der Tabakrauchteilchen zwischen 0,01 und 2 μ ⁴⁾⁵⁾. Einige elektronenmikroskopische Aufnahmen, welche wir vom Tabakrauch machen liessen, zeigen lediglich, dass das Maximum der Teilchengrösseverteilung bei etwa 1 μ liegen muss und dass sich die Teilchen in kristalline russartige und diffuse harzartige einteilen lassen.

Unter der Annahme, dass sich in einem Kubikzentimeter frischen Rauches etwa 0,1 mg Teer von der Dichte 1 g/cm³ befindet, lässt sich die Zahl der Rauchkolloide zu etwa 10^{10} pro cm³ abschätzen.

*) Ständige Adresse: Reaktor AG, Würenlingen AG.

Wenn sich die Teilchen unter dem Einfluss von Kräften auf engerem Raume absetzen, erhält man ein braunes salbenartiges, penetrant riechendes Gemisch, welches man mit dem Namen Teer bedacht hat. Doch ist der von der Steinkohlendestillation her bekannte Begriff nicht ohne weiteres auf die Tabakrauchkondensate anzuwenden. Denn der Urteer der Steinkohle und der sekundär durch pyogene destruktive Destillation erzeugte Steinkohlenteer weist nicht die durch Substratart und relativ grossen Ueberschuss an Sauerstoff bedingten chemischen Eigenschaften der Tabakrauchkondensate auf.

Mehr eigentliche Teereigenschaften dürfte daher der mit weniger Sauerstoff erzeugte Nebenstromrauch aufweisen. Aus diesem Grunde kann er auch in bezug auf die Krebsgenese – wenigstens qualitativ gesehen – eventuell noch für gefährlicher als der Hauptstromrauch gehalten werden.

Die chemische Analyse des Rauches wird wohl Vertreter aus praktisch allen Verbindungsklassen der organischen Chemie auffinden lassen. Es sind bis jetzt aber schon überraschend viele Kohlenwasserstoffe isoliert worden⁶⁾⁷⁾.

III. Filtertechnologie und Hohlraumverhältnisse

Der Technologe unterscheidet drei typische Herstellungsverfahren für Zigarettenfilter:

1. Schichtenfilter, welche entweder in der Längs- oder Breitrichtung zum Filter zusammengebündelt sind und zur Hauptsache aus Papier und Watte der verschiedensten Ausführungsformen und Qualitäten bestehen.
2. Faserfilter, welche bis jetzt nur in der Längsrichtung der Fasern zusammengebündelt werden. Dazu verwendet man fast ausschlieslich Zelluloseazetat.
3. Zellenfilter aus Schaumgummi, die aber noch nicht marktreif sind.

Schon seit langem hat man versucht, durch Zusätze wie Aktivkohle, Silicagel, Kieselgur, Zellulosepulver, organische Säuren oder Salben die Filter zu verbessern⁸⁾. Aus den folgenden Ausführungen soll aber hervorgehen, weshalb diese durch ihr Adsorptionsvermögen und ihre Adhäsion ausgezeichneten Substanzen den erhofften Effekt nicht bringen konnten.

Die Zigarettenfilter haben normalerweise eine Länge von 11 mm. Hier und da trifft man auch solche von 13, 15 oder 22 mm Länge. Die Durchmesser variieren zwischen 7 und 10 mm. Die Querschnittsfläche liegt bei etwa 50 mm². Im Filter bilden sich nun zwischen den einzelnen Materialschichten je nach Materialart und Herstellungsverfahren mehr oder weniger grosse Hohlräume in Form von Löchern, Kanälen und Poren aus. Diese Hohlräume sind bei den Zigarettenfiltern relativ gross, so dass sie von blossem Auge wahrgenommen werden können⁹⁾.

Das gesamte Hohlraumvolumen umfasst nämlich das totale Porenvolumen und das Zwischenmaterialvolumen¹⁰⁾:

$$HV/g = PV/g + ZMV/g \quad 1)$$

Es bedeuten:

- HV/g = Hohlraumvolumen pro Gramm
 PV/g = totales Porenvolumen pro Gramm (umfasst Mikro- und Makroporen bis zum Durchmesser von etwa 5 μ)
 ZMV/g = Zwischenmaterialvolumen pro Gramm (umfasst Hohlräume mit einem grösseren Durchmesser als 5 μ)

Bei Kenntnis der wahren und scheinbaren Dichten sowie des Schüttgewichtes im Filter kann man diese drei Grössen, die jeweils einen bestimmten Prozentsatz des Schüttvolumens ausmachen, gemäss den folgenden Beziehungen berechnen:

$$HV/g = 1/\gamma - 1/dw \quad 2)$$

$$PV/g = 1/ds - 1/dw \quad 3)$$

$$ZMV/g = 1/\gamma - 1/ds \quad 4)$$

$$SV/g = 1/\gamma \quad 5)$$

Es bedeuten:

- γ = Schüttgewicht im Filter in g/cm^3 = Gewicht des Filters / geometrisches Volumen des Filters, reduziert auf 1 cm^3
 dw = wahre Dichte in g/cm^3
 ds = scheinbare Dichte in g/cm^3
 SV/g = Schüttvolumen pro Gramm

Die wahre Dichte wird mit Helium ¹¹⁾ gemessen, die scheinbare Dichte mit Quecksilber ¹²⁾, das noch in Poren, deren Durchmesser grösser als etwa 5 μ sind, einzudringen vermag. Das Schüttgewicht wird durch Wägung der einzelnen Filter und gleichzeitiges geometrisches Ausmessen des Volumens bestimmt.

Für zwei typische Filtersorten haben wir die folgenden Werte gefunden:

Tabelle 1

	Wahre Dichte dw	Scheinbare Dichte ds	Schüttgewicht γ
Schichtenfilter	g/cm^3 1,54	g/cm^3 0,95	g/cm^3 0,29
Faserfilter	g/cm^3 1,41	g/cm^3 1,23	g/cm^3 0,27

Tabelle 2

	Schütt- volumen SV	Hohlraum- volumen HV	Total- porosität P	Poren- volumen PV	Porosität PP	Zwischen- material volumen ZMV	Porosität PZ
Schichtenfilter	cm^3/g 3,45	cm^3/g 2,84	% 82,5	cm^3/g 0,40	% 11,5	cm^3/g 2,44	% 71
Faserfilter	cm^3/g 3,7	cm^3/g 2,99	% 81	cm^3/g 0,10	% 3	cm^3/g 2,89	% 78

Man erkennt aus diesen beiden Tabellen, dass die Schichtenfilter bei etwa gleicher Gesamtporosität ein wesentlich grösseres Porenvolumen haben, was sich in einer ausgeprägten Saugfähigkeit manifestiert. Hingegen ist bei den Faserfiltern das Zwischenmaterialvolumen grösser, was einen kleineren Luftwiderstand ergibt. Die Porenvolume sind gegenüber den Zwischenmaterialvolumina relativ klein.

IV. Filtrierungsmechanismus

Bevor irgendwelche Bindungskräfte chemischer oder physikalischer Natur (Adsorption, Absorption, Chemosorption, Kondensation, Koagulation oder Sedimentation) wirksam in Erscheinung treten können, müssen die bewegten Teilchen einen Teil oder den ganzen Betrag ihrer kinetischen Energie durch möglichst unelastischen Stoss untereinander oder mit dem Filtermaterial verlieren. Erst dann machen sich die obigen Kräfte, welche nicht nur gering sind, sondern auch noch durch Gegenkräfte (Desorption, Verdampfung und Aufwirbelung) verminder werden, bemerkbar. Je mehr von den ankommenden Rauchteilchen einen unelastischen Stoss erleiden, um so grösser ist auch die Rauchabscheidung. Die Stosshäufigkeit ist aber um so grösser, je grösser die vom Filtermaterial besetzte Querschnittfläche bzw. das ihr proportionale äussere Gerüstvolumen und je grösser die Oberfläche des Filtermaterials ist. Da die Rauchteilchen einen dem Porendurchmesser vergleichbaren mittleren Durchmesser besitzen, kann das Porenvolume als für den Abscheideprozess irrelevant vernachlässigt werden. Dieses äussere Gerüstvolumen P_M ist daher mit der folgenden Gleichung definiert:

$$P_M \text{ in \%} = SV - ZMV = 100 - P_Z \quad 6)$$

Die Oberfläche des Filtermaterials ist sehr schwierig zu berechnen oder zu messen. Daher scheint es angezeigt, die ihr proportionale Filterlänge zu verwenden. Für die Filterwirksamkeit ergibt sich daher die einfache Beziehung:

$$FW \text{ in \%} = f \cdot L \cdot P_M \quad 7)$$

wobei L die Filterlänge in mm und f einen Proportionalitätsfaktor, der alle Eigenschaften des Rauches und die restlichen des Filtermaterials umfasst, darstellen. Diesen Proportionalitätsfaktor haben wir empirisch zu etwa $1/30$ bestimmt. Diese Gleichung 7 hat nur Gültigkeit im mittleren Bereich der Filtrierungskurve, d.h. also nur solange die Filterwirksamkeit mit der Filterlänge linear zunimmt. Vor allem bei ganz grossen Filterlängen müssen sich Abweichungen ergeben. Im Proportionalitätsfaktor sind unter anderem auch die noch wesentlich zur Filtrierung beitragenden Faktoren wie Partikeldurchmesser und spezifisches Gewicht enthalten, welche für eine eventuelle Selektivität der Filter von ausschlaggebender Bedeutung sein könnten. Es dürfte richtig sein, dass durch die Filtrierung die grossen und schweren Teilchen rascher und in vermehrtem Masse ausgeschieden werden. Es müsste also dabei ein feinerer und leichterer Rauch entstehen. Diesbezügliche Messungen, vor allem Bestimmungen der Teilchen-

grössenverteilung, fehlen aber vollständig. Auf Grund der allgemeinen Erfahrung, dass die Filterwirksamkeiten in bezug auf Nikotin nicht wesentlich von denjenigen des Gesamtteeres abweichen, könnte man versucht sein anzunehmen, die spezifischen Gewichte und Partikeldurchmesser seien auf die verschiedenen Substanzen ziemlich homogen verteilt, und es sei dadurch eine Selektivität der Filter zum vornehmerein ausgeschlossen.

Der Zusatz von porösen Adsorptionsmitteln, wie Aktivkohle, Silicagel, aktiven Erden usw., deren mittlerer Porendurchmesser bei etwa 80 Å liegt, hat keinen Sinn, da die Rauchteilchen zum vornehmerein nicht an die an und für sich grosse innere Oberfläche herantreten können. Die Rauchteilchen sind, wie bereits geschildert, etwa 10- bis 100mal zu gross. Nur insofern sich die wirksame geometrische Oberfläche vergrössern lässt, was auch mit gewöhnlichen Füllstoffen erreicht werden kann, bedeutet der Zusatz von pulverigem Material eine Verbesserung der Filterwirksamkeit. Leicht kann es dann allerdings geschehen, dass der Luftwiderstand in unnötiger Weise erhöht wird.

Dass Bindungkräfte zwischen Rauchaerosol und Filter nicht zur Auswirkung gelangen können, erkennt man, wenn man dem Filter z.B. Kieselwolframsäure, ein bekanntes Nikotinreagens, zusetzt. Auch mit diesem an und für sich momentan reagierenden Zusatz wird die Nikotinretention nicht merklich verbessert.

Wie aus Gleichung 7 zu ersehen ist, kann die Filterwirksamkeit in erster Linie durch Verlängerung der Filter vergrössert werden. Die Vergrösserung der besetzten Querschnittsfläche bringt keine Vorteile, da der Luftwiderstand noch stärker, als es bei der alleinigen Verlängerung der Filter der Fall ist, ansteigt. Zudem würde die schon an und für sich kurze Kontaktzeit – beträgt diese doch für den Normalfilter nur etwa $\frac{1}{40}$ Sekunde – kaum verbessert.

Zusammenfassung

Von allen Eigenschaften sowohl des Zigarettenfiltermaterials wie auch des Tabakrauches, über welche das Wesentlichste in dieser Arbeit referiert wurde, scheinen die Hohlraumverhältnisse am ehesten Aufschluss über das Wesen der Filtrierung zu geben. Die Hohlraumverhältnisse lassen sich am besten mit den Begriffen wie Gerüst-, Poren-, Zwischenmaterial- und Schüttvolumen erfassen. Dies sind Grössen, welche sich leicht mit Hilfe der messbaren wahren und scheinbaren Dichte sowie des ebenfalls leicht zugänglichen Schüttgewichtes errechnen lassen. So wurde für typische Vertreter von Faserfiltern ein Gerüstvolumen von 22 % in bezug auf das Schüttvolumen und von 29 % für solche von Schichtenfiltern gefunden.

Auf einer rein kinetischen Vorstellung der Filtrierung aufbauend, erkennt man, dass weder der Chemismus noch die Mikrostruktur des Filtermaterials für den Abscheidegrad von Bedeutung sind, sondern dass die Filterwirksamkeit in erster Linie von der Oberfläche und dem Gerüstvolumen entscheidend beeinflusst wird.

Eine Verbesserung des Totalabscheidegrades dürfte am ehesten noch mit einer Verlängerung der Filter – was auf eine Vergrösserung der Oberfläche hinausläuft – erzielt werden, wobei eine Selektivität der Filterwirkung auf Grund der bis heute gemachten Ueberlegungen ausgeschlossen erscheint.

Résumé

De toutes les propriétés du filtre ou de la fumée dont on a exposé l'essentiel dans ce travail, ce sont les qualités de porosité qui donnent le plus de précisions sur le mécanisme de la filtration. On peut définir de plus près la notion de porosité à l'aide des grandeurs suivantes: volume de structure, volume des pores, volume interstitiel et volume total. Ce sont des quantités qu'on peut facilement déterminer au moyen de la densité vraie, de la densité apparente et du poids total, toutes grandeurs facilement mesurables. Ainsi pour des spécimens typiques de filtres à fibres d'acétate, le volume de structure a été trouvé égal à 22 % du volume total et à 29 % pour les filtres à couches de papier.

Se basant sur la représentation cinétique de la filtration, on a reconnu que ni la composition chimique ni la structure fine du matériel ne sont importantes, mais que la surface et le volume de structure sont déterminants pour l'efficacité du filtre.

Une amélioration du degré de séparation totale pourrait être réalisée le plus facilement en allongeant le filtre – ce qui signifie une augmentation de la surface –, une sélectivité du filtre n'entrant pas en ligne de compte selon les idées émises jusqu'à présent.

Summary

Of all properties of cigarette filters and of tobacco smoke reported in this paper, porosity seems to give the most information about the mechanism of filtration. Porosity is best described in terms of structure volume, pore volume, interstitial volume, and bulk volume. These are quantities which can be easily determined from the true density, the apparent density and the bulk density. We have thus found for typical specimens of acetate fiber filters a structure volume of 22 %, and for those of paper layer filters, a structure volume of 29 %.

Starting from the kinetic idea of filtration it seems that neither the chemistry nor the microstructure of filter materials are fundamental for the precipitation of smoke. The filter efficiency is essentially determined by the surface and structure volume of filter materials.

Improving the degree of precipitation could most easily be realised by increasing the filter length – which is the same as increasing its surface. According to current ideas a filter selectivity does not exist.

Literatur

- ¹⁾ Wynder E. L., Graham E. A. und Croninger A. B., Cancer Res. **13**, 855 (1953).
- ²⁾ Eschle K., diese Mitt. **49** (5), 275 (1958).
- ³⁾ Waltz P., Häusermann M. und Nyari E., diese Mitt. **50** (3), 166 (1959).
- ⁴⁾ Munger H. P., Air-Pollution Handbook (1952), 159 (Hill Book Co. Inc. New-York)
- ⁵⁾ Ficklen J. B. und Ott L. H., J. Ind. Hyg. Toxicol. **17**, 164 (1935).
- ⁶⁾ Bonnet J. und Neukomm S., Helv. Chim. Acta **34** (6), 1724 (1956).
- ⁷⁾ Holsti L. R., Cancer **8**, 679–682 (1955).
- ⁸⁾ Derr P. B., Ind. Eng. Chem. **29**, 774 (1937).
- ⁹⁾ Corte H., Das Papier **9**, 290–295 (1955).
- ¹⁰⁾ Eschle K., Diss. ETH Nr. 2340.
- ¹¹⁾ Howard H. C. und Hulett G. A., J. Phys. & Coll. Chem. **28**, 1082 (1924).
- ¹²⁾ Herbst H., Koll. Beih. **42**, 273 (1935).