

Institut für Landtechnik Potsdam-Bornim

der Deutschen Akademie der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin · Direktor: Prof. Dr. S. Rosegger

Aus der Arbeit des Instituts

Zyklonfilter-Dimensionierung und Einsatzbereiche

Von Dipl.-Ing. H. LUGNER und Ing. G. TH. ZAUNMÜLLER

DK 631.372: 621-784.412.2

Einleitung

Die älteren Luftfilterkonstruktionen, die beispielsweise für den Kettenschlepper KS 07/62 Verwendung fanden, entsprachen hinsichtlich der Filterung nicht den Anforderungen. Obwohl dieser Mangel von den Fachleuten erkannt und eine Neubearbeitung der Luftfilteranlagen dringend befürwortet wurde, blieb dieser Hinweis zunächst unbeachtet.

Unserer Volkswirtschaft entstand durch den Ausfall einer ganzen Reihe von Kettenschleppern, vor allem im Frühjahr 1953, erheblicher Schaden. Die daraufhin im Institut für Landtechnik (IfL) einsetzende Entwicklung – eingeleitet vom Ministerium für Land- und Forstwirtschaft, Abt. Mechanisierung – war deshalb grundsätzlich eine Zweckforschung. Vorrangig wurde die Entwicklung einer Filteranlage für den Kettenschlepper KS 07/62 betrieben, denn die Staubbilastung ist für ein Kettenfahrzeug vor allem auf leichten, staubbildenden Böden wesentlich größer als für ein Radfahrzeug. Auf die Entstehung dieser Filteranlage und auf ihre technischen Daten ist im Heft 4 bis 6 der Agrartechnik (1954) ausführlich eingegangen worden [1], so daß hier lediglich eine Erwähnung im Rahmen der Bautypen-zusammenstellung stattfindet. Im Sommerhalbjahr 1954 wurde diese vom IfL entwickelte Filteranlage in einem Breitenversuch im praktischen Einsatz erprobt. Die Ergebnisse und Folgerungen aus dieser Prüfung sind in der September-Ausgabe der Agrartechnik (1955) veröffentlicht.

Forderungen der Landwirtschaft an eine Filteranlage

An eine für die Landwirtschaft taugliche Filteranlage werden folgende Forderungen gestellt:

1. Der Gesamtentstaubungsgrad der Filteranlage soll möglichst gut sein. Die üblichen Werte liegen bei 98%.

2. Unabhängig davon, daß der Gesamtentstaubungsgrad vor allem im Gebiet der Nenndrehzahlen hoch liegen soll, darf die Filteranlage jedoch auch über den gesamten Drehzahlbereich des Schleppermotors keine größere Staubmenge als 0,5 g/dm³ bezogen auf den Hubraum durchlassen.

3. Bei größeren Staubbilastungen der Luft, etwa 5 g/m³, soll die Zeit von einer Reinigung bis zur anderen (Standzeit) möglichst lang sein. Zumindest soll sie die Betriebsdauer einer Schicht von 10 Stunden nicht unterschreiten.

4. Der Strömungswiderstand der Luftfilteranlage soll möglichst gering sein, so daß der Leistungsverlust des Verbrennungsmotors 1 bis 2% nicht übersteigt.

5. Für die Reinigung der Filteranlage darf nur ein geringer Aufwand benötigt werden. Außerdem muß sie sowohl unter freiem Himmel als bei Staubbilastung der Luft durchführbar sein.

Stand der Zyklonausführung und der Aufstellung der Bautypen

Die vom IfL entwickelten Trockenreiner basieren auf dem bekannten Zyklonprinzip. Unter Berücksichtigung der zulässigen Durchströmungswiderstände kann das Optimum des Entstaubungs-

grades nur durch entsprechenden Aufbau des Zyklons erreicht werden.

Als ein entscheidendes Konstruktionsmerkmal zur Erreichung dieses Zieles wurde das Verhältnis der Durchmesser vom Zyklonmantel \varnothing_a zu dem des Reingasrohres \varnothing_t (Bild 1) erkannt.

Dieser theoretischen Einsicht folgten die labormäßige Untersuchung, Kontrolle und Festlegung. Weiterhin muß bei der Zyklongestaltung – insbesondere zur Unterstützung der Abscheidung des Feinstaubes in der Größenordnung 5 bis 10 μ – auf die Ausbildung der Sekundärströmung besonderer Wert gelegt werden (Bild 1). Während die durch den Einlauf bedingte rotierende Strömung längs des Zyklonmantels als Primärströmung durch Ausschleudern des Staubes die Voraussetzung für die Staubabscheidung schafft, transportiert die in der senkrechten Ebene induzierte Sekundärströmung den in Richtung Zyklonmantel geschleuderten Staub zu den Staubabscheidungsöffnungen. Nach eingehenden Untersuchungen der im Zyklon herrschenden Strömungsvorgänge gelang es durch entsprechende Formgebung des oberen Prallbodens, die Sekundärströmung im Bereich der Wirbelsenke im Sinne einer verbesserten Feinstaubaustragung zu beeinflussen. Das bekannte Problem der Staubaustragung ins Freie, Sammlung oder Absaugung bei Zyklonentstaubern, fand in der vom IfL entwickelten Kombination eine glückliche Lösung (Bild 2). Gleichzeitig mit dem Ansaugzyklon wurde ein funkensicherer Auspuffzyklon nach demselben Grundprinzip entwickelt. Die funkenbildenden Verbrennungsrückstände des Motors werden je nach ihrer Größe abgeschieden oder aber im Totlauf gelöscht. Der im Kern der Wirbelsenke des Auspuffzyklons entstehende Unterdruck wird über eine Rohr- bzw. Schlauchleitung mit dem Sammlerraum des Ansaugzyklons verbunden und saugt den dort angelagerten Staub ab. Er gelangt dann durch den funkensicheren Auspuff ins Freie (Bild 1 und 2). Durch diese Anordnung wird der Ansaugzyklon wartungsfrei. Außerdem wird eine zusätzliche Einrichtung für die Staubabsaugung, wie sie bisher üblich war, überflüssig und

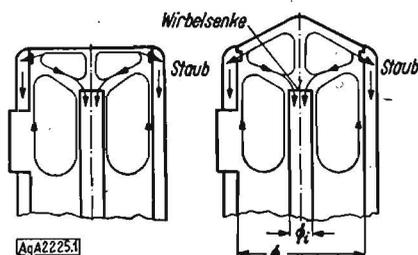


Bild 1. Einfluß des oberen Zyklonbodens auf die Sekundärströmung und Hauptdurchmesser \varnothing_a und \varnothing_t

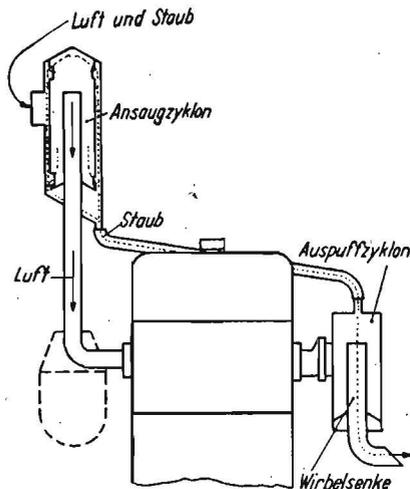


Bild 2. IfL-Filterkombination im Prinzip. Punktier-te Linie zeigt den Weg des Staubes vom Ansaugzyklon direkt zum Auspuffzyklon und ins Freie

— IfL-Filteranlage — — mit Nachfilter

AgA2225.2

ein stärkerer Leistungsabfall der Verbrennungskraftmaschine wird vermieden.

Nach Kenntnis der Hauptmaße des Ansaug- und Auspuffzyklons am Kettenschlepper KS 07/62 - Maße, die im Laufe der Untersuchungen und Versuche so lange variiert wurden, bis sich ein optimaler Wert der Entstaubung bzw. Funkenlöschung ergab - liegt es nahe, diese Verhältnisse auf andere Schleper-typen bzw. Verbrennungskraftmaschinen zu übertragen.

Beim Vorliegen von verschiedenen Luftdurchsätzen wird die Dimensionierung der Zykclone nach den Ähnlichkeitsgesetzen der Strömungslehre mit Hilfe der Reynoldsschen Zahlen vorgenommen. Gleich, ob der neue Zyklon für einen größeren oder kleineren Luftdurchsatz gebaut wird, sollen bei der Umrechnung die Wirkungsgrade möglichst erhalten bleiben. Die Wirkungsweise des Zyklons beruht auf einer Wanderung des einzelnen Staubkorns auf Grund der Zentrifugalkraft. Die Schwebekraft (Stocksches Gesetz) wirkt dabei der Zentrifugalkraft entgegen. Es ist anzunehmen, daß Kraft und Gegenkraft und auch der zurückzulegende Weg von entscheidender Bedeutung auf die Staubabscheidung sein können. Die einzelnen Körngrößen werden bestimmten Radien der rotierenden Bewegung zugeordnet. Die eigentliche Staubabführung zu den Staubaustragsöffnungen geschieht - wie bereits erwähnt - für Feinstaub vorrangig durch die Sekundärströmung, die rechnerisch kaum zu erfassen ist. Aus diesem Grunde wird auch auf die rechnerische Bestimmung der Schwebekräfte und der zurückzulegenden Wege verzichtet. Es wird lediglich eine angenäherte Rechnung durch Vergleich der Aktionskräfte, d. h. der Zentrifugalkräfte, durchgeführt. Von jedem Zyklon wird gefordert, daß die Schleuderkraft konstant bleibt. Unter dieser Voraussetzung wird erreicht, daß die so auf verschiedene Luftdurchsätze dimensionierten Zykclone in erster Näherung gleiche Entstaubungsgrade aufweisen.

Bezeichnungen:

- L Luftdurchsatz [m^3/h]
- l Luftdurchsatz [m^3/s]
- v Luftgeschwindigkeit [m/s]
- r Zylinderradius des Zyklonmantels [m]
- r_h hydraulischer Radius [m]
- φ Beiwert der Einlaufströmung.

$$\text{Schleuderkraft: } P = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (1)$$

Die Symbole der Gleichungen des gegebenen Zyklons erhalten den Index 2, die des zu berechnenden den Index 1. Setzt man die Schleuderkraft der beiden Zykclone gleich, so entsteht

$$\frac{m \cdot v_1^2}{r_1} = \frac{m \cdot v_2^2}{r_2} = (\text{konst.})$$

Die Masse m des einzelnen Staubkornes wird bei der Umrechnung als gleichbleibend vorausgesetzt, da alle Maschinen den gleichen Verhältnissen ausgesetzt sind. m ist also kürzbar

$$\frac{v_1^2}{r_1} = \frac{v_2^2}{r_2} \quad \text{oder} \quad \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = \frac{r_1}{r_2} \quad (2)$$

Von seinem Einlauf her läßt sich der Luftdurchsatz eines Zyklons berechnen

$$l = \varphi \frac{d_h^2 \cdot \pi \cdot v}{4} \quad (3)$$

Entsprechend des rechteckigen Einlauf-Querschnittes des Zyklons bedeutet

$$d_h = \frac{4F}{U} \quad (4)$$

den doppelten hydraulischen Radius.

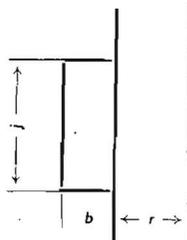
Hierbei setzt sich F und U zusammen aus:

$$F = b \cdot j \quad (5)$$

$$U = 2(b + j) \quad (6)$$

in die Gleichung (4) eingesetzt und durch die Länge des Einlaufes gekürzt, entsteht

$$d_h = \frac{2 \cdot b}{\frac{j}{r} + 1} \quad (7)$$



Führt man für $\frac{b}{j}$ den Begriff Streckungsverhältnis σ ein, so ergibt sich der sogenannte „hydraulische Radius“ in abgewandelter Form.

$$r_h = \frac{b}{1 + \sigma} \quad (8)$$

Die Berechnung des Luftdurchsatzes gemäß Gleichung (3) umgestellt auf r_h ergibt

$$l = \varphi \left(\frac{b}{1 + \sigma}\right)^2 \cdot \pi \cdot v \quad (9)$$

Sie muß in den diskutierten Grenzen des Ansatzes für jeden Zyklon zutreffen. Teilt man Gleichung (9) des zu berechnenden Zyklons durch Gleichung (9) des bekannten, so entsteht

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\varphi_1 \left(\frac{b_1}{1 + \sigma_1}\right)^2 \cdot \pi \cdot v_1}{\varphi_2 \left(\frac{b_2}{1 + \sigma_2}\right)^2 \cdot \pi \cdot v_2} \quad (10)$$

Werden entsprechend einer geometrischen Ähnlichkeit ($\varphi_1 = \varphi_2 = \text{konst.}$) die Strömungen der beiden Zykcloneinläufe als gleichbleibend angenommen, so entsteht die kürzeste Form

$$\frac{l_1}{l_2} = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^2 \cdot \frac{v_1}{v_2} \quad (11)$$

Definiert man die Geschwindigkeit v nach Gleichung (2) mittels r , so ergibt sich

$$\frac{l_1}{l_2} = \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^2 \cdot \sqrt{\frac{r_1}{r_2}} \quad (12)$$

Den Gesetzen der Ähnlichkeit entsprechend kann $\frac{b}{r} = k$ gesetzt werden. Damit ist $b_1 = r_1 \cdot k$ und $b_2 = r_2 \cdot k$. Diese Werte für b in (12) eingesetzt, ergeben

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{L_1}{L_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{5/2} \quad (13)$$

Dasselbe Verhältnis der Luftdurchsätze ergibt sich auch unter Zugrundelegung gleicher Reynoldsscher Zahlen beider Zykclone. Führt man als Vergleichslänge den hydraulischen Radius des Einlaufes ein, dann ist

$$Re = \frac{v \cdot 4 \frac{F}{U}}{v} \quad (14)$$

bei nicht kreisförmigem Querschnitt. Somit

$$\frac{v_1 \cdot \frac{F_1}{U_1}}{v} = \frac{v_2 \cdot \frac{F_2}{U_2}}{v} \quad (15)$$

Wenn v durch $\frac{L}{F}$ ersetzt wird, ergibt sich die Endbeziehung der Zykclone

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^{5/2} \quad (16)$$

Der über der Drehzahl bzw. dem Luftdurchsatz der Verbrennungskraftmaschine gemäß Meßergebnissen von Prüfstandsversuchen nahezu konstante Verlauf des Entstaubungsgrades (Bild 3), bedingt durch den Aufbau des IfL-Zyklons, gestattet mit einer kleinen Zahl von Zyklonausführungen alle in der DDR hergestellten Schlepper filtermäßig abzudecken. Um die Anwendungsbereiche der einzelnen Zyklon-Baugrößen gegeneinander abgrenzen zu können, wird ihre Abhängigkeit vom Luftdurchsatz betrachtet. Der Einfachheit halber kann dabei auf den Einlaufquerschnitt bezogen werden, da die Einführung des hydraulischen Radius die Rechnung lediglich kompliziert, ohne aber das Ergebnis zu beeinflussen.

Bei einem Zyklon bekannter Abmessungen (z. B. Zyklon KS 07/62 Baugröße I) läßt sich die Abhängigkeit der Schleuderkraft vom Quadrat des Luftdurchsatzes wie folgt berechnen: Nach dem Stetigkeitsgesetz wird die Strömungsgeschwindigkeit

$$v = \frac{L}{(b \cdot j)} \quad (17)$$

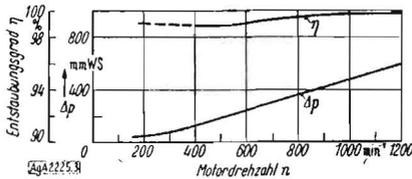


Bild 3. Verlauf des Entstaubungsgrades und des Durchströmwiderstandes über der Drehzahl. Gemessen am Zyklon der Baugruppe I mit Prüfstaub 600

in die Gleichung (1) für die Schleuderkraft eingesetzt. Es ergibt sich dann

$$P = \frac{m}{r} \cdot \left(\frac{L}{b \cdot j} \right)^2 \quad (18)$$

Wenn sich die Abmessungen des Zyklons und die Masse des Staubkorns nicht ändern, so ist

$$P = \text{konst.} \cdot L^2 \quad (19)$$

In Bild 4 ist der Verlauf dieser Funktion dargestellt. Geht man bei der Betrachtung z. B. von Zyklonen der Baugröße I (KS 07/62) aus, die gemäß Prüfstandsmessungen im Bereich des

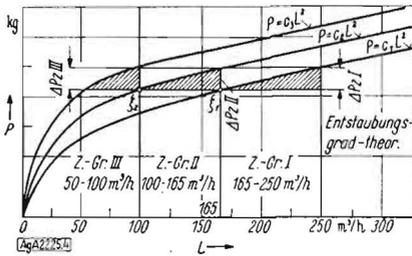


Bild 4. Darstellung des Einsatzbereiches der Zyklon-Baugrößen

Luftdurchsatzes von 165 bis 250 m³/h einen nahezu konstanten Verlauf des Entstaubungsgrades aufweisen, so ergibt sich ein Zuwachs an Schleuderkraft vom Punkt ξ_1 ausgehend um den Betrag ΔP_{z_1} . Ihm entspricht nur ein innerhalb der Meßgenauigkeit liegender Anstieg des Entstaubungsgrades. Wird (wie vorher gekennzeichnet) davon ausgegangen, die Abmessungen von Zyklonen für verschiedene Luftdurchsätze auf Grund der gleichen Schleuderkraft zu bestimmen, dann kann auch vertreten werden, daß der Zuwachs an Schleuderkraft ΔP_z auch für andere Baugrößen Gültigkeit hat. Trägt man daher ΔP_{z_1} im Punkt ξ_1 senkrecht als Zusatz zur Ordinate auf und legt durch den so entstandenen Punkt gemäß (19) die Parabel $P = c_2 \cdot L^2$, dann begrenzt der Schnittpunkt mit dem Ausgangspunkt der konstanten Schleuderkraft den Einsatzbereich der Zyklongröße II. Das gleiche Verfahren trifft auf die Zyklongröße III zu, deren Einsatzbereich durch die Parabel $P = c_3 \cdot L^2$ begrenzt wird.

Daraus entstehen folgende Baugrößen:

- I 165 bis 250 m³/h Luftdurchsatz,
- II 50 bis 100 m³/h Luftdurchsatz,
- III 100 bis 165 m³/h Luftdurchsatz.

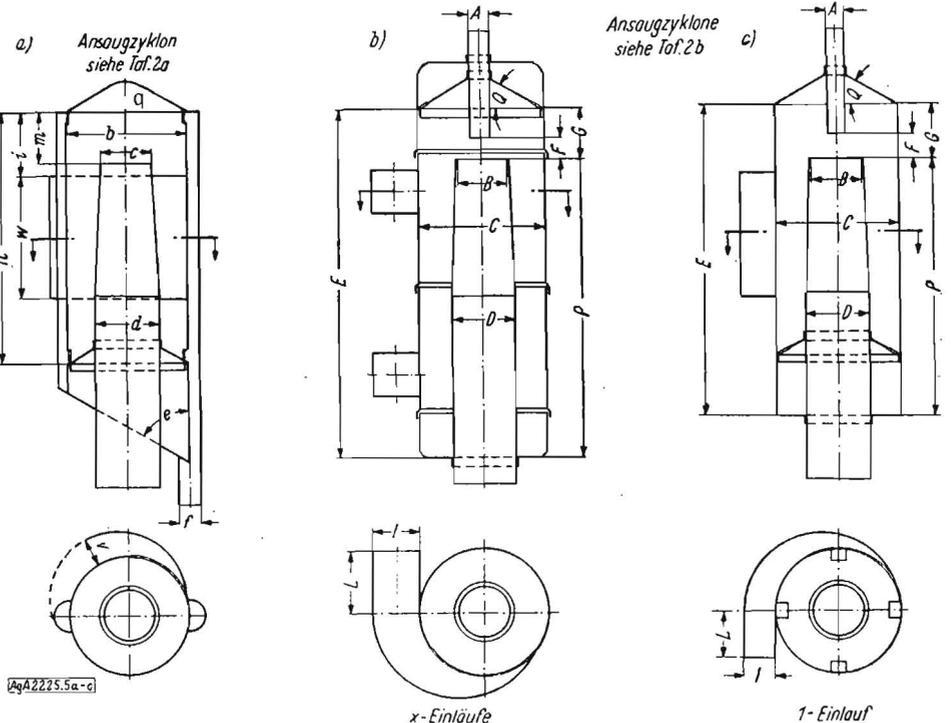


Bild 5. Bauprinzip des IfL-Ansaugzyklon Baugruppe (a) und der IfL-Auspuffzyklone Baugruppe b und c, Hauptmaße

Die Bedeutung des so bestimmten Einsatzbereiches soll noch einmal kritisch betrachtet werden. Seine Grenzen sind gegeben durch einen zulässigen Abfall des Entstaubungsgrades. Für alle Zyklonbaugrößen kann durch Messungen nachgewiesen werden, daß sowohl oberhalb als auch unterhalb der angegebenen Luftdurchsätze durchaus verwendbare, zum Teil sogar bessere Entstaubungsgrade vorhanden sind. Da bei den bisherigen Motoren die Leerlaufdrehzahl zumeist höher liegt als es der unteren Grenze entspricht, kann das unterhalb dieser Kurve liegende Gebiet nicht ausgenutzt werden. Ebenso ungeeignet ist das Gebiet über der oberen Grenze, da hier die Strömungswiderstände im Zyklon ansteigen und einen unzulässig hohen Leistungsverlust hervorrufen. Die angeführten Grenzen sind somit zweckbedingt. Die Funktion des Zyklons ist gewährleistet, und eine Gefährdung des Motors auch bei Überschreiten des Einsatzbereiches tritt nicht ein. Aus dieser Betrachtung der Einsatzgrenzen geht hervor, daß eine genaue Erfassung des zulässigen Luftdurchsatzes für die Dimensionierung der Zyklonbaugrößen nicht von ausschlaggebender Bedeutung ist. Es kann daher für die vorhandenen Schlepper- bzw. Motortypen auf eine exakte Vermessung des Luftdurchsatzes verzichtet werden. Die Dimensionierung kann auf Grund berechneter Luftdurchsätze entsprechend den bisherigen Erfahrungen von Viertakt- und Zweitakt-Motoren durchgeführt werden. Die Ergebnisse der Rechnung sind in Tafel 1 zusammengefaßt.

Tafel 1. Luftdurchsatz der Schlepper bzw. deren Verbrennungskraftmaschinen

Schlepper-typen	KS 07/12	KS-RS 10/45	RS 01/40	RS 02/22	RS 03/30	RS 04/30	RS 08/15
Motor-typen	KS 07/62	EM 3	RS 01/40	2 F 414	16 V 2	EM 2	F 8
Luftdurchsatz bei Nenndrehzahl (m³/h)	250	165	154	80	122	110	100

Zusammenstellung der Hauptmaße von Ansaug- und Auspuffzyklonen.

Bild 5a, b und c
Tafel 2a und 2b

Die derzeitige Ausrüstung der Schlepper mit Luftfilter hat folgenden Stand aufzuweisen:

Die Schlepper KS 07/62, RS 01/40, RS 04/30 und der Pflegeschlepper RS 08/15 werden ab Werk mit einer Ansaugfilter-

Kombination ausgerüstet. Die Filter-Kombination am RS 08/15 und der Ölbadfilter am KS 07/62 entsprechen einer Entwicklung des IVK Dresden. Die Baumuster RS 02/22 und RS 03/30 sind in der Serie ausgelaufen. Die noch im Einsatz befindlichen Schlepper werden in den entsprechenden Baugrößen mit der Zyklonanlage des IfL als Kombinationsfilter nachgerüstet. Dabei kann der jeweils vorhandene Filter weiter als Nachfilter (Bild 2) verwendet werden. Unabhängig von den bisher ausgeführten Schleppern werden in der Entwicklung neue und verbesserte Typen entworfen und gebaut. Für diese Versuchsmotoren, die nach Abschluß erfolgreicher Entwicklungsarbeit zum Einsatz gelangen, ist durch die drei Filterbaugrößen des IfL Vorsorge getroffen, solange die bisherige Klassifizierung der Schleppertypen beibehalten wird. Das IfL ist auf Grund der erworbenen Erfahrungen in der Lage, die Zuordnung der Filteranlage zu neu entworfenen Motoren zu bearbeiten sowie innerhalb seines Aufgabenbereichs die Industrie diesbezüglich zu unterstützen. Für die Weiterentwicklung des RS 08/15 zum RS 09/15 und für den verbesserten Kettenschlepper KS 30 „URTRAK“ ist vom IfL je eine Filteranlage nach den Erfahrungen der letzten zwei Jahre und unter Zugrundelegung einer gefälligeren Gesamtform, den Entwicklungsstellen im Entwurf unterbreitet worden. Diese Entwürfe beinhalten neben einer verbesserten Feinstaubabscheidung durch zweckmäßige Gestaltung der Nachfilter auch eine wesentliche Senkung des Wartungsaufwandes. Die in den Baugrößen der Zyklole bestehenden Hauptmaße bleiben davon unberührt. Eine Typenerweiterung kommt dadurch nicht zustande und die Ergebnisse der Filterprüfung der IfL-Zyklonanlage treffen auch auf Neukonstruktionen zu. Über die Güte dieser Filterkombination kann jedoch erst der unter praktischen Einsatzbedingungen durchgeführte Breitenversuch Aufschluß geben.

Prüfung der Zyklole

Die im vorliegenden Bericht behandelte Prüfung der Zyklole befaßt sich hauptsächlich mit dem Vergleich der drei Baugrößen bzgl. ihres Entstaubungsgrades. Die Prüfmethode und die Prüf-einrichtungen sind, wie eingangs erwähnt, in der Veröffentlichung von *Lugner* in der Agrartechnik (1954) Heft 4 bis 6 ausführlich behandelt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen werden hier nur so weit wiedergegeben, als es für die Wahrung des Zusammenhanges notwendig erscheint. Der Entstaubungsgrad ist in jedem Fall ein Maß für die Güte des Zyklole als Einzel- oder Kombinationsfilter (mit einem Nachfilter) vor allem im Zusammenhang mit dessen Standzeit und dem Wartungsaufwand der Gesamtfilteranlage.

Der Wirkungsgrad einer Filteranlage wird beurteilt mittels des Entstaubungsgrades, definiert als

$$\eta_a = \frac{100G_r}{G} \quad [\%] \quad (20)$$

oder des Bestaubungsgrades als Differenz zu 100%

$$\eta_b = \frac{G - G_r}{G} \cdot 100 \quad [\%] \quad (21)$$

Es bedeuten:

- G Rohstaubgewicht (dem Filter zugeführt) [g]
- G_r Rohstaub (vom Filter abgeschieden). [g]

Tafel 2b. Auspuffzyklone

Gruppe	Ausführung	Symbole Typen	Hauptmaße entsprechend Motorkonstruktion												
			A ≤	B	C	D	E	F	G	H ^{*)}	J	K ^{*)}	L	P	Q
I	1 Einlauf	KS 07 ¹⁾ RS 01	20	58	130	60	(370)	15	75	110	50	70	40	200	30°
II	1 bzw. 2 Einläufe	RS 03; RS 02; RS 04-EM 2; RS 08 ^{*)}	15 20	48	110	60	(315)	12	63	90	35	58	30	185	30°
II	x-Einläufe ^{*)}	KS 07; RS04, S 4, RS 10-EM-Reihe													

¹⁾ Serienfertigung bis Herstell-Nr. 861. ^{*)} Längenmaße liegen noch nicht fest — Leistungsmessungen bezüglich des Gegendrucks erforderlich. — ^{*)} Die Maße K und H der Tafel 2b entsprechen den Maßen δ und w der Tafel 2a und dem Bild 5a. Bei mehreren Einläufen (x) wird das Maß H durch deren Zahl (x) geteilt.

Durch die hohen Wirkungsgrade der Zyklole als Vorfilter verliert die Charakteristik des Hauptfilters an Bedeutung. Der Gesamtwirkungsgrad der Filteranlage läßt sich aus den Entstaubungsgraden der einzelnen Filter wie folgt zusammensetzen

$$\eta_{ag} = \eta_{av} + \eta_{an} \cdot (1 - \eta_{av}) \quad [\%]; \quad (22)$$

dabei bedeuten:

- η_{ag} Entstaubungsgrad der Gesamtfilteranlage
- η_{av} Entstaubungsgrad des Vorfilters (bei IfL-Anlage des Zyklole)
- η_{an} Entstaubungsgrad des Nachfilters (in der derzeitigen Serie Naßluftfilter).

Tafel 2a. Ansaugzyklone

Gruppe	Typen	Symbole										
		b (∅ _a)	c (∅ _i)	v (b)	w (j)	h (l _a)	i (l _z)	m	d	e	f	g
I	KS 07; S 4-EM 4; RS 10-EM 3; KS 16 und 12	130	58	40	140	270	70	56,5 ±0,5	80	60°	20	30°
II	RS 01; RS 03; RS 30-EM 2	110	48	34	110	230	58	48 ±0,5	60	60°	20	30°
III	RS 08-F 8; RS 09-ZL 770; RS 02-F 2 M 414	90	40	28	90	190	60	40 ±0,5	50 60	60°	20 15	30°

Die Prüfungsergebnisse der drei Baugrößen der IfL-Zyklole die für alle derzeitigen Schleppertypen mit Viertakt-Motoren des DDR-Bauprogramms zum Einsatz gelangen, sind in Bild 6 zusammengefaßt. Daraus ergibt sich, daß die Entstaubungsgrade der Zyklole allein bereits das bisher übliche Niveau von Gesamtfilteranlagen erreichen. Diese Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit den bereits angeführten Breitenversuchen [2] an zehn Baumustern des KS 07/62. Der ausgesprochen flache Verlauf des Entstaubungsgrades über der Drehzahl des Motors bzw. seinem Luftdurchsatz (Bild 3) verhütet gemäß den Ausführungen in der Agrartechnik [1] bei jeder Motorbelastung eine übermäßige Staubaufnahme und damit ein Überschreiten des üblichen Motorverschleißes.

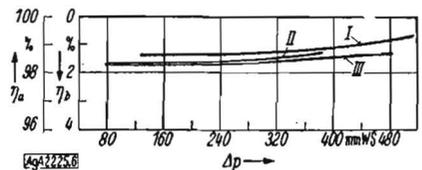


Bild 6. Entstaubungsgrade von Serienfiltern der Größen I bis III Baugruppe (a) mit Prüfstaub 100 geprüft

Entgegen der bisherigen Festlegung des Filteraktivs zur Prüfung von Zyklole naturabgelagerten Staub ($\gamma = 2,54 \text{ g/cm}^3$ des Einzelkorns) als Absieb von 600μ Maschenweite zu verwenden, wurden beim IfL im vorliegenden Bericht die Zyklole auf derselben Staubbasis – jedoch anderen Größenordnungen geprüft. Im Zusammenhang mit der Untersuchung von Absolutfiltern auf Trockenbasis machte sich eine intensive Zykloleprüfung erforderlich. Diese wurde erreicht durch Verwendung eines Prüfstaubes 5 bis 100μ Korngröße der Typenbezeichnung „Staub 100“, der einen größeren Teil Feinstaub aufweist (Bild 7). Wie bereits ausgeführt [1], übertrifft dieser Staub bei weitem die in der Natur bei Kettenschleppern auftretenden Korngrößen der Staube. Da die Entstaubungsgrade weitgehend von der Staubqualität abhängen, liegen die Prüfungsergebnisse für den landwirtschaftlichen Einsatz auf der sicheren Seite. Die Größenverhältnisse bzw. Staubbzusammensetzungen des vorgenannten

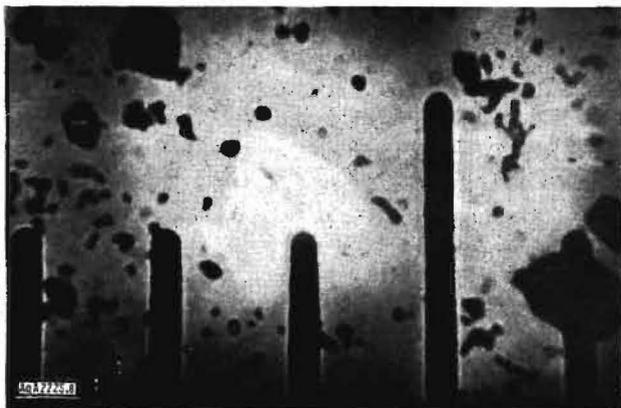


Bild 7. Naturstaub bzw. Prüfstaub 100, Absieb von 100 μ Maschenweite.
Ein Intervall = 200 μ

Prüfstaubes 100 wurden darüber hinaus in Tafel 3 bez. der Kornzahlen bei den verschiedenen Korngrößen mittels Konimeter von Zeiss untersucht und zusammengefaßt. Auch diese Ergebnisse zeigen, daß die Prüfbedingungen sehr streng angesetzt wurden, da 73% der Staubkörner die Größenordnung von 7 μ unterschreiten.

Tafel 3

Korngrößenbereich (μ)	90—100	60—90	30—60	7—30	unter 7
Kornzahlanteil [%]	0,7	0,07	5,23	21	73

Konimeter-Untersuchung

Die Staubproben für die Untersuchung sind während des Prüfstandversuches eines Zyklons aus dem Staubnebel hinter der Zubringermühle abgesaugt, entsprechen somit dem Staub, mit dem der Zyklon während der Prüfung beaufschlagt wurde. Obzwar von der Konimeter-Untersuchung kein direkter Schluß auf den Entstaubungsgrad gezogen werden kann, da letzterer über die Staubgewichte definiert ist, zeigt das Untersuchungsergebnis, daß bei Korngrößen über 60 μ nur ganz untergeordnete Kornzahlen vorhanden sind. Hierdurch ist eine Gewähr gegeben, daß auch die Zusammensetzung des Staubes nach Korngrößen in bezug auf die Gewichtsprozente schwierigen Bedingungen entspricht. Grundsätzliche Untersuchungen über den Zusammenhang von Kornzahlen und Korngewichtsanteil sind noch in Bearbeitung.

Die Prüfung der Auspuffzyklone soll den Nachweis der gefahrlosen Verwendung von Motoren in der Umgebung leicht zündbaren landwirtschaftlichen Erzeugungsgutes erbringen. Der Auspuffzyklon muß trotz vielfacher künstlicher Funkenbeaufschlagung das absolute Funkenlösch- und -abscheidungsvermögen unter Berücksichtigung der möglichen Belastung von seiten der Kraftmaschine aufweisen. Das zeitbezogene Funkengewicht stellt gegenüber dem normalen praktischen Funkenanfall ein Vielfaches dar und ist ein Ausdruck der Funktionssicherheit. Die spezifische Funkenbeaufschlagung der Prüfung betrug im Mittel 4 bis 5 g/s.

Geprüft wurden die Auspuffzyklone der zwei Baugrößen bzw. der Baukastenreihe (Tafel 2 b). Die Prüfungen ergaben eindeutige Bilder über die Wirksamkeit der gegenübergestellten Anlagen. Während beim bisher üblichen Serienauspuff die bei der Prüfung zugeführten Funken in die freie Atmosphäre geschleudert werden und Bahnen von 3 bis 7 m beschreiben (Bild 8 nebstehend), ist bei derselben Funkenbeaufschlagung mit IFL-Zyklonen kein Auswurf glühender Funken festzustellen.

Bei der Verwendung des Auspuff-Zyklons zum Absaugen des Staubes aus dem Staubraum des Ansaugzyklons konnte eine sichere Austragung des Staubes auch bei vertikal nach oben gestellten Auspuffrohren nachgewiesen werden.

Für die Auspuffzyklone wird auf Grund ihrer andersartigen Beaufschlagung und Aufgaben trotz gleichen Prinzips zur Prü-

fung der Funktion eine andere Methode als bei den Ansaugzyklonen notwendig. Zur Verhütung der Brandgefahr muß Wert darauf gelegt werden, daß die starken und schweren Funken den Auspufftopf im glühenden Zustand nicht verlassen können. Aus diesem Grunde werden Korngrößen bis zu etwa 1,5 mm Dmr. einerseits und bis zu den üblichen Staubqualitäten von feinem Kohlestaub andererseits verwendet. Während die großen Funken mit längerer Glühdauer im Sammelraum des Zyklons abgeschieden werden müssen, gelingt die Löschung feinerer Funken meist bereits auf Grund der ihnen aufgezwungenen langen Wege.

Die bei der Prüfung der Auspuffzyklone zugeführten, glühend gehaltenen Braunkohleteilchen (Bild 9, Zeichen BK) werden im Zykloneinlauf mit Sauerstoff (Bild 9, Zeichen O₂) versetzt, wobei der Sauerstoff in Strömungsrichtung vor der Funkenzuführung mit geringem Druck durch eine Düse eingeblasen wird. Ein gekapseltes Rührwerk (Bild 9, Zeichen A), das mit seiner Mündung am Zykloneinlauf angebracht ist, führt die Funken kontinuierlich und dosiert zu.

Prüfung der Nachfilter

Als Nachfilter (Bild 2) werden derzeit in der Serienproduktion ausschließlich Bauarten verwendet, die den Staub mittels Öl abbinden. Dieses Konstruktionsprinzip umschließt die in der Literatur als Naßluftfilter bezeichneten Bauformen. Die Bedeutung dieser Filter in Kombination mit einem Zyklon als Vorreiniger ist weniger in der Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades festzustellen, der in jedem Fall nur als Momentanwirkungsgrad auftreten würde, als vielmehr in einer erhöhten Sicherheit bei einem etwaigen Versagen der Zyklonanlage und einem erhöhten Bindevermögen der Feinstauben. Geprüft wurden der Momentanwirkungsgrad in Abhängigkeit der aufgenommenen Staubmenge (Staubbindevermögen) für die derzeit im Einsatz befindlichen Naßluftfilter.

Ölbadfilter TEWA Typ 04/60 IVK-Entwicklung (Bild 10), Wirbelölfilter „Staufurt“ (Bild 11) und Ölbadfilter der IVK-Entwicklung für den Pflegeschlepper RS 08/15 (Bild 12).

Das Maß der Staubabbindung dieser drei Filter ist wegen der verschiedenen zweckgebundenen Dimensionierung (verschiedene Luftdurchsätze) nicht direkt vergleichbar. Eine Gegenüberstellung ist erst statthaft, wenn die Ölfüllungen der einzelnen Filter berücksichtigt werden. Die Tendenz des Abfalls des Entstaubungsgrades bei stetig zunehmender Staubaufnahme gibt aber einen unmittelbaren Aufschluß über die Güte oben bezeichneter Filter. Die Überlegenheit der Ölbadfilter des IVK Dresden gegenüber dem Wirbelölbadfilter „Staufurt“ ist einwandfrei ersichtlich, insofern, als die Wirkungsgrade über größere Staubmengen konstanter bleiben. Die Standzeiten vergrößern sich somit relativ gegenüber dem Wirbelölfilter „Staufurt“. Bez. der Berechnung von Standzeiten wird auf die Ausführungen in der Agrartechnik [1] verwiesen. Die

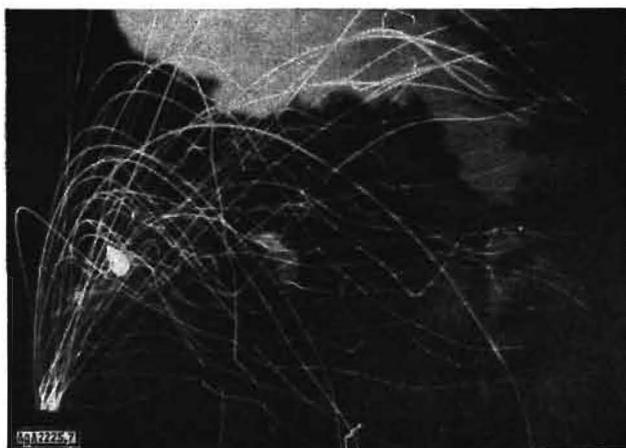


Bild 8. Wurfbahn der Funken aus dem bisher üblichen Serienauspuff bei Funkenbeaufschlagung in der Prüfung

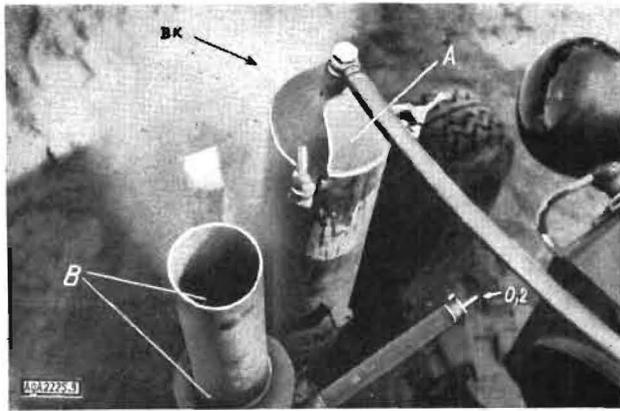


Bild 9. Prüfeinrichtung für Auspuffzyklonen

Naßluftfilter wurden mit demselben Prüfstaub 100 wie die Zyklone geprüft, da er reich an kleinen Staubkörnern ist.

Baufehler

Im Zusammenhang mit der oben beschriebenen Zyklonprüfung macht es sich erforderlich, auf den Einfluß von Baufehlern bzw. Bauungenauigkeiten der Zyklone hinzuweisen. Die genaue Einhaltung der Maße, die die Hauptdurchmesser des Zyklons angeben (Bild 5a, Symbol b, c und d) muß garantiert sein.

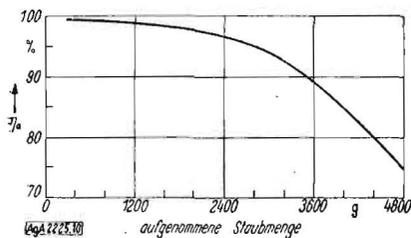


Bild 10. Entstaubungsgrad-Charakteristik. Staubaufnahme beim Ölbadfilter Typ TEWA Ö1 04/60 im Anbau am Kettenschlepper KS 07/62, gemessen mit Prüfstaub 100

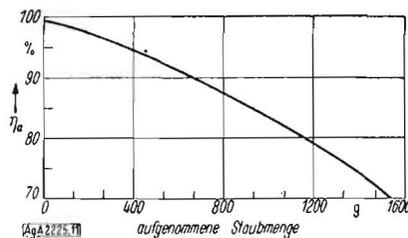


Bild 11. Entstaubungsgrad-Charakteristik. Staubaufnahme am Wirbelöfilter „Stäufurt“, gemessen mit Prüfstaub 100

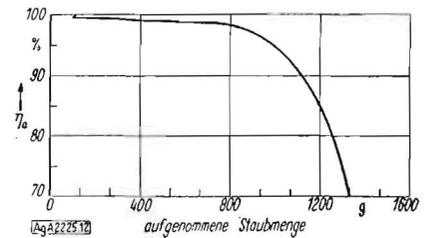


Bild 12. Entstaubungs-Charakteristik. Staubaufnahme beim Ölbadfilter für den Pflegeschlepper RS 08/15, gemessen mit Prüfstaub 100

Wie aus Bild 13 ersichtlich, bewirkt außerdem eine schlechte Einstellung des Abstands vom Reingasrohr im Zyklon zur Verschneidungsebene des kegeligen Zyklondaches (im Bild 5a, Maß m) einen steilen Abfall des Entstaubungsgrades. Der Verlauf des Entstaubungsgrades über dem veränderlichen Maß m in Bild 13 zeigt dies deutlich und läßt nur eine geringe Bautoleranz zu. Überragende Bleche (Bild 14), überlappte Blechstöße (Bild 15), Beulen am Zyklonmantel (Bild 16) beeinträchtigen in hohem Maße den Filterwirkungsgrad und setzen somit die Standzeiten der Filteranlage und im Ergebnis die des Motors beträchtlich herab. Das gleiche gilt auch für Innenschweißnähte

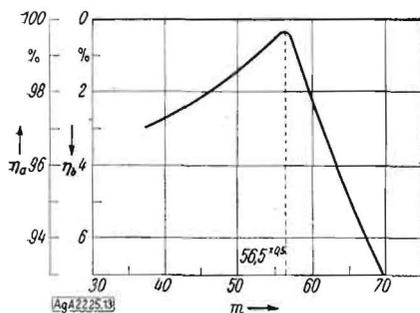


Bild 13. Darstellung des Einflusses bei Nichteinhalten der vorgeschriebenen Bautoleranzen zwischen Zyklon-Reingasrohr und Verschneidungsebene des oberen Prallbodens, gemessen mit Prüfstaub 600. Bei vollem Luftdurchsatz entsprechend einem Widerstand $\Delta p = 480$ mm WS

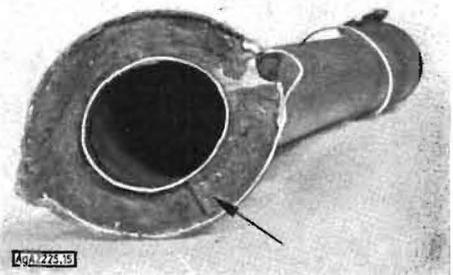
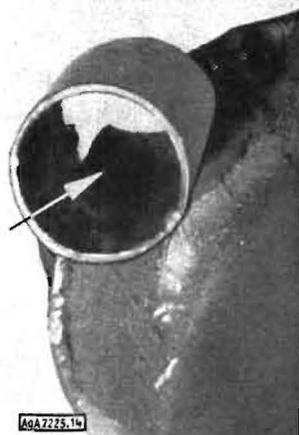


Bild 15. Überlappte Blechstöße behindern den Staubtransport zur Absaugöffnung

Bild 14 (rechts). Mangelhafte Ausführung des Staubsammelraumbodens am Zyklon

bzw. Perlen und mangelhafte Formgebung des Einlaufes (Bild 17).

Die Bauweise der Naßluftfilter, große Dichtflächen und Doppeldichtungen (Bild 18) setzen eine einwandfreie Maßeinhalten und ein gut funktionierendes Dichtelement voraus. Da die Prüfung des Filters auf Dichtigkeit schwierig ist, kann der Naßluftfilter in der Praxis auch dann noch eine Gefahrenquelle darstellen, wenn er sich in der Laborprüfung als geeignet erwies. Durch die große äußere Dichtung eindringende Falschluff gelangt ungefiltert in den Motor und bewirkt einen erhöhten Motorenverschleiß, zumal der Anbringungsort des Filters am Schlepper ohnehin in einer stärkeren Staubzone liegt.

Zusammenfassung

Die in der Landwirtschaft eingesetzten Verbrennungskraftmaschinen – ob im Fahrzeug oder stationär – sind einer hohen Staubbelastung ausgesetzt. Das Erreichen optimaler Standzeiten dieser Motoren ist neben einer guten Pflege, Wartung und Einhalten der Betriebstemperaturen in hohem Maße von einer Filteranlage abhängig, deren Auslegung den landwirtschaftlichen Anforderungen entsprechen muß.

Die vom IfL entwickelten Zyklonreiniger für Verbrennungsluft und Auspuffgase entsprechen in ihren Prüfergebnissen und Einsatzprüfungen den gestellten Bedingungen.

Die Anlage, bestehend aus einem Ansaugzyklon mit Staubabsaugung und einem Auspuffzyklon, filtert sowohl den Lufteintritt als auch den Gasaustritt. Mit drei verschiedenen Bauformen gleicher Bauart können Viertakt-Motoren innerhalb der

Leistung von 10 bis 60 PS ausgerüstet werden. Bezüglich Anwendung für Zweitakt-Motoren besteht von seiten der Filteranlage keine Beschränkung. Die Filteranlagen erreichen in jedem Belastungsfall des Motors einen Entstaubungsgrad von mindestens 98% und gewährleisten bei der in der deutschen Landwirtschaft üblicherweise auftretenden Staubbelastung der Luft mit Sicherheit eine Staubaufnahme unter $0,5 \text{ g/dm}^3 \cdot \text{h}$, bezogen auf den Hubraum der Motoren. Infolge der hohen Wirkungsgrade ist die Standdauer der Nachfilter sehr hoch und erreicht bei Kettenschleppern die Größenordnung der jährlichen Einsatzzeit. Der durch die Anlage bedingte Leistungsverlust liegt

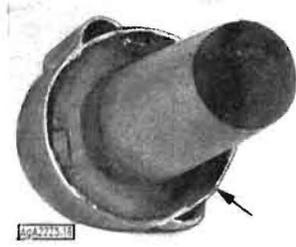


Bild 16. Beulen am Zyklonmantel beeinträchtigen die Wirkungsweise

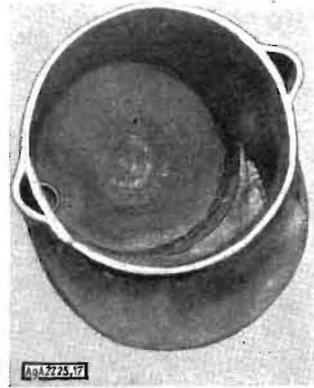


Bild 17. Schweißnähte und Perlen im Zykloninnern sowie mangelhaft ausgeführter Zykloneinlauf setzen den Entstaubungsgrad des Zyklons herab

bei richtiger Dimensionierung stets unter 2%. Ein Rechenverfahren für die Dimensionierung der Zykclone wird angegeben.

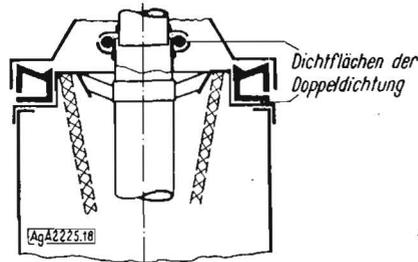


Bild 18. Die Doppeldichtung beim Ölbadfilter erfordert ein hohes Maß an Baugenauigkeit. Das Dichtelement muß Baugenauigkeiten ausgleichen

Der Aufwand an Reinigung bzw. die Standzeit der Filteranlage ist bei der Kombination lediglich durch den Nachfilter bedingt, an dessen Charakteristik nur in dieser Beziehung erhöhte Anforderungen gestellt zu werden brauchen. Die IfL-Zyklon-Filteranlage ist für den Einsatz als Allein-Filteranlage innerhalb der deutschen Landwirtschaft geeignet, die Verwendung von Nachfiltern entspricht nur einem erhöhten Sicherheitsbedürfnis.

Literatur

- [1] Lugner, H.: Filteranlage für Gase an Schleppern. Agrartechnik (1954), Heft 4 bis 6.
- [2] Lugner, H., u. G. Th. Zaunmüller: Zyklonfilteranlage des Instituts für Landtechnik als Alleinflter. Agrartechnik (1955) Heft 9.
- Meldau, R., Dr.-Ing. VDI Handbuch der Staubtechnik Band 1 und 2: VDI-Verlag, Düsseldorf.
- Eck, B., Dr.-Ing., Technische Strömungslehre. Springer-Verlag, Berlin.
- Feisel, E., Zyklon-Entstaubung. Forschung, Band 9, Heft 2, Seite 68 bis 81.
- Zyklon-Entstaubung und ihre Näherung. Forschung, Band 10, Heft 5, Seite 212 bis 219.
- Richter, K., Obering. IVK Dresden. Über Luftfilterentwicklung für Fahrzeug- und Schleppermotoren. Kfz-Technik (1954), Heft 8, Seite 229 bis 236.

A 2225

„Zyklon-Filteranlage des IfL als Alleinflter“

Erwiderung auf die Stellungnahme von Obering. RICHTER¹⁾

Das Institut für Landtechnik nimmt zur Entgegnung von Obering. Richter vom IVK Dresden wie folgt Stellung:

Ursache der Entgegnung von Obering. Richter bilden die abweichenden Ergebnisse der im Labor des IVK an Ölfiltern durchgeführten Versuche zu den Breitenversuchen des Instituts für Landtechnik. Diese unterschiedlichen und nicht seinen Gedanken entsprechenden Resultate veranlaßten Richter von „Irreführung“ zu sprechen und zu behaupten, die hiesigen Versuche wären mit schadhafte Filtern durchgeführt worden, und die Ergebnisse seien aus diesem Grunde als nicht den Tatsachen entsprechend abzulehnen.

Zu diesen Ausführungen hat das Institut folgendes zu bemerken:

Versuche auf einem Prüfstand im Laboratorium bilden im allgemeinen den Abschluß von theoretischen Überlegungen und technischen Vorausberechnungen. Sie führen demnach den Beweis der Richtigkeit oder aber der Unrichtigkeit der vorangegangenen Überlegungen und Annahmen. Die auf einem Prüfstand erwiesene Brauchbarkeit ist aber keineswegs immer ein Beweis für eine Eignung auch in der Praxis. Aus eben diesem Grunde ist beispielsweise für einen Schlepper nicht nur der Schleppertest, der eine technische Prüfung auf dem Prüfstand darstellt, maßgebend, sondern es wird zusätzlich noch eine gesonderte landwirtschaftliche Eignungsprüfung in Form eines 1000stündigen Einsatzes verlangt.

Dieses Beispiel zeigt klar die abwegige Ansicht von Richter, die im Labor gewonnenen Ergebnisse müßten mit denen der Praxis übereinstimmen. Die aus dieser Ansicht abgeleitete Forderung, bei Nichtübereinstimmung der Ergebnisse sei der Breitenversuch falsch oder aber zumindest unter falschen Voraus-

setzungen gefahren, muß als abwegig und unlogisch abgelehnt werden.

Gerade bei den Filterversuchen liegen grundsätzlich Unterschiede zwischen Prüfstands- und Praxisversuchen vor, Unterschiede, die ein abweichendes Ergebnis sehr wohl erklären können:

1. Die Filterprüfung auf einem Prüfstand erfolgt nach Angabe von Richter nur für 4 Stunden,
2. die Belastung des Filters während dieser Zeit ist, konstant.

Der Breitenversuch dagegen findet unter wesentlich schärferen Einsatzbedingungen statt:

1. Die Versuchsdauer beträgt mehrere 100 Stunden,
2. die Belastung ändert sich laufend, und zwar stoßweise.

Das einwandfreie Arbeiten der Filter auf dem Prüfstand bietet keinerlei Gewähr dafür, daß dieselben Filter sich unter anderen Bedingungen als ebenso einwandfrei erweisen. Es liegt durchaus im Bereich der Möglichkeiten, daß beispielsweise bereits nach kurzem Prüfungslauf bei stoßweiser Belastung Öl aus dem Filter mitgerissen wird. Falls dieses noch nicht nach kurzer Zeit geschieht, dann vielleicht erst nach Stunden. Es wird demnach die Aufgabe Richters sein, seinen Prüfstand den tatsächlichen Betriebsbedingungen anzupassen und dann den Gegenbeweis zu dieser angedeuteten Möglichkeit zu liefern.

Besondere Beachtung ist unserer Meinung nach bei einer stoßweisen Belastung der Dynamik des Luftstromes zu schenken. Solange dieser Gegenbeweis nicht angetreten ist, werden die Äußerungen wie „bewußte Irreführung“ nicht nur als recht anmaßend angesehen, sondern die gesamte Entgegnung wird als nicht beweiskräftig abgelehnt.

Sämtliche, mit Ölbadfiltern ausgerüstete Anlagen zeigen im Ansaugrohr eine Ölbenetzung. Gleichzeitig wird die Tatsache

¹⁾ Deutsche Agrartechnik (1955) H. 12, S. 505.