

Luftfilteranlagen für Landmaschinen und Traktoren

Dipl.-Ing. N. Kühnen, KDT, VEB Berliner Vergaser- und Filterwerke

Zur Reinigung der Ansaugluft und damit in erster Linie zum Schutz der Kolben-Zylinder-Gruppe des Antriebsmotors sind heute in Verbindung mit geeigneten Vorabscheidern zwei Filtertypen gebräuchlich, und zwar Ölbadluftfilter und Trockenluftfilter.

1. Ölbadluftfilter

Im Bild 1 ist das Wirkprinzip des Ölbadluftfilters dargestellt. Die Frischluft, durch das Lufteintrittsrohr a angesaugt, trifft auf das Ölbad im Ölbehälter b. Die Geschwindigkeit der Luft und die der in der Luft enthaltenen Schmutzteile beträgt v . Der Impuls der Schmutzteile I ergibt sich aus dem Produkt $m_s \cdot v$, wobei m_s die Masse der Schmutzteile ist.

Ist der Impuls gering,

$$z. B. \frac{m_{OI}}{m_s} \rightarrow \infty,$$

werden die Teilchen gleich einem gegen eine Wand geworfenen Ball reflektiert. Ist der Impuls groß genug, wird an der Berührungsstelle zwischen Teilchen und Öl die Oberflächenspannung des Öls überwunden und das Teilchen sinkt in das Öl ein. Die kinetische Energie des Teilchens geht dabei durch Reibung in Wärme über. Die reflektierten Teilchen dienen als Kondensationspunkte für Ölnebel und gelangen mit den Öltröpfchen in das Ölbad oder werden zusammen mit Öl im Kokosfasereinsatz zurückgehalten. Der Einsatz ist bei einem gut arbeitenden Filter zu einem Drittel der Gesamthöhe von 100 mm mit Öl benetzt. Bei erheblichen Abweichungen, auch wenn sie nur örtlich sind (etwa bis zur Hälfte der Gesamthöhe), deutet das auf einen Fehler im Filter hin und muß korrigiert werden (Filter reinigen, eventuell neuen Einsatz verwenden). Der Betreiber kann durch die Kontrolle der Eindringtiefe die Filterfunktion überprüfen.

Der Kokosfasereinsatz arbeitet als Naßluftfilter, d. h., die Schmutzteile lagern sich infolge von Adhäsionskräften an den ölbenetzten Kokosfasern an.

Der Schmutzabscheidegrad η bewegt sich bei Ölbadluftfiltern je nach Güte der Anpassung an die Betriebszustände des Motors zwischen 0,98 und 0,995, d. h., η ist vom Luftdurchsatz \dot{V} und damit von der Motordrehzahl n abhängig.

Unter Beachtung der Tatsache, daß ein Ölbadluftfilter 400 FLOH des Traktors ZT 300 bis zur Wartung etwa 1 000 g Schmutz aufnehmen kann, bedeutet der angegebene Schmutzabscheidegrad, daß 0,5 bis 2,0 g das Filter passieren und in den Motor gelangen.

2. Trockenluftfilter

Die Grenzen des Schmutzabscheidegrades bei Ölbadluftfiltern zeigen, daß diese nicht für alle Einsatzfälle geeignet sind. Bei starkem Schmutzanfall, z. B. beim Einsatz von Mähreschern (Schmutzgehalt in der Ansaugluft bis 35 mg/m^3), erfüllen Trockenluftfilter ihre Aufgabe wesentlich besser. Bild 2 läßt die Arbeitsweise des Trockenluftfilters 500 FLT 1-1 vom VEB Berliner Vergaser- und Filterwerke erkennen. Das eigentliche Filter-

element ist wie bei allen Trockenluftfiltern der Papierfiltereinsatz, ein aus einem Spezialpapier gefertigter Faltenbalg, zu einem oftmals runden Einsatz gefaßt (im Bild FLP 240/208-500). Die maximale Porengröße des Spezialfilterpapiers liegt bei etwa $100 \mu\text{m}$, die durchschnittliche bei $20 \mu\text{m}$ bis $40 \mu\text{m}$. Die Angaben zeigen, daß Schmutzteile $\geq 100 \mu\text{m}$ das Papier nicht passieren können. Der Motorenhersteller fordert aber die Abscheidung von Schmutzteilen um $10 \mu\text{m}$ und kleiner. Die Filterhersteller werden diesen Forderungen gerecht. Neben dem einfachen Siebeffekt werden die Schmutzteile durch unterschiedliche Ladungspotentiale (zwischen Papier und Teilchen) am Papier angelagert. Physikalische Grundlage sind die van der Waalschen Kräfte, in der Quantenmechanik auch als Abstandsgesetz bekannt:

$$F_{v.d.w.} = \frac{1}{k} \frac{dQ_+ \cdot dQ_-}{r^n},$$

- k Konstante, die spezifische Stoffeigenschaften berücksichtigt
- Q_+, Q_- Ladungspotentiale
- r Abstand zwischen den Ladungsträgern
- n Exponent.

Ob ein Schmutzteile auf dem Papier oder in den Poren angelagert wird oder den Einsatz passieren kann und damit in den Motor gelangt, entscheidet nicht die Porengröße (kein reiner Siebeffekt), sondern ob die Anziehungskräfte $F_{v.d.w.}$ oder die das Teilchen treibende Impulsänderung

$$F = m \frac{dv}{dt}$$

- m Teilchenmasse
- dv Geschwindigkeitsänderung
- dt Zeitänderung

überwiegen. Die Geschwindigkeit der Teilchen, anfangs gleich der Geschwindigkeit der angesaugten Luft, verringert sich in den Poren, und bei $F < F_{v.d.w.}$ lagert sich das Schmutzteile an ab. Daraus folgt, daß der Porendurchmesser geringer wird, verbunden mit stärkerer Geschwindigkeitsverminderung folgender Schmutzteile bei ansteigendem Saugverlust für den Motor. Der Schmutzabscheidegrad liegt bei

Bild 2. Trockenluftfilter 500 FLT 101;

- a Gehäuse, b PUR-Schaum-Dichtung, c Filtereinsatz, d Gummischeibe, e Unterlegscheibe, f Flügelschraube, g Deckel

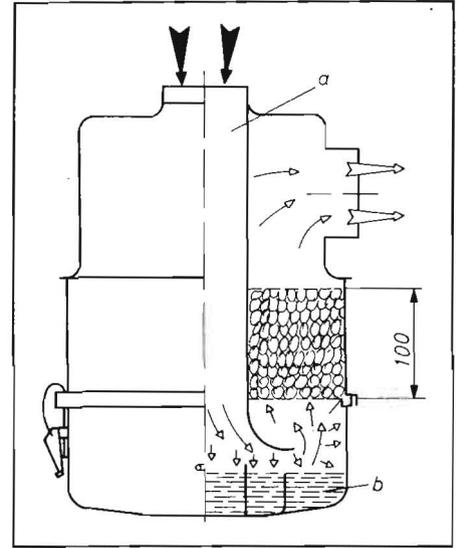
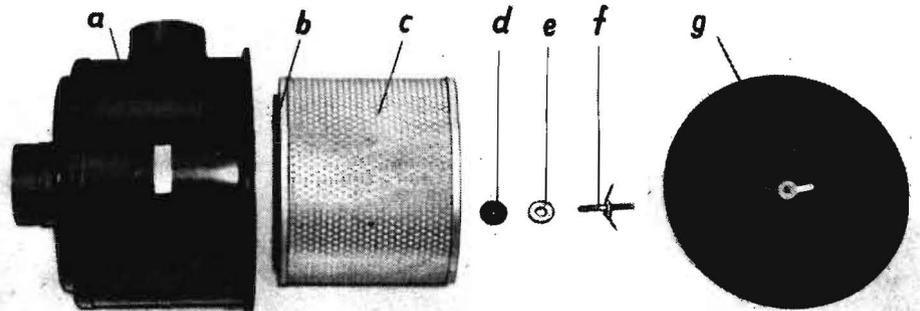


Bild 1. Wirkungsweise eines Ölbadluftfilters; a Lufteintrittsrohr, b Ölbad

neuen Papierfiltereinsätzen über 0,995 und nähert sich mit der Verringerung der durchschnittlichen Porengröße dem Wert 1,0. Es ist daher auch ungünstig, einen Trockenluftfiltereinsatz vor dem Erreichen der zulässigen Druckdifferenz, die vom Motor abhängig ist und meist durch Wartungsanzeigen signalisiert wird, zu wechseln.

3. Vergleich von Ölbadluftfiltern mit Papierluftfiltern

In Tafel 1 werden Ölbad- und Papierluftfilter bezüglich verschiedener Kenngrößen verglichen.

4. Zyklonfilter

Der Schmutzabscheidegrad der Vorabscheider (Zyklonfilter), je nach Luftgeschwindigkeit zwischen 0,4 und 0,7, reicht für die erforderliche Reinigung der Ansaugluft nicht aus. Sie werden deshalb nur bei stark verschmutzter Ansaugluft, z. B. in der Landwirtschaft oder im Straßenbau, eingesetzt, um die groben Verunreinigungen vor der Feinfiltration zu entfernen.

Da die Vorabscheider die Ansaugdruckdiffe-

Tafel 1. Vergleich von Ölbad- und Papierluftfiltern [1]

Bezugsgrößen	Ölbadluftfilter	Papierluftfilter
Filterwirkung:	von Luftdurchsatz abhängig	vom Luftdurchsatz unabhängig, besser als Ölbadluftfilter
Einfluß der Auslegung: zu groß zu klein	schlechter Abscheidungsgrad Ölmitreißen	Standzeitverlängerung Standzeitverkürzung (jeweils keine Einbuße am Abscheidungsgrad)
Einbaumöglichkeit:	muß mit Filterachse vertikal eingebaut werden, Bauform weitgehend durch Funktion bestimmt und eingeschränkt	kann in jeder Lage eingebaut werden, Bauform weitgehend frei wählbar
Auswirkung von besonderen Betriebsbedingungen: geringer Luftdurchsatz	Verschlechterung des Abscheidungsgrades	keine negativen Auswirkungen
hohe Ansauglufttemperatur	Gefahr des Ölmitreißen	keine negativen Auswirkungen
ungewöhnlich niedrige Ansauglufttemperatur	Eindickung des Ölbad, Abfall des Abscheidungsgrades	keine negativen Auswirkungen
Schräglage	Gefahr des Ölmitreißen und der Abscheidungsgradverschlechterung	keine negativen Auswirkungen
Ausaugung von Smog Ansaugung von Auspuffrauch	keine negativen Auswirkungen keine negativen Auswirkungen	keine negativen Auswirkungen Verkürzung der Standzeit
Beschleunigung – Verzögerung	Ölauswurf – niedriger Ölstand bringt Abfall des Abscheidungsgrades	keine negativen Auswirkungen
allgemeiner Betrieb: Möglichkeiten zum Erkennen des Verschmutzungsgrades	gut, durch Kontrolle der Ölbadverschmutzung	kaum möglich über Patronenverschmutzung, praktisch nur über Motorleistung, Auspuffqualm, Verbrauch oder Unterdruckanzeige Gehäuse und Patronendichtung müssen nach Kontrolle der Patrone gereinigt werden
Unterdruckanstieg bei Verschmutzung	praktisch kein Anstieg	ansteigend bis Wartung
Folgen von versäuerter Wartung	Abfall des Abscheidungsgrades, Schmutzmitreißen in den Motor tritt ohne Warnung ein	kein Nachlassen der Filterwirkung, Warnung durch Nachlassen der Motorleistung, Auspuffqualm, höherer Kraftstoffverbrauch
Filterwartung: Möglichkeiten zur Wartung	durch Auswaschen von Einsatz und Erneuerung der Ölfüllung	Reinigung der Patrone durch Ausblasen und Auswaschen oder Patronenwechsel
Nachschubabhängigkeit	nein, Reinigungsmittel und Geräte stehen überall zur Verfügung	ja, Patronennachschub muß gewährleistet sein
Gefahr von Beschädigung bei Warnung	gering	durch Patronenbeschädigung
Wartungsfehler	Überfüllung des Ölbad, dadurch Ölmitreißen möglich	Beschädigung der Papierpatrone, evtl: auch ungenügende Reinigung
Wartungskosten	i. allg. geringer als Papierluftfilter	i. allg. höher als Ölbadluftfilter

renz der Luftfilteranlage erhöhen, d. h. der nutzbare Anstieg bis zur Wartung geringer wird, ist der Einsatz nicht in jedem Fall gerechtfertigt. Auf keinen Fall dürfen die Fahrzeugbetreiber die Luftfilteranlagen ihrer Fahrzeuge und Maschinen ohne Rücksprache mit dem Motoren- bzw. Filterhersteller ergänzen. Bei einem Ölbadluftfilter können die höhere Druckdifferenz zum Ölmitreißen bzw. die veränderte Luftführung zur Verschlechterung des Schmutzabscheidungsgrades führen. Bei Trockenluftfiltern verringert die höhere Ansaugdruckdifferenz die Einsatzzeit bis zur Wartung, hinter dem Vorabscheider sind nur kleine Schmutzpartikel (15 bis 20 µm), die die Poren schneller zusetzen. Bei der Kombination von Vorabscheidern mit Papierfiltern muß der Aufwand zum Nutzen abgewogen werden.

5. Verbindungsleitungen zwischen Luftfilter und Motor

Eine selbstverständliche und doch oft vernachlässigte Forderung ist die regelmäßige Kontrolle der Verbindungsleitungen zwischen Luftfilter und Motor auf die notwendige Dichtheit. An den Verbindungsstellen, wie Gummikrümmern, Schlauchverbindungen oder Flanschen, besteht die Gefahr, daß staubhaltige ungefilterte Luft eindringt. Da Luftfilter und Ansauganlage beim Durchströmen der Ansaugluft für den Motor einen Widerstand bedeuten, genügen schon geringe Spalte, um größere Mengen ungefilterter Luft zum Motor gelangen zu lassen. Ein Beispiel: Ein Papierluftfilter mit einem Schmutzabscheidungsgrad $\eta > 99,9\%$ läßt vom angesaugten Schmutz weniger als 0,1 %

in den Motor durch. Der Ansaugluftbedarf des ZT 300 beträgt bei Vollast 320 m³/h. Bei Feldarbeiten auf trockenem Acker beträgt der Schmutzgehalt bis zu 40 mg/m³ [1]. Die das Filter passierende Staubmenge errechnet sich mit 0,01 g/h. Hat der gleiche Motor eine undichte Stelle in der Ansauganlage, durch die nur ein Prozent ungefilterte Luft angesaugt wird (30 m³/h), gelangen z. B. 1,2 g/h in den Motor, wobei alle Korngrößen vertreten sind, während das Filter nur Schmutz mit einer Teilchengröße < 5 µm durchläßt. Für den Landmaschinenkonstrukteur bedeutet das, daß er geeignete Materialien und sichere Schlauchverbindungen einsetzen muß, die gut zugänglich sind und den hohen Schwingbelastungen vom Motor her standhalten.

6. Ergebnisse aus der Filtererprobung

In der Landwirtschaft der DDR ist der Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW verbreitet. Der Ansaugluftbedarf beträgt bei einer Drehzahl von 2 300 min⁻¹ 410 m³/h und bei 1 800 min⁻¹ 320 m³/h (s. [2]). Bei einem Luftdurchsatz von 410 m³/h hat das neue Filter 500 FLT 1-1 (Trockenluftfilter vom VEB Berliner Vergaser- und Filterwerke) ohne Vorfilter eine Ansaugdruckdifferenz von 550 Pa (55 mm WS). In der Zusammenarbeit mit der Versuchsabteilung des VEB IFA-Motorenwerke Nordhausen wurde auf dem Motorenprüfstand ermittelt, daß der genannte Motor bei einem Ansaugunterdruck von 5 000 Pa (500 mm WS) einen Leistungsverlust von 2,6 kW (3,5 PS) und einen Kraftstoffmehrerverbrauch von 3,4 g/kWh (2,5 g/PSh) aufweist. Daraus resultiert, daß Trockenluftfiltereinsätze bei 5 000 ± 500 Pa zu wechseln sind (geeignete Wartungskontrollschalter sind im Angebot). Die Differenz zwischen 550 Pa und 5 000 Pa ist die Betriebsdauer eines Trockenluftfiltereinsatzes und beträgt beim:

ZT 300 600 bis 1 000 Betriebsstunden
E 512 180 bis 280 Betriebsstunden
E 280 6 bis 20 Betriebsstunden
W 50 bis 50 000 Fahrkilometer.

Die angegebenen Wechselintervalle sind sehr stark von den Staubanfällen abhängig. In den häufigsten Fällen, z. B. nach den 6 bis 20 Betriebsstunden beim E 280, kann der Filtereinsatz von innen nach außen ausgeblasen werden und ist dann wieder zu verwenden. Für den gereinigten Einsatz des Filters beträgt die Standzeit 90 bis 100 % der Brauchbarkeitsdauer der Originalpatrone. Die Trockenluftfilter haben sich als wartungsfreundlicher erwiesen. Wenn die Filtereinsätze nicht mechanisch beschädigt werden, sind Wartungsfehler kaum möglich. Beim Überschreiten der Einsatzzeit (z. B. 5 000 Pa) sinkt die Leistung des Motors. Wird dagegen bei Ölbadluftfiltern der Wartungszyklus überschritten, besteht die Gefahr des Ölmitreißen (einschließlich Schmutz) und führt zu Motorschäden.

Literatur

- [1] Handbuch der Mann-Filtertechnik. Herausgegeben vom Filterwerk Mann und Hummel GmbH Ludwigsburg.
- [2] Korb, K.: Einfluß der Ansaugluftfilterung auf den Verschleiß der Dieselmotoren von selbstfahrenden Landmaschinen und Traktoren. agrartechnik, Berlin 24 (1984) 9, S. 414–416.