

# Über Luftfilterentwicklungen für Fahrzeug- und Schleppermotoren

## Teil II

Von Obering. K. RICHTER, Dresden

DK 629,1-42:621.436

### 1.4 Ermittlung der Zyklonabmessungen.

Obwohl der Zyklon zu einem der bekanntesten Staubabscheider gehört, ist der Einfluß der einzelnen Abmessungen nicht in allen Einzelheiten bekannt. Die Entwicklung der Zyklone erfolgt vorwiegend auf Grund von Erfahrungen, wobei maximale Wirkungsgrade nur durch den Versuch zu erreichen sind.

Für Zyklone, die in Kraftfahrzeugen eingebaut werden sollen, kommt erschwerend hinzu, daß ihre Abmessungen durch die Unterbringungsmöglichkeit ein bestimmtes Maß nicht überschreiten dürfen.

Auch bei den vom Institut für Verbrennungsmotoren und Kraftfahrwesen der Technischen Hochschule Dresden (IVK) entwickelten Zyklonen ist zum Teil auf die bei Großzyklonen gesammelten Erfahrungen zurückgegriffen worden.

### 1.5 Druckbedarf der Zyklone.

Von Einfluß auf den Druckverbrauch sind der Einlaufquerschnitt ( $a b$ ), der Einlaufdurchmesser ( $d_3$ ), der Durchmesser des Reingasrohres ( $d_1$ ) und der Kerndurchmesser (Bild 8) ( $d_0$ ). Entsprechend dem motorischen Betrieb sind etwa 500 mm WS der höchstzulässige Druckverbrauch, der von einem aus Vor- und Feinfilter bestehenden Luftfiltersystem in Anspruch genommen werden kann, ohne daß ein für den Betrieb des Fahrzeuges merkbarer Leistungsabfall eintritt.

Im Grenzfalle wird also für den nicht aufgeladenen (Saug-) Zyklon als Vorfilter ein Druckverbrauch von 250 mm zulässig sein. Den höchsten Druckbedarf hat durch Bildung des am Durchfluß nicht beteiligten Kernes (Bild 8) das Reingasrohr. Experimentell kann der Kerndurchmesser aus der von Meldau [3] aufgestellten Beziehung  $r_0 = \frac{\alpha' r_1}{107}$  ermittelt

werden, wobei  $\alpha'$  der Drallwinkel der Strömung an der Wand im Reingasrohr ist: Der Drallwinkel im Reingasrohr kann mit den in der Strömungstechnik üblichen Anstrichverfahren usw. durch Versuch bestimmt werden (Bild 8). Entsprechend der Größe des Kerndurchmessers  $d_0$  ändert sich der Einlaufquerschnitt in das Reingasrohr und damit sowohl die Geschwindigkeit als auch der Steigungswinkel  $\alpha'$  der Drallströmung im Reingasrohr.

Der Druckbedarf für das Reingasrohr ergibt sich zu

$$\Delta h_1 = \left( \frac{Q'}{\alpha_1 \sqrt{2g\pi(r_1^2 - r_0^2)}} \right)^2 \quad [\text{kg/m}^2],$$

wobei auf Grund von Erfahrungen  $r_0 = \frac{r_1}{1,5}$  und  $\alpha_1 = 0,7$  einzusetzen ist.

Für den Einlauf gilt:

$$\Delta h_2 = \left( \frac{Q'}{\alpha_2 \sqrt{2g \cdot 2 a b}} \right)^2 \quad [\text{kg/m}^2] \quad \alpha_2 = 0,9$$

und für das Spiralgehäuse

$$\Delta h_3 = \frac{\gamma L K^2}{g \cdot 2} \left( \frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right) \quad [\text{kg/m}^2] \quad K = v_{sp} r_{sp}$$

### 1.6 Bestimmung der Zyklonabmessungen.

In Tafel I sind, von der Höhe des zulässigen Druckverbrauches, der Art des Staubaustrages (offen, geschlossen) und der

auf den gefüllten Querschnitt des Reingasrohres bezogenen Luftgeschwindigkeit ausgehend, die Durchmesser- und Längenverhältnisse der Zyklone der Reihe I bis III eingetragen. Die Lage der Bezeichnung ist aus Bild 2 ersichtlich.

Für die Zyklone der Reihe I mit Staubaustrag in das Freie wurde in Übereinstimmung mit den Erfahrungen an Großzyklonen das Verhältnis des Durchmessers des Reingasrohres zum Außendurchmesser  $\frac{d_2}{d_1}$  zu 2,65 ermittelt. Die Auswurfgeschwindigkeit des Staubes ist hierbei wesentlich größer als die Einströmgeschwindigkeit der Luft über die Schlitzze.

Die kleineren Abmessungen der Reihe II konnten bei gleichem

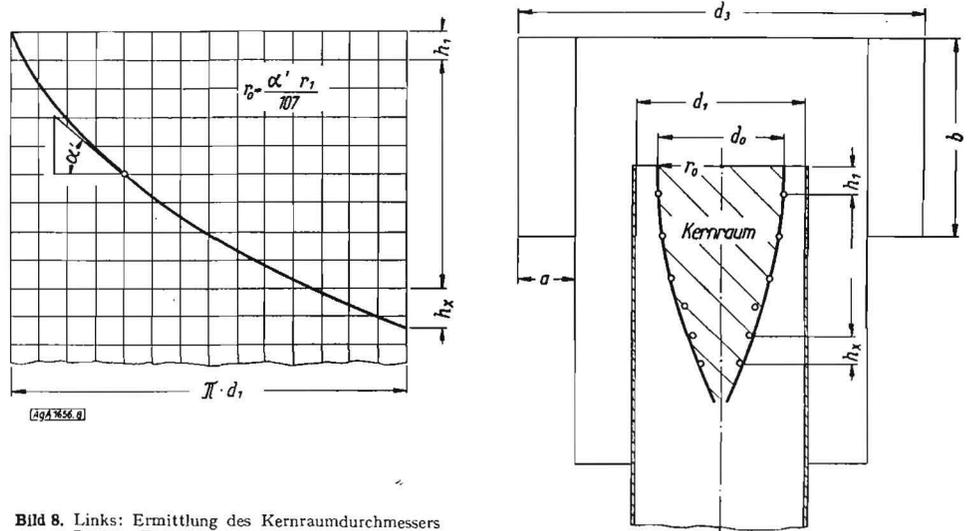


Bild 8. Links: Ermittlung des Kernraumdurchmessers  
Rechts: Form des Kernraumes

Druckbedarf, gleichem Reingasrohrdurchmesser wie bei der Reihe I, nur dadurch erreicht werden, daß  $\frac{d_2}{d_1} = 1,9$  gewählt wurde.

Die hierdurch bedingte Abnahme des Wirkungsgrades wird ausgeglichen durch Erhöhen der Einlaufgeschwindigkeit von 10 auf 14 m/s. Die kleineren Abmessungen des Umlaufquerschnittes ergeben außerdem höhere Tangentialgeschwindig-

Tafel I

Zyklon-Reihe .....	I.	II	III
Druckbedarf f mm WS .....	250	250	500
Staubaustrag .....	offen	geschlossen od. durch Abgsen.	
$v_1$ Reingasrohr $\frac{4Q'}{d^2 - \pi}$ [m/s]	20 - 25	20 - 25	45
$v_2$ Einlauf $= \frac{Q'}{2ab}$ [m/s]	10	14	18
Reingasrohr $\varnothing d_1 = 2r_1$ [mm]	$\sqrt{\frac{4000 \cdot Q'}{\pi V_1}}$	$\sqrt{\frac{4000 \cdot Q'}{\pi V_1}}$	$\sqrt{\frac{4000 \cdot Q'}{\pi V_1}}$
Zyklon $\varnothing d_2 = 2r_2$ [mm]	$2,65 \cdot d_1$	$1,9 \cdot d_1$	$2,3 \cdot d_1$
Einlauf $\varnothing d_3 = 2r_3$ [mm]	$1,35 \cdot d_2$	$1,35 \cdot d_2$	$1,35 \cdot d_2$
Krümmungsradius des Einlaufes $r_4$ [mm]	$r_2$	$r_2$	$r_2$
Deckelwölbung $r_5$ [mm]	—	$1,45 \cdot d$	$1,75 \cdot d$
Einlaufbreite $a$ [mm]	$r_3 - r_2$	$r_3 - r_2$	$r_3 - r_2$
Einlaufhöhe $b$ und 2 Einlaufstützen [mm]	$\frac{500 Q'}{V_2 \cdot a}$	$\frac{500 Q'}{V_2 \cdot a}$	$\frac{500 Q'}{V_2 \cdot a}$
Mantelhöhe oben $h$ [mm]	—	$d_1$	$d_1$
Mantelhöhe unten $i$ [mm]	—	20	20
Senkenhöhe $e$ [mm]	$\sim 0,85 \cdot b$	$\sim h + \frac{b}{4}$	$\sim h + \frac{b}{4}$
Gesamthöhe d. Zyklons $f$ [mm]	3,6 bis 3,0 $d_1$	$b + h + h_1 + i$	$b + h + h_1 + i$
Länge des Reingasrohres $g$ [mm]	4 bis 5 $d$	4 bis 5 $d$	4 bis 5 $d$
Mittlere Umlaufgeschwindigkeit im Zyklon, bezogen auf die Einlaufbreite [m/s]	$V_u = \frac{2Q'}{b(r_1 - r_1)}$		
Mittlerer Radius des Spiralgehäusequerschnittes	$r_{sp} = \sqrt{\frac{r_2^2 - r_1^2}{2} + r_1^2}$		
Bezeichnungen siehe Bild 2	$Q = \text{m}^3/\text{h} \quad Q' = \text{m}^3/\text{s}$		

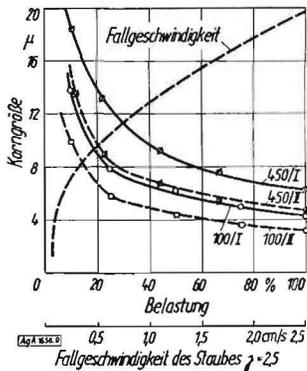


Bild 9. Einfluß der Zyklonkonstruktion und der Größe auf das abzuschneidende Grenzkorn (gerechnet)

wurde bei Reihe III ein kleinerer Durchmesser des Reingasrohres gewählt, die Einlaufgeschwindigkeit auf 18 m/s und  $\frac{d_2}{d_1}$  auf 2,3 erhöht. Der Staubaustrag erfolgt wie bei der Reihe II.

Wird der Staub bei den Zyklonen der Reihe II und III abgesaugt, so legt sich die Umlaufströmung an den Auswurfschlitz an, und es ergibt sich eine weitere Verbesserung des Staubaustrages.

Der Radius des Einlaufes wurde bei allen Zyklonen zu  $1,35 \cdot r_a$  gewählt. Da sich hierdurch eine sehr große Einlaufhöhe (b) und

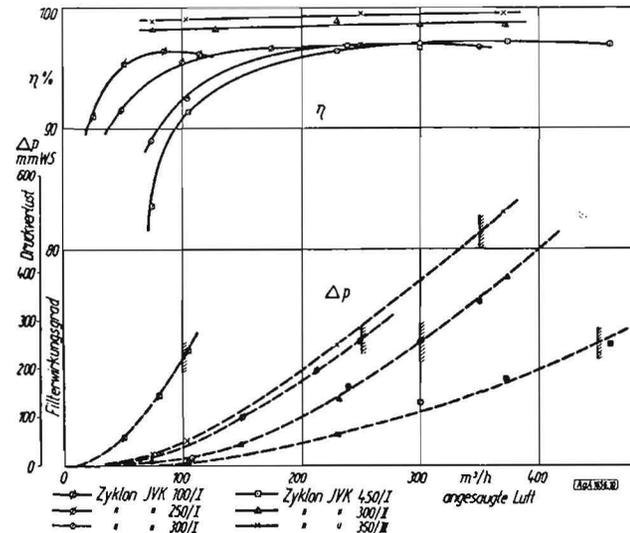


Bild 10. Wirkungsgrade und Druckverluste der Zyklone des IVK Reihe I bis III Staubbelastung der Luft 1 g/m³, Prüfstaub R (Bild 17)

damit auch Länge des Zyklons ergibt, wurden zwei um 180° versetzte Einlaufstellen angeordnet.

Werden die Zyklone aufgeladen (Druckzyklone), so ist auch bei den Zyklonen der Reihen II und III Staubaustrag ins Freie möglich, der Aufladedruck muß dann dem gerechneten Druckbedarf entsprechen.

Bild 9 zeigt für je 2 Zyklone der Reihe I und II, abhängig von der Zyklonbelastung, die gerechneten Grenzwerte der Korngrößen, die theoretisch abgeschieden werden können.

Aus Tafel 2 sind die für die Rechnung wichtigsten Abmessungen ersichtlich.

Es zeigt sich, daß bei maximaler Belastung der Zyklone die für die Staubabscheidung von kleinsten Teilchen erforderlichen hohen Umlaufgeschwindigkeiten erreicht werden. Mit abnehmender Belastung nehmen die Umlaufgeschwindigkeiten ab, und es werden nur Staubteilchen abgeschieden, die auf Grund ihrer Größe und Wichte höhere Sinkgeschwindigkeiten haben.

Weiterhin ist zu erkennen, daß die Zyklone, die auf Grund ihrer Bemessung die höhere, mittlere Umlaufgeschwindigkeit

keiten und damit eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrades. Bei diesen Zyklonen muß der Staubaustrag über ein Staubsammelrohr (Bild 2) in ein geschlossenes Staubsammelgefäß oder durch Absaugen (~10% des Luftdurchsatzes) erfolgen, weil durch die größeren Umlaufgeschwindigkeiten die Einstömgeschwindigkeit der Luft über die Auswurfschlitz zu hoch wird und ein Zurückschleppen des Staubes in den Zyklon erfolgt.

Um maximale Wirkungsgrade, allerdings bei höherem Druckbedarf, zu erreichen,

im Zyklon, bezogen auf die Einlaufbreite, haben (Reihe I verglichen mit Reihe II), wesentlich kleinere Teilchen abscheiden. Auch durch kleinere Krümmungsradien wird unabhängig von der Umlaufgeschwindigkeit im Zyklon ein besserer Wirkungsgrad erreicht.

In Bild 10 sind die Untersuchungsergebnisse von Zyklonen dargestellt, die nach vorstehenden Angaben gebaut worden sind.

Der Vorteil der Zyklone der Reihe I liegt darin, daß diese nachträglich ohne Umbauten und Zusatzrichtungen (Absaugung, Staubsammelbehälter) als Vorfilter bei gutem Wirkungsgrad eingebaut werden können.

Die Zyklone der Reihe I müssen, um den Wirkungsgradabfall bei Teillast außerhalb des Betriebsbereiches zu haben, durch Verwendung einer kleinstmöglichen Größe auf die Hauptbelastung abgestimmt werden (Bild 10).

Die Reihe II und III erreicht über den gesamten Betriebsbereich für den Staub R (Bild 17) fast konstante Wirkungsgrade. Erforderlich ist eine einwandfreie dichte Verbindung

Tafel 2

Zyklon Reihe .....	I		II	
Bezeichnung .....	100/I	450/I	100/II	450/II
Q <sub>max</sub> [m³/h] .....	100	450	100	450
Reingasrohrdurchmesser d [mm] .....	40	84	40	84
Zyklondurchmesser d <sub>z</sub> [mm] .....	106	220	76	160
Drallkonstante K m²/s .....	0,449	0,948	0,628	1,318
Mittlere Umlaufgeschwindigkeit im Zyklon, bezogen auf die Einlaufbreite [m/s] .....	~ 11	~ 11	~ 21	~ 21
Staubaustrag .....	offen		geschlossen	

zwischen der Absaugung oder dem Staubsammelbehälter. Geringste Undichtigkeiten mindern die Wirksamkeit der Zyklone erheblich.

Werden die durch Rechnung erhaltenen Kurven für das abzuschneidende Grenzkorn (Bild 9) mit dem tatsächlich erhaltenen Verlauf der Wirkungsgradkurven (Bild 10) verglichen, so zeigt sich, daß bei 30% Nennbelastung für alle Zyklone die durch Rechnung erhaltene Zunahme des Grenzkorndurchmessers bei den ausgeführten Zyklonen sich nicht bei allen Typen in dem entsprechenden Abfall des Wirkungsgrades auswirkt. Diese Unterschiede sind auf die Staubzusammensetzung (Bild 17) und auf die durch die Rechnung nicht zu erfassenden Sekundärströmungen im Zyklon zurückzuführen, so daß maximale Wirkungsgrade tatsächlich nur durch den Versuch zu erreichen sind.

## 2. Ölbadfilter als Nachreiner

Die alleinige Benutzung von Zyklonen ist selbst bei höchsten, durch Prüfstandsversuche ermittelten Wirkungsgraden nicht zu empfehlen.

Im Gegensatz zu den Ölbad- oder öbenetzten Naßluftfiltern ist der Wirkungsgrad der Zyklone von der meistens unbekanntesten und stärker unterschiedlichen Staubzusammensetzung und von der, durch den Motor bzw. dessen Drehzahl gegebenen Pulsation der angesaugten Luft abhängig. Aus diesen Gründen kann auf die Verwendung eines Nach- oder Feinfilters nicht verzichtet werden. Auch an diese Filter werden in bezug auf Staubkapazität und Wirkungsgrad noch hohe Anforderungen gestellt. Die Naßluftfilter scheiden wegen ihrer zu geringen Staubkapazität von vornherein aus.

Als Feinreiner sind nur Ölbadfilter geeignet. Der von den Zyklonen durchgelassene Staub ist infolge der geringen Korngröße (Bild 9) sehr schwebefähig. Nur ein Auswaschen des Reststaubes durch Auf- oder Einblasen der Luft in das Ölbad ergibt einen ausreichenden Wirkungsgrad des Ölbadfilters. Die bekannten kombinierten Wasch- und Naßluftfilter, Wirbelöfilter usw. genügen bei intermittierendem Betrieb den Anforderungen. Wird zu Dauerbetrieb mit konstantem Luftdurchsatz übergegangen, mit dem in der Landwirtschaft bei der Verwendung der Schlepper zum Antrieb von Dreschsätzen usw. immer zu rechnen ist, so wird das verschmutzte Öl in die Reingasleitung mitgeschleppt und ergibt hohen Verschleiß der Büchsen und Kolbenringe. Besonders ungünstig sind hierbei die Wirbelöfilter mit tangentialem Luftzutritt.