

Filter für Dieseldieselkraftstoffe

Von Obering. K. RICHTER, Dresden

DK 629.1-42: 621.436

Allgemeines zum Problem der Filtration

Filter sind Hohlraumssysteme von verschiedenartigstem inneren Aufbau. Sie enthalten im allgemeinen unregelmäßig orientierte Poren, Spalten oder Maschenebenen wechselnder Größe und Gestalt verteilt in dem selbst undurchlässigen Filtermaterial.

Die Filtration, d. h. die Abscheidung am oder im Filter stellt einen überaus verwickelten Vorgang dar und kann erfolgen durch Siebung, Adsorption, Aufprall, Ablagerung in Toträumen oder durch Bindung an Stoffe, die ihrerseits durch Adhäsion am Filtermaterial haften (Öl, Harz, Asphalt, Öl im Luftfilter). Bei einigen Filtermaterialien und zu filternden Stoffen kann durch elektrische Kräfte (Vinidur und Staub, Elektrofilter usw.) die Filtration unterstützt bzw. allein durchgeführt werden. Außer der Filterstruktur ist der Filtrationsvorgang weitgehend abhängig von der Teilchengröße, deren Beschaffenheit, der Konzentration und der Durchflußgeschwindigkeit.

Durch die allmähliche Verringerung des Porenquerschnittes infolge Zusetzen der Poren (Verstopfung des Filters) und durch Bildung eines Filterkuchens ergibt sich eine Vergrößerung der Filterwirkung.

Die Porenweite (der Begriff wird hier im allgemeinen Sinne benutzt, es fallen also auch darunter die Spalte, Maschen usw.) liegt bei der Betrachtung der Filtration im Vordergrund.

Ist die Porenweite geringer als das kleinste abzufilternde Teilchen, so liegt reine Siebwirkung vor, d. h. die Größe der abzuscheidenden Teilchen entspricht der „Porenweite“ des Filters.

Die Abscheidung am Filter erfolgt aber nicht nur dann, wenn die Teilchengröße die Porengröße übertrifft, sondern es können auch Teilchen zurückgehalten werden, die wesentlich kleiner sind als diese.

So ist beispielsweise durch Messung der Durchlässigkeit von Filtern mit Stoffen, die gegenüber dem Filtermaterial indifferent sind, festgestellt worden, daß bei einer mittleren Porenweite des Filters von 1μ alle Teilchen über $60 m \mu$ einer Goldsohle, also Teilchen, die fast zwei Zehnerpotenzen kleiner waren, zurückgehalten wurden. Ursache ist die Adsorption am Filtermaterial, die, wenn die zu filterierenden Teilchen zum Filtermaterial ausgeprägte adsorptive Neigung besitzt, der Siebwirkung immer überlegen sein wird. Dies trifft insbesondere für kleinste Teilchen zu, wo die Wahrscheinlichkeit zum Zusammenstoß mit der Kapillarwand infolge der diesen Teilchen eigenen Bewegung größer wird. Größere Teilchen, bei hoher Strömungsgeschwindigkeit im Filter auch kleinere Teilchen, werden teilweise durch den Aufprall auf das Filtermaterial und in Porenkrümmungen abgeschieden. Dabei ist aber Voraussetzung, daß der Wichteunterschied zwischen auszuscheidenden Teilchen und dem Träger groß ist. Die Größe dieser Wirkung ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit und vom Durchmesser der Filterfaser und nimmt im allgemeinen bei größeren Durchmessern ab. Mit größerer Verweilzeit der Teilchen im Filter nimmt die Wahrscheinlichkeit der Bindung an die Filterwand zu. Die Verweilzeit ist von der Durchlaufgeschwindigkeit und der Filterdicke abhängig. Zusammenfassend ist zu sagen, daß die häufig vorgetäuschte reine Siebwirkung nur in wenigen Fällen angenommen werden kann

und die Filtration durch eine Reihe verwickelter Erscheinungen beherrscht wird.

Aufbau der Filterelemente

Je nach Aufbau und Art der Filter sind die Formen und Anordnung der Durchflußquerschnitte stark unterschiedlich. Die einlagigen Siebfilter haben konstanten, die aus Fasern (Filz und Papier) oder aus zusammengefritteter Kornschüttung (keramische Filter und Galsfritten) aufgebauten Filter haben unregelmäßige Durchflußquerschnitte.

Hierbei können die Hohlräume als Poren mit rundem Querschnitt oder als Spalte mit rechteckigem Querschnitt ausgebildet sein. Für die Filtration ist weiterhin noch der Abstand der das Filter bildenden Materialteilchen (Porenwände) wichtig. Je nach Abstand der den Hohlraum bildenden Porenwände ist der Einfluß der Wandkräfte auf die Filtration unterschiedlich.

Bei den Leer-Räumen (Bild 1) ist der Wandabstand bzw. die Porenweite so groß, daß der Wirkungsbereich der Wandkräfte im Verhältnis zum freien Querschnitt sehr klein ist. Der Durchfluß wird hierdurch nicht beeinflusst.

Diese Räume sind ohne Schwierigkeiten füll- und entleerbar. Gefiltert werden nur Teilchen, die größer sind als die Porenweite und solche geringster Größe, die durch Adsorption an der Wand festgehalten werden. Außerdem die Teilchen, die durch Aufprall auf Wandteilen oder Fasern festgehalten oder in den Toträumen abgelagert werden.

Der Filterwirkungsgrad ist schlecht.

Als weitere Form ist zu nennen der Kapillarraum (Bild 1, 2). Hier ist der Abstand der Wandteile so gering, daß die Wandkräfte fast über den ganzen Querschnitt wirksam werden (Adsorption). Der Durchfluß wird behindert. Bei der Füllung und Entleerung ist ein merkbarer Widerstand vorhanden. Bei dem dritten System, dem Krafraum (Bild 1, 3) ist der Abstand der die Hohlräume bildenden Wände so klein, daß ein von Wandkräften freier Raum bzw. Querschnitt nicht vorhanden ist.

Die Dieseldieselkraftstoff-Filter aus Baumwolle, Filz und Papier sind kombinierte Hohlraumssysteme und haben sowohl Kraft- als auch Kapillarsysteme, wobei im Filz bei ungleichmäßigem Rohstoff außerdem noch Leer-Räume vorhanden sein können.

Anforderungen an Dieseldieselkraftstoff-Filter

Um die Dieseldieselkraftstoff-Einspritzpumpen, Einspritzdüsen mit ihren sehr engen Passungen und hochwertigen Oberflächen für Fahrzeug-Dieselmotoren mit kleinen Zylindereinheiten weitgehend vor vorzeitigem Verschleiß zu schützen, muß der Dieseldieselkraftstoff durch Filtrieren weitestgehend von Fremdkörpern befreit werden.

Als Maßstab für die Korngröße, die von den Dieseldieselkraftstoff-Filtern im Idealfall zurückgehalten werden sollte, kann die eines Polierlappmittels (TOG 100) zugrunde gelegt werden (Bild 2). Mit diesem Lappmittel wird ein noch relativ hoher Materialabtrag erreicht. Die Teilchengröße des Lappmittels beträgt etwa 2μ . Etwa gleiche Größe hat auch das Passungsspiel in den Pumpenelementen und Einspritzdüsen. Um also den Verschleiß während des Betriebes zu verhindern, wäre zu fordern, daß die Filter mit Sicherheit alle Teilchen über 2μ zurückhalten.

Zur Orientierung über den Einfluß der Verschmutzung und der Teilchengröße auf den Verschleiß von Pumpenelementen sind in Bild 3 bis 6 die von Austen und Goodridge (5) mitgeteilten Werte teilweise wieder-

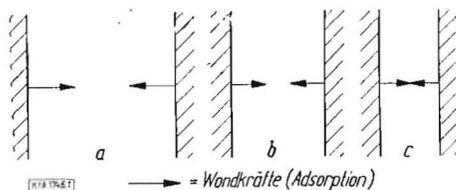


Bild 1.
Hohlraumformen

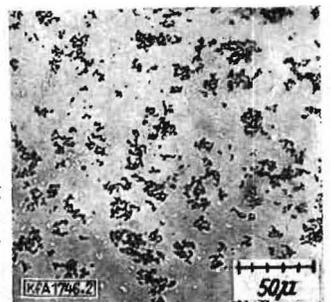


Bild 2. Polierlappmittel (TOG)

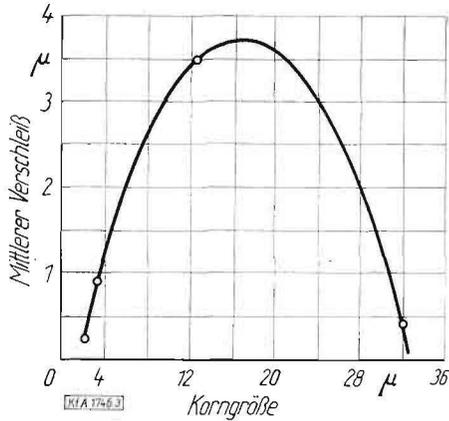


Bild 3. Einfluß der Korngröße von Korund auf den mittleren Verschleiß von Einspritzpumpenelementen nach Durchfluß von 67 l Dieselkraftstoff mit 2 g Korund (0,03 g/l). Nach Austen und Goodridge

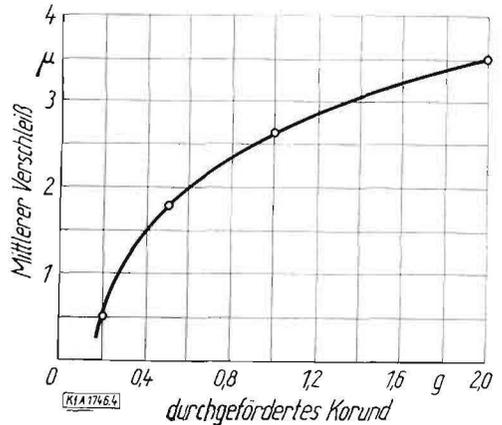


Bild 4. Einfluß des mit 0,03 g/l und einer Korngröße von 12,5 μ zugeführten Korunds auf den mittleren Verschleiß. Nach Austen und Goodridge

gegeben. Die Versuche wurden mit Alundum, einem Korund, der durch Schlämmen und Windsichten in Fraktionen von 2; 3,25; 12,5 und 32 μ aufgeteilt war, durchgeführt. Die Verschmutzung war zu 0,03 g/l gewählt und als Versuchsdauer die Zuführung von 2 g Korund festgelegt. Bei der gewählten Verschmutzung ergab sich eine durchlaufende Kraftstoffmenge von 67 l je Pumpenelement. Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß die Korngröße der Schmutzteilchen (Bild 3) den mittleren Verschleiß in erheblichem Umfang beeinflusst. In einem bestimmten Korngrößenbereich ist dabei ein Maximum des Verschleißes vorhanden. Je nach Herkunft, Form, Härte, der Schneidwirkung der Schmutzteilchen, dem Passungs spiel und der äußeren Gestalt der durch den Verschleiß gefährdeten Teile (Beispiel Pumpenkolben mit oder ohne Steuerkante) werden sich die Bereiche der „Kritischen Korngrößen“ verschoben.

Der Verschleiß der Pumpenelemente und Düsen erfolgt einmal gleichmäßig auf den Umfang verteilt und als örtlicher Verschleiß an den Kraftstoff-, Ein- bzw. Überströmöffnungen der Büchse und an den Steuerkanten des Pumpenkolbens. Der Materialabtrag bei dem gleichmäßig verteilten Verschleiß wird wahrscheinlich dem Vorgang beim Läppen entsprechen. In diesem Falle werden mit dem Dieselkraftstoff Verunreinigungen zwischen die Gleitflächen gelangen und die Schmutzteilchen werden je nach Korngröße, Härte usw. zwischen diesen Flächen rollen oder festgehalten und zersplittert werden.

Der örtliche Verschleiß an den Ein- bzw. Überströmöffnungen und an den Steuerkanten wird vorwiegend durch Erosion hervorgerufen. Bei dieser Verschleißart wird die kritische Korngröße wahrscheinlich den größten Einfluß haben. In diesem Falle wird auch ein stärkerer Einfluß der Höhe der Kraftstoffverschmutzung auf den Verschleiß vorhanden sein. Bei den unterhalb der kritischen Korngröße liegenden Teilchen wird der Anteil des Erosionsverschleißes infolge geringerer Massewirkung der kleinen Teilchen und demzufolge auch der mittlere Verschleiß geringer sein.

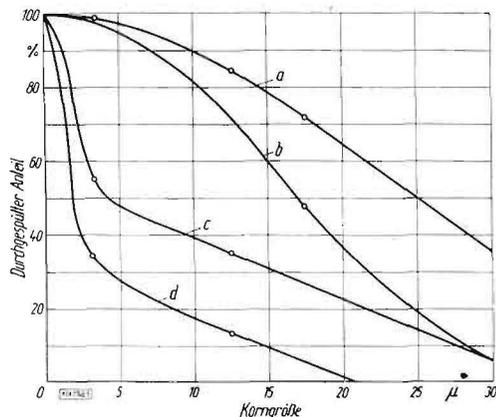


Bild 5. Teilchendurchgang bei verschiedenem Filtermaterial. Nach Austen und Goodridge

Sobald die Korngröße so weit abgenommen hat, daß ein Druck zwischen den Flächen nicht entstehen kann, hört ähnlich wie bei den Polierlappen die Schneidwirkung der Verschmutzung und damit der Verschleiß auf. Der Einfluß der Höhe der Verschmutzung auf den Verschleiß ist geringer als bei der kritischen Korngröße. Obwohl von einer kleinsten Korngröße an ein Verschleiß nicht mehr zu erwarten ist, sollten diese Teilchen auch weitestgehend ausgefiltert werden, da diese als Kondensationskerne bei der Harz- und Asphaltaucheidung wirken können. Hierdurch wird das Festsetzen der unter Temperatur und Druck stehenden Flächen und Düsen begünstigt.

Mit zunehmender mittlerer Größe der Körner können nur solche zwischen die Gleitflächen gelangen, die in ihrer Abmessung dem Passungs spiel entsprechen oder beim Durchgang durch das Pumpenelement aus irgendeinem Grunde zerbrochen werden. Der dabei mögliche Erosionsverschleiß nimmt ebenfalls ab, da mit zunehmender Größe der Schmutzteilchen die Zahl der je Gewichtseinheit vorhandenen Teile geringer ist. Die restliche grobe Verschmutzung wird vorwiegend durchgespült.

Weiterhin ergibt sich aus Versuchen mit einem Alundum von 12,5 μ und einer Verschmutzung des Kraftstoffes von 0,03 g/l, daß mit zunehmender Abnutzung der zuerst steil ansteigende Verschleiß geringer wird (Bild 4). Ursache hierzu ist das mit steigender Abnutzung größer werdende Spiel und die Formänderung an den Erosionsstellen. Damit verschiebt sich auch die „Kritische Korngröße“ nach größerem Teilchendurchmesser, so daß bei Vorliegen einer einheitlichen Korngröße der Verschleiß mit der Beanspruchungsdauer geringer wird. Die Durchlässigkeit verschiedener Filtermaterialien und Korngrößen wurde ebenfalls untersucht (Bild 5).

In bezug auf die Filtermaterialien wurde die aus der Erfahrung heraus bekannte Reihenfolge festgestellt, wobei aber Angaben über die Baumwoll- und Filzqualität fehlen. Auf Grund dieser Kennlinien wurde der zu erwartende mittlere Verschleiß

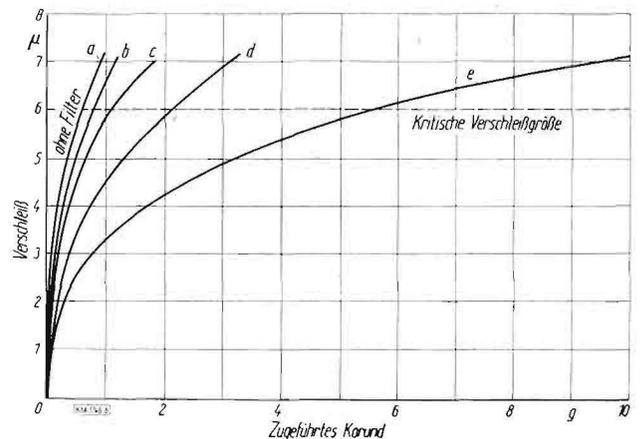


Bild 6. Rechnerisch bestimmter Verschleiß bei verschiedenen Filtermaterialien. Verschmutzung: Korund mit einer Korngröße zwischen 0 und 30. Nach Austen und Goodridge

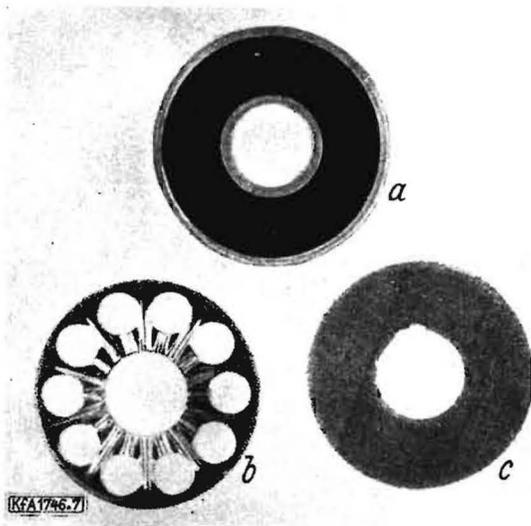


Bild 7. Siebfilter

bzw. die Verschleißtiefe (Bild 6) abhängig von der insgesamt zugeführten Verschmutzung des Kraftstoffes durch Läppmittel mit Korngrößen zwischen 0 und 30μ berechnet. Als kritische Verschleißgröße wurde auf Grund von Erfahrungen (5) hierbei eine Spielvergrößerung von 6μ festgelegt. Leider wird in dieser Arbeit nichts über die Größe des Passungsspieles der für die Versuche verwendeten Pumpenelemente ausgesagt. Trotzdem ist hier bereits zu erkennen, daß für eine weitgehende Herabsetzung des Verschleißes die Baumwoll- und Filzfilter nicht ausreichend sind und nur mit Papierfiltern geeigneter Qualität gute Filtrierung des Kraftstoffes und damit eine lange Lebensdauer der Pumpenelemente bzw. Einspritzdüsen erreicht werden kann.

Aufbau der Filter für Dieselkraftstoffe

Für die Filtrierung von Dieselkraftstoffen finden sowohl Siebe, Spaltfilter, Filze als auch Papierfilter Verwendung. Im Gegensatz zu den Luftfiltern muß die Porenweite des Kraftstoff-Filter fast der abzuschneidenden Korngröße entsprechen. Infolge des geringen Unterschiedes in der Wichte zwischen dem Kraftstoff und den Schmutzteilen, der größeren Zähigkeit des Kraftstoffes gegenüber der Luft, kann der Pralleffekt, der es gestattet Filter zu bauen, deren Porenquerschnitte größer sind als die abzuschneidenden Staubteilchen, nicht ausgenutzt werden.

Die Siebfilter, die vorwiegend als Ölfilter Anwendung finden, haben Filterscheiben aus Metallgewebe. Als wirksames Filtergewebe wird hier (Bild 7) ein Prüfsiebgewebe 0,075 DIN 1171, das auf einem gröberen Stützgewebe und einer Sickerscheibe aufliegt, benutzt. Auf Grund der relativ großen Maschenweite von 75μ ist eine ausreichende Filtrierung nicht zu erwarten.

Die Spaltfilter für Kraftstoffe (Bild 8) bestehen aus planem Metallplatten bzw. Ringen, die zum Einhalten eines bestimmten Abstandes untereinander mit Noppen von 0,03 bis 0,05 mm Höhe versehen sind. Damit ergeben sich Durchflußspalte gleicher

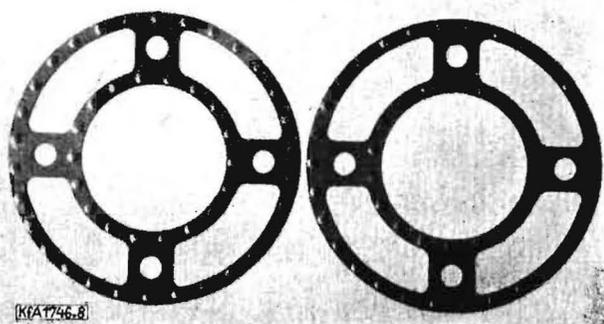


Bild 8. Lamellen von Spaltfiltern

Höhe. Auch hier ist eine ausreichende Filtrierung des Kraftstoffes nicht zu erwarten. Völlig ungeeignet sind für Kraftstoffe die Spaltfilter für Schmieröle mit Zwischenscheiben und Reinigungskamm. Die Spalte werden hier durch Zwischenscheiben mit einer geringsten Dicke von 0,1 mm gebildet. Die Spaltweite ist also erheblich größer als bei den Kraftstoff-Filtern. Bei Stoffen hoher Viskosität, also Ölen, haben diese Filter trotzdem sehr gute Wirkung, und es werden noch Schmutzteilechen zurückgehalten, deren Größe erheblich unter der des Spaltes liegt.

Die Filterwirkung ist hierbei gegeben durch die Adhäsion und Adsorption des Öles an der Metalloberfläche, die durch die polaren Eigenschaften der Öle begünstigt wird. Die auf den Metallplatten befindlichen Ölschichten verkleinern die Spaltweite und außerdem werden die Verschmutzungen in diesen festgehalten. Bei der Filtrierung von Kraftstoffen fehlen diese Oberflächenschichten und das Filter wirkt als Sieb.

Filzfilter

Als Filter für Dieselkraftstoffe haben die Filzfilter die weiteste Verbreitung gefunden. Die Filze entstehen bei der Behandlung eines losen Fasermaterials durch schiebenden Druck, Feuchtigkeit und Wärme. Die Gleichmäßigkeit und Feinheit der Rohstoffe beeinflusst in hohem Maße die Porenverteilung in Qualitäten nach dem Rohstoff (Haare, Wollhaar, Wolle) und nach dem Raumgewicht (g/cm^3).

Mit zunehmendem Raumgewicht und Feinheit der Faser nimmt in ersterem Falle das Porenvolumen und mit der Verfeinerung der Faser die Porenweite ab. Mit Rücksicht auf die hierbei auftretende Erhöhung des Durchflußwiderstandes werden je nach Feinheit und Gleichmäßigkeit der Faser für die DK-Filter vorwiegend Filze mit einem Raumgewicht von ρ_{sch} 0,22 bis $0,36 \text{ g}/\text{cm}^3$ verwendet. Die in der Filzindustrie zur Festigkeitskennzeichnung (weich, hart usw.) verwendeten Buchstaben A — J entsprechen jeweils einem bestimmten Raumgewicht. Ohne Angaben über die verwendeten Rohstoffe (Mischungen) kann besonders bei weichen Filzen aus der Festigkeit und dem Raumgewicht die Eignung für Filter nicht bestimmt werden.

In Bild 9.1 und 9.2 sind die Oberflächen von Filzen mit sehr unterschiedlicher Filterwirkung in bezug auf die durchgelassene Korngröße und Menge wiedergegeben. Der Filz entsprechend Bild 9.1 $\rho_{sch} = 0,266 \text{ g}/\text{cm}^3$ ist für Filter vollkommen ungeeignet. Durch die unterschiedliche Faserdicke bilden sich Hohlräume (schwarze Stellen im Bild), die auch durch stärkere Pressung des Filterpaketes nicht beseitigt werden können. Gute Filterwirkung hatten die für die Enddichtungen verwendeten Filze mit einem Raumgewicht von $0,468 \text{ g}/\text{cm}^3$. In Bild 9.2 ist die durch die gleichmäßigen Fasern erreichbare gleichmäßige Porenbildung dargestellt. Der Aufbau der Filzfilterpakete erfolgt aus Scheiben verschiedener Stärke und Festigkeit (Bild 10), die mit einer Pressung von 1,0 bis $1,5 \text{ kg}/\text{cm}^2$ zusammengebaut werden sollen.

Die in ihren Dicken und Raumgewichten unterschiedlichen Scheiben und die Pressung des Filterpaketes sind erforderlich, um die Ungleichmäßigkeiten der Filzoberfläche auszugleichen, damit der Durchtritt von ungerinigtem Kraftstoff an den Berührungsstellen der Scheiben vermieden wird.

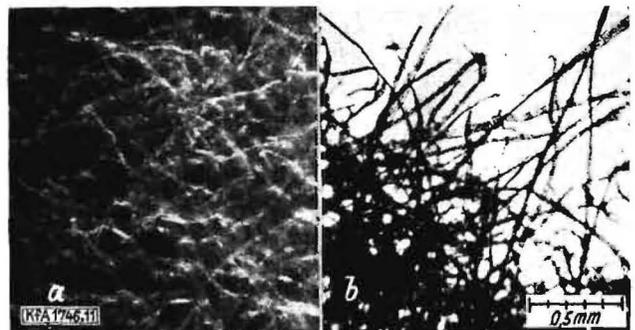


Bild 9. Struktur von Filzen

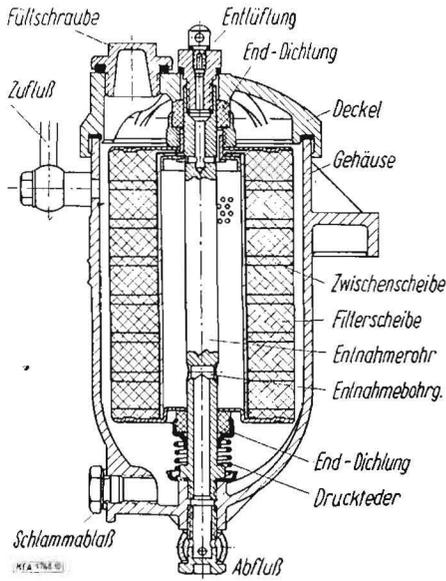


Bild 10. Dieseldieseltstoff-Filter B DIN 73358 mit Filtereinsatz aus Filz

Um zu erreichen, daß bei weichen Filterfilzen die Pressung möglichst gleichmäßig auf alle Scheiben übertragen wird, sind harte Zwischenscheiben mit einem Raumgewicht von mindestens $0,36$ bis $0,4 \text{ g/cm}^3$ zu verwenden. Umgekehrt sind bei harten Filterfilzen, bei denen zum Ausgleich der Oberflächenungleichmäßigkeiten sehr hohe Pressung angewendet werden müßte, weiche Zwischenscheiben, die sich gut anschmiegen, erforderlich.

Besteht der Filz aus guten und gleichmäßigen Rohstoffen, so können mit der Faserfeinheit und außerdem durch die Höhe der Pressung die Porenweite, das Porenvolumen und damit der Filterwirkungsgrad und der Druckverlust beeinflußt werden.

Papierfilter

Im Gegensatz zu den Filzfiltern, bei denen je nach Rohstoff ein Faserdurchmesser zwischen 20 und 100μ vorliegen kann, haben die Papierfasern der untersuchten Filter, deren Länge je nach Mahlgrad zwischen $1,5$ und 5 mm liegt, einen sehr gleichmäßigen, fast rechteckigen Querschnitt von $5 \times 50 \mu$ (Bild 11).

Durch die feinen Fasern und das Herstellungsverfahren der Filterscheiben ergibt sich eine sehr dichte Lagerung und damit auch sehr enge Spalte bzw. Durchflußöffnung. Die Porenweite kann bei den Zellstoff-Filtern durch den Mahlgrad, also die Faserlänge, in einem gewissen Umfang beeinflußt werden. Mit steigendem Mahlgrad SR (Schopper-Rieger) werden die Fasern kürzer und deren Schichtung oder Packung dichter. Als Folge der engen Spalte liegen hier nur Kapillar- und Kraftsysteme vor. Hierdurch und durch Zunahme der Querschnittseinflüsse auf die Strömung nehmen die Durchflußbeiwerte ab. Der Vergleich der Durchflußwerte eines Filzes und eines untersuchten Papier-

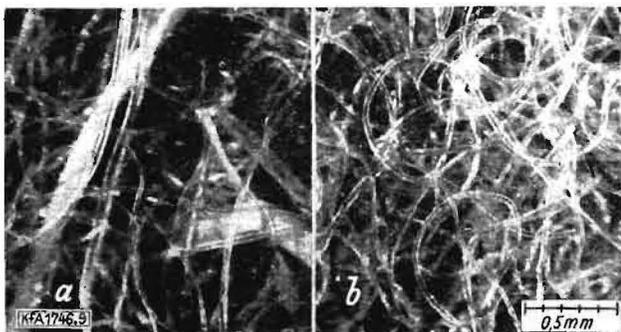


Bild 11. Struktur von Papierfiltern

filters zeigt dies sehr anschaulich. Obwohl das Raumgewicht des untersuchten Papierfilters mit $0,797 \text{ g/cm}^3$ und dem daraus bestimmten Porenvolumen von 66% ähnlich ist dem eines untersuchten Filters mit einem Raumgewicht von $0,424 \text{ g/cm}^3$ und einem Porenvolumen von $68,5\%$, verhält sich der Durchfluß je Flächeneinheit als Folge der vorher beschriebenen Einflüsse etwa wie $1:4$. Durch die feinen Filterspalten ist die Siebwirkung der Papierfilter um ein Vielfaches größer als das der Filze. Die Anwendbarkeit der Papierfilter ist allein bestimmt durch die Möglichkeit der Unterbringung einer für den erforderlichen Durchfluß ausreichenden Fläche. Dies bedeutet also, daß in das Filtergehäuse B DIN 73358 anstatt 335 cm^2 Filzoberfläche für die untersuchten Papierfilter eine Fläche von mindestens 1400 bis 1500 cm^2 untergebracht werden muß.

Durch den Aufbau der Filterscheiben zu einer Säule (Bild 12.1), für die als Zwischenlösung die Anordnung der Filterscheiben zwischen Hartpappe durchgeführt ist, ergibt sich ein Labyrinthfilter. Durch besondere Formgebung des Papierfilters (Bild 12.1) entfallen in der endgültigen Ausführung die Zwischenscheiben, und die Filter werden einfach im Aufbau. Vorteilhaft ist auch die hierbei mögliche Vielzahl der Kraftstoff-Eintrittsöffnungen, wodurch eine bessere Verteilung der Verschmutzung auf der Filterfläche erreicht wird und die mögliche Betriebsdauer zunimmt.

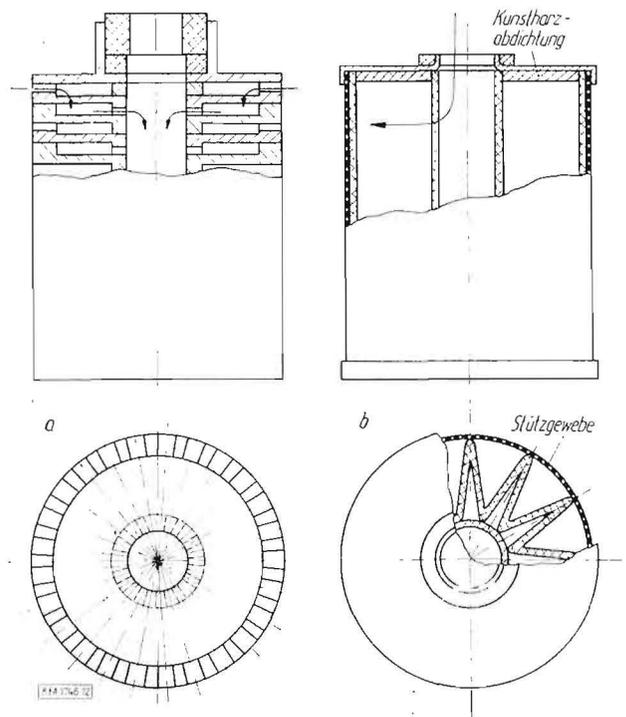


Bild 12. Aufbau von Papierfiltern

Bei einer weiteren Anordnung Bild 12.2 wird ein Filterstreifen sternförmig gefaltet und an der Stoßstelle zusammengeklebt. Zusammen mit einem Stützgewebe wird der Filterstreifen in die Endscheiben durch Kunstharz eingedichtet. Die Filteroberfläche, die bei einem solchen Körper in der Gehäusegröße B untergebracht werden kann, liegt bei 1000 cm^2 . Der Aufbau des Filters erfordert aus mechanischen Gründen eine größere Filterdicke. Um trotz der größeren Dicke die Druckverluste ausreichend niedrig zu halten, muß zur Herstellung des Filterpapiers eine größere Mahlung, die größere Porenweiten ergibt, verwendet werden. Mit der zum Ausgleich der großen Poren erforderlichen größeren Wandstärke des Filters wird die Verweilzeit der Schmutzteile im Filter und damit die Wahrscheinlichkeit der Abscheidung größer. Der Durchfluß des Kraftstoffes durch das Filter erfolgt aus Festigkeitsgründen außerdem von innen nach außen.