

Einfluß der Ansaugluftfilterung auf den Verschleiß der Dieselmotoren von selbstfahrenden Landmaschinen und Traktoren

Dr.-Ing. K. Korb, KDT, Kombinat Fortschritt Landmaschinen, VEB Dieselmotorenwerk Schönebeck

1. Einleitung

Von Service-Instrukteuren des VEB Kombinat Fortschritt Landmaschinen werden bei der Überprüfung von Garantieansprüchen an selbstfahrenden Landmaschinen und Traktoren immer wieder Dieselmotoren vorgefunden, die bereits nach 200 bis 700 Betriebsstunden einen zu hohen, immer noch ansteigenden Ölverbrauch und einen erheblichen Gasaustritt an der Kurbelgehäuseentlüftung aufweisen. In 99 % aller derartigen Fälle wurde dann beim Öffnen des Motors festgestellt, daß die Kolbenringe, die Kolbenringnuten und die Zylinderleitbuchsen total verschlissen waren, d. h., diese Teile hatten ihre Aussonderungsgrenzen bereits überschritten. Dagegen war z. B. an den Haupt- und Pleuellagern oder an den Steuerrädern der Verschleiß wesentlich geringer. In den Ansaugrohren wurden große Mengen von abgelegtem Staub festgestellt. Es konnte bewiesen werden, daß die Filterung der Ansaugluft mangelhaft bzw. überhaupt nicht wirksam war. In vielen Fällen müssen diese Motoren grundüberholt werden. Mindestens jedoch ist ein Kolben- und Buchsenwechsel erforderlich, obwohl die Grenznutzungsdauer auch der Zylinder-Kolben-Gruppe z. B. mit 4 000 h veranschlagt ist. Vom VEB LIW Halle wurde festgestellt, daß nach dem sehr trockenen Jahr 1982 besonders viele Motoren mit diesen Symptomen zur Grundüberholung angeliefert wurden [1]. Der schädigende Einfluß von Staub in der Ansaugluft ist jedem Praktiker bekannt, jedoch werden die Auswirkungen einer mangelhaften Luftfilterung auf die Grenznut-

zungsdauer der Motoren allgemein noch unterschätzt.

Mit der ständigen Weiterentwicklung der Dieselmotoren wurde auch eine Anzahl verschleißmindernder Maßnahmen wirksam, die zur Erhöhung der Grenznutzungsdauer führten, z. B. die Einführung von Ringträgerkolben, verchromten Verdichtungs- und Öl-abstreifringen, modernen Dünnwandlager-schalen für Haupt- und Pleuellager, verbesserten Kraftstoff- und Ölfiltersystemen und Papierluftfiltern. Zur Erfüllung der materialökonomischen Anforderungen ist jedoch auch vom Nutzer der Maschinen ein Beitrag zur vollen Ausnutzung der projektierten Grenznutzungsdauer notwendig. Auch der verschleißfesteste Werkstoff kann die Grenznutzungsdauer nur wenig erhöhen, wenn z. B. infolge einer schlecht gewarteten Luftfilteranlage harte, abrasiv wirkende Teilchen in den Motor gelangen können. Im folgenden Beitrag werden Informationen vermittelt, die zur besseren Erkenntnis über die schädigenden Auswirkungen einer schlecht gewarteten oder nicht wirksamen Luftfilteranlage führen sollen.

2. Staubkonzentration an der Luft-ansaugstelle

Die Staubkonzentration an der Luftansaugstelle des Motors ist vor allem von folgenden Faktoren abhängig:

- Bodenbeschaffenheit (Straße, Feldweg, Acker)
- Feuchtigkeitsgehalt des Bodens
- Windverhältnisse
- Einzelfahrzeug, Kolonne oder Erntekomplex
- Rad- oder Kettenantrieb
- landwirtschaftlicher Arbeitsvorgang (Transport, Bodenbearbeitung, Ernte)
- Lage der Luftansaugstelle am Fahrzeug.

In Tafel 1 sind einige Literaturangaben über Staubkonzentrationen zusammengestellt. Aufgrund der Vielzahl der Einflußfaktoren ergibt sich eine Streuung der Werte um mehrere Größenordnungen. Allein die Lage der Luftansaugstelle kann die Staubkonzentration an dieser Stelle wesentlich beeinflussen. Bei einer Ansaugöffnung direkt am Motor oder an der Stoßstange eines Fahrzeugs muß mit hoher Staubkonzentration gerechnet werden.

Legt man aber die Ansaugstelle in eine Höhe von 3 m über dem Erdboden (z. B. in Höhe des Kabinendachs), kann der Staubgehalt auf etwa ein Viertel reduziert werden [6]. Im Landwirtschaftseinsatz muß - abhängig von den konkreten Bedingungen - mit einer Staubkonzentration von 10 bis 1 000 mg/m³ Luft gerechnet werden (zum Vergleich: auf Hochseeschiffen wurden 0,01 mg/m³ und in einem Prüfstandgebäude 1 mg/m³ gemessen [5]).

Bei Motoren in der Leistungsklasse für Traktoren und selbstfahrende Landmaschinen kann überschläglich mit einem Luftbedarf von rd. 100 m³/h je Zylinder gerechnet wer-

den. Ein Sechszylindermotor benötigt danach z. B. eine Verbrennungsluftmenge von rd. 600 m³/h. Das bedeutet, daß die Luftfilteranlage dieses Motors eine Staubmenge von 6 bis 600 g/h möglichst vollständig abzuscheiden hat. Und das bedeutet auch, daß unter ungünstigen Bedingungen stündlich 600 g Staub in den Motor gelangen können, wenn die Luftfilteranlage nicht in Ordnung ist!

Ergänzend ist noch zu bemerken, daß nicht alle im Straßen- oder Ackerstaub enthaltenen Bestandteile die gleiche Wirkung haben. Maßgebend für den Verschleiß der Motoren sind Festigkeit, Härte und kristalline Form der Staubkörner. Danach sind besonders Feldspat und Quarz von Bedeutung, während pflanzliche Stoffe, andere Kohlenstoffverbindungen und Tonminerale weniger abrasive Wirkung haben. Der Quarzanteil im Staub hängt naturgemäß von den Bodenverhältnissen ab. Auf Straßen einschl. Stadtgebiet wurden 0,08 mg/mg und im freien Gelände 0,15 bis 0,23 mg/mg gemessen [2]. Auf einem Acker in der UdSSR (Gebiet Rostow) wurden 0,65 bis 0,98 mg Quarz je mg Staub festgestellt [4].

Die Luftfilteranlage hat die anspruchsvolle Aufgabe, die unterschiedlich hohe Belastung der Ansaugluft mit abrasiven Teilchen verschiedener Korngröße unter allen Betriebsbedingungen der Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen weitestgehend vom Motor fernzuhalten.

3. Prüfstandversuche zum Einfluß der Staubkonzentration auf den Verschleiß

An einem Dieselmotor 6 VD 14,5/12-2 SRW, der z. B. im Feldhäcksler E 281 eingesetzt ist, wurden auf dem Prüfstand vergleichende Verschleißmessungen mit sauberer Luft und mit einer Zugabe von 30 mg Quarzstaub je m³ Verbrennungsluft durchgeführt. Dabei wurde Quarzstaub mit einer Korngrößenverteilung nach Standard TGL 39-780/04 verwendet und der Verbrennungsluft vor dem Luftfilter mit Hilfe einer Dosiervorrichtung zugemischt.

Die Grenznutzungsdauer schnellaufender Dieselmotoren wird beim gegenwärtigen Entwicklungsstand maßgeblich durch den Verschleiß der obersten Kolbenringnut bestimmt. Dazu kommt, daß der Kolben mit den Kolbenringen zu den Teilen gehört, die unmittelbar von der Verbrennungsluft einschließlich eines gewissen Staubanteils beaufschlagt werden. Die Verschleißmessungen zur Ermittlung des Einflusses der Staubkonzentration wurden deshalb an der obersten Kolbenringnut vorgenommen. Das entscheidende Maß ist das Axialspiel s_a zwischen Kolbenring und Ringnut. Überschreitet das Axialspiel infolge Verschleiß eine bestimmte Grenze, führt das zu erhöhter Gasdurchblasmenge, zu erhöhtem Ölverbrauch, zu Kolbenringbrüchen und schließlich zum Ausfall des Motors. Als Meßverfahren wurde die Abriebmessung mit Hilfe ra-

Fortsetzung von Seite 143

4. Zusammenfassung

Die im VEB KfL „Vogtland“ entwickelte Anlage zur Regenerierung gebrauchter Gefrierschutzmittel-Wasser-Mischungen GWM-A stellt einen weiteren Schritt zum sparsamen Umgang mit wertvollen Rohstoffen (Glykol) und zur Verringerung von Umweltbelastungen durch Landwirtschaftsbetriebe dar. Die sehr kurze Entwicklungszeit von nur einem Jahr seit Bekanntwerden des eingangs genannten Gesetzes [1] bis zum Serienanlauf im Januar 1984 schafft für die Landwirtschaftsbetriebe gute Voraussetzungen, entsprechend den gesetzlichen Auflagen die Errichtung solcher Anlagen ebenso kurzfristig zu realisieren.

Literatur

- [1] Anordnung über die Erfassung, Sammlung und Regenerierung von Gefrierschutzmittel-Wasser-Mischungen vom 19. April 1983. GBl. der DDR Teil I, Nr. 12, vom 13. Mai 1983.
- [2] Regeneriervorschrift für gebrauchte Gefrierschutz-Wasser-Mischungen. Kombinat VEB Chemische Werke Buna, 1982. A 4060

Tafel 1. Übersicht über einige der Literatur entnommene Staubkonzentrationen an der Luftansaugstelle

Quelle	Staubkonzentration mg/m ³
Fahrbares Isotopenlabor der IH Zwickau [2]	
Geländefahrt, Einzelfahrzeug	≈ 10
Geländefahrt, Kolonne	≈ 40
Auswertung verschmutzter Luftfilter beim VEB Traktorenwerk Schönebeck	
trockener Acker, Strohernte	≈ 40
Fahrbares Isotopenlabor in der UdSSR [3]	
Kraftfahrzeuge, Kolonnenfahrt im Gelände	bis 210
Untersuchungen an Fahrzeugen in der UdSSR [4]	
Bodenbearbeitung, trockener Acker	55 bis 1 030
Untersuchungen in der ČSSR [5]	
Landwirtschaftsfahrzeuge	10 bis 100
Untersuchungen in Westeuropa [6]	
Landwirtschaft, Wege	10 bis 35
Landmaschinen in Kolonne	15 bis 200
Untersuchungen der Firma Mann (BRD) [7]	
Mähdrescher, einzeln (1,5 m über dem Erdboden)	≈ 15
Mähdrescher in Kolonne (1,5 m über dem Erdboden)	≈ 35
Kettenfahrzeuge (1,5 m über dem Erdboden)	≈ 100

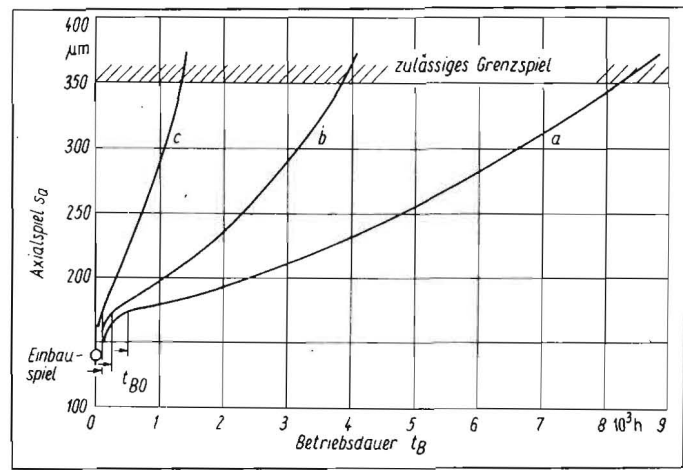


Bild 1. Mittlere Verschleißrealisierungen der obersten Kolbenringnut auf dem Motorenprüfstand; a saubere Ansaugluft, Vollast- bzw. Teillastwechselprogramm, b Quarzstaub 30 mg/m³ vor Luftfilter, Teillast, c Quarzstaub 30 mg/m³ vor Luftfilter, Vollast

dioaktiver Isotope gewählt. Mit dieser Methode ist es möglich, den Abrieb eines Verschleißteils kontinuierlich und ohne Demontage zu messen. Als Ergebnis dieser Untersuchungen sind im Bild 1 die mittleren Verschleißrealisierungen dargestellt. Daraus lassen sich zwei wesentliche Erkenntnisse ableiten:

– Die Verschleißrealisierung (Axialspielverlauf in Abhängigkeit von der Betriebsdauer t_B) verläuft auch nach dem Einlaufvorgang nicht geradlinig. Mit zunehmendem Axialspiel ändern sich die tribologischen Bedingungen, wodurch die Verschleißgeschwindigkeit ansteigt. Die Verschleißrealisierung der Paarung Kolbenring-Ringnut kann beim vorliegenden Motor sehr gut durch folgende Funktion angenähert werden [8]:

$$S_a = C_1 \cdot e^{C_2 t_B - t_{80}} + C_3.$$

– Die Staubkonzentration an der Ansaugstelle (vor der Luftfilteranlage) hat trotz ständiger Kontrolle und Wartung des Luftfilters erheblichen Einfluß auf den Verschleiß. Bei sauberer Luft ist für die untersuchte Verschleißpaarung eine Grenznutzungsdauer von 7 000 bis 8 000 Betriebsstunden erreichbar (Bild 1, Kurve a).

Ein Einfluß der Motorbelastung auf den Verschleiß war bei sauberer Ansaugluft nicht feststellbar. Sind jedoch erst einmal abrasiv wirkende Teilchen in der Luft vorhanden, hat die Motorbelastung großen Einfluß, wie die Kurven b und c im Bild 1 zeigen. Bei einer Staubkonzentration von 30 mg/m³ vor dem Luftfilter und hoher Motorbelastung wurde im untersuchten Fall die mittlere Grenznutzungsdauer gegenüber sauberer Luft auf ein Fünftel verringert! Es ist also nicht verwunderlich, daß Motoren mit unwirksamer Luftfilteranlage nach 200 bis 700 Betriebsstunden wegen zu hohem Ölverbrauchs oder gebrochenen Kolbenringen ausfallen.

Bei den Prüfstandversuchen wurde ein Ölbadluftfilter 500 FLOH verwendet. Eine ausführliche Beschreibung des Versuchsaufbaus ist in [8] enthalten.

4. Einfluß der Luftfilteranlage auf den Verschleiß am Beispiel des Feldhäckslers E 281

Auf die große Bedeutung der Luftfilteranlage für die Grenznutzungsdauer der Motoren wurde in mehreren Veröffentlichungen hingewiesen [1, 2, 4, 6, 9]. Auch ungarische Fachkollegen stellten fest, daß „den größten Einfluß auf den Verschleiß der Motorenteile jene Verunreinigungen haben, die einen abrasiven Verschleiß verursachen“ [5]. Beim Einsatz von Ölbadluftfiltern belief sich der Abrieb von Eisenteilen im gesamten Motor im Vergleich zum Abrieb beim Einsatz von Papierluftfiltern im Verhältnis von 2:1 [5]. Es wurde eine „theoretische Lebensdauer“ bei staubfreier Luft (0,01 mg/m³) definiert, die um ein Vielfaches höher liegt als die tatsächliche Grenznutzungsdauer bei Verwendung von Ölbadluftfiltern. Auf die große Bedeutung der Luftansaugstelle wies Počtarev bereits im Jahr 1957 anhand von Untersuchungen an Geländefahrzeugen in der UdSSR hin [4].

Nachfolgend soll über eigene Untersuchungen berichtet werden. Um den Einfluß der Staubkonzentration in der Ansaugluft nach dem Luftfilter, d. h. auch den Einfluß der Güte der Luftfilteranlage, auf den Verschleiß der obersten Kolbenringnut ermitteln zu können, wurden im Verlauf von 4 bis 5 Jahren 11 Motoren 6 VD 14,5/12-2 SRW im praktischen Einsatz im Feldhäckslers E 281 beobachtet. Von den 66 Kolben waren 55 Kolben für die statistische Auswertung geeignet. Die Motoren waren mit unterschiedlichen Luftfilteranlagen ausgerüstet:

– 4 Motoren mit Ölbadluftfilter FLOH 600 mit vorgeschaltetem Zyklon FLZ 600; Ansaugöffnung direkt am Motor in rd. 1,3 m Höhe vom Erdboden (Variante 1)

– 7 Motoren mit Trockenluftfilter FLT 500 (Papierluftfilter) mit vorgeschaltetem Zyklon FLZ 500; Ansaugöffnung in Höhe Kabinendach, rd. 3 m über dem Erdboden (Variante 2).

Die beobachteten Maschinen waren in verschiedenen Landwirtschaftsbetrieben eingesetzt. Trotzdem wurde im Verlauf von 4 bis 5 Jahren eine für die statistische Auswertung ausreichende Übereinstimmung der Betriebsbedingungen festgestellt. Nach Ablauf der Einsatzdauer im Feldhäckslers wurden die

Motoren demontiert, gereinigt und die Höhen von Kolbenring und Ringnut an mehreren Stellen des Umfangs gemessen. Die Meßwerte für jeden ausgewerteten Kolben in Abhängigkeit von der Betriebsdauer sind im Bild 2 dargestellt. Jedes Kästchen umschließt die Meßwerte aus einem Motor. Es ist zu erkennen, daß das Axialspiel bei der Variante 1 „Ölbadluftfilter, Ansaugöffnung am Motor“ wesentlich schneller zunimmt als bei der Variante 2 „Trockenluftfilter, Ansaugöffnung in Höhe Kabinendach“. Außerdem ist die Streuung der Axialspiele innerhalb eines Motors bei der Variante 1 größer als bei der Variante 2.

Bei den mit einem Ölbadluftfilter ausgerüsteten Motoren (Variante 1) hat der Kolben des Zylinders 6, der dem Luftfilter am nächsten ist, den höchsten Verschleiß. Das hat seine Ursache darin, daß die größeren Staubteilchen auch von einem Filter mit geringerem Schmutzabscheidegrad zurückgehalten werden, der feine Staub jedoch z. T. das Filter passiert und in das Ansaugrohr des Motors gelangt. Der vom Zylinder 6 angesaugte Luftstrom gibt dem Staub keine Gelegenheit, sich an den Wänden des Ansaugrohrs abzusetzen, so daß der Kolben 6 mit dem nach dem Luftfilter noch vorhandenen Staub voll beaufschlagt wird. Bei den mit einem Trockenluftfilter ausgerüsteten Motoren ist diese Tendenz nicht vorhanden.

Zur Abschätzung der Grenznutzungsdauer T_G der betrachteten Paarung ist es notwendig, die bis zu einer Betriebsdauer von $t_B \approx 3 300$ h vorliegenden Meßwerte sinnvoll zu extrapolieren. In Auswertung der im Abschnitt 3 beschriebenen Prüfstanduntersuchungen wurde die dort genannte Exponentialfunktion zugrunde gelegt. Dabei ist t_{80} die Betriebsdauer nach Abschluß des Einlaufvorgangs, die 250 bis 400 h beträgt. Die zu erwartende Grenznutzungsdauer T_G ist dann die Betriebsdauer, bei der das zulässige Aussonderungsgrenzspiel erreicht wird. Damit kann für jeden vermessenen Kolben (entspricht einem Meßpunkt im Bild 2) T_G berechnet werden.

Verschleißprozesse sind stochastische Prozesse, und Verschleißgrößen sind demzufolge Zufallsgrößen mit einer gewissen Streuung. Die Grenznutzungsdauer T_G streut bei der Variante 1 von 2 270 h bis 6 140 h

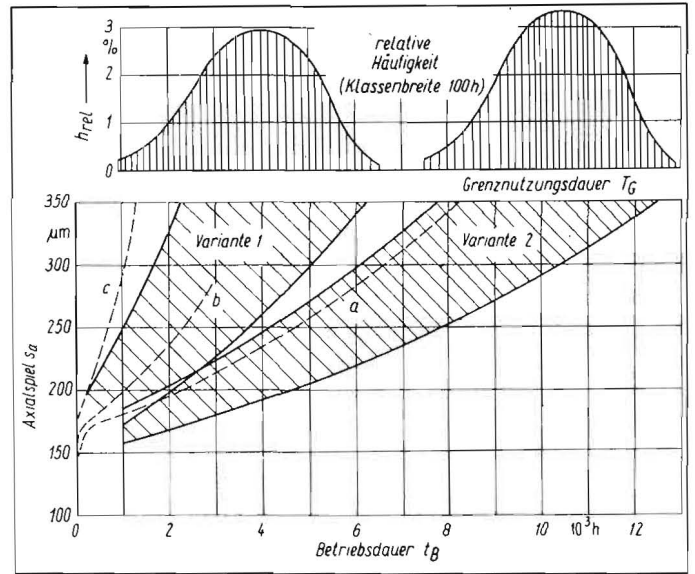
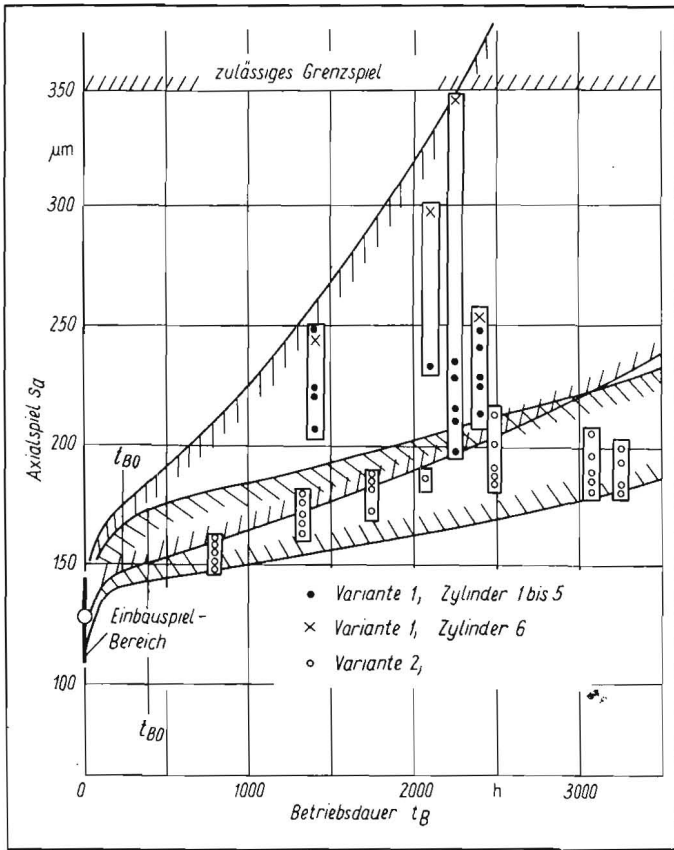


Bild 4. Streufelder der Verschleißrealisierungen der obersten Kolbenringnuten von Motoren 6 VD 14,5/12-2 SRW des Feldhäckslers E 281

Bild 2. Axialspiele der obersten Kolbenringnuten nach Demontage von Motoren 6 VD 14,5/12-2 SRW des Feldhäckslers E 281

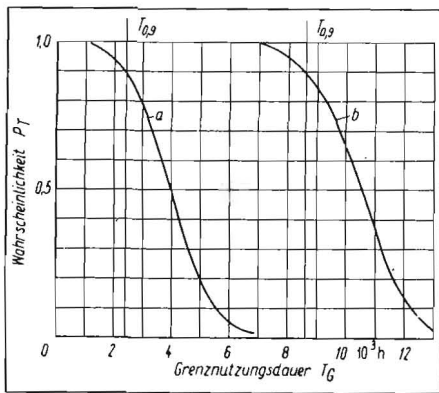


Bild 3. Wahrscheinlichkeit für eine bestimmte Grenznutzungsdauer der obersten Kolbenringnut von Motoren 6 VD 14,5/12-2 SRW des Feldhäckslers E 281; a Variante 1, b Variante 2

Grenznutzungsdauer $T_{0,9}$ der untersuchten Verschleißpaarung Kolbenring-Ringnut auf das 3,6fache erhöht werden! Beim Feldhäckslers E 281 ist die Verlegung der Ansaugöffnung in Höhe Kabinendach bereits seit dem Jahr 1982 serienwirksam.

Im Bild 4 sind die Streufelder der extrapolierten Verschleißrealisierungen dargestellt. Trotz der relativ großen Bandbreiten ist der Unterschied zwischen den beiden Luftfiltervarianten auch hier deutlich sichtbar. Der obere Teil des Diagramms enthält die nach der Weibull-Verteilung errechneten relativen Häufigkeiten h_{rel} für das Erreichen der Grenznutzungsdauer. Zum Vergleich wurden in das Bild 4 die aus den Prüfstandversuchen ermittelten Verschleißrealisierungen aus Bild 1 übernommen (gestrichelte Kurven a, b, c). Die Lage der Kurve b in der Mitte des Streufeldes für die Filtervariante 1 beweist, daß die hierbei realisierten Betriebsbedingungen den durchschnittlichen Verhältnissen in der Praxis sehr nahe kommen.

5. Zusammenfassung

Dieselmotoren für selbstfahrende Landmaschinen und Traktoren sind oft hohen Staubbelastungen ausgesetzt. Im vorliegenden Beitrag wurden Informationen über den großen Einfluß der Luftfilterung auf den Verschleiß vermittelt, die zu größerer Sorgfalt in der Behandlung der Luftfilteranlagen führen sollen.

Der Verschleiß an der Zylinder-Kolben-Gruppe der Motoren ist wesentlich von der Staubkonzentration in der Ansaugluft abhängig. Durch Anordnung der Ansaugöffnung in einer staubarmen Zone sowie durch Einsatz eines Luftfilters mit hohem Schmutzabscheidungsgrad kann die Grenznutzungsdauer der Zylinder-Kolben-Gruppe und damit des Motors wesentlich erhöht werden.

Literatur

- [1] Günther, B.: Erhöhung der Nutzungsdauer von Motoren durch Wartung und Pflege der Luftfilteranlage. Landtechnische Informationen, Leipzig 22 (1983) 6, S. 113/115.
- [2] Sturm, H.; Richter, H.: Ein Beitrag zur Beurteilung von Luftfilteranlagen von Fahrzeug-Dieselmotoren und zur Klärung von Zusammenhängen zwischen Einflußgrößen und Verschleiß im Fahrbetrieb mit Hilfe eines fahrbaren Isotopenlabors. IH Zwickau, Dissertation 1979.
- [3] Vysockij, V.: Ein Fahrzeuglaboratorium zur Verschleißermittlung an Einzelteilen mit Hilfe radioaktiver Isotope. Avtomobil'naja promyšlennost', Moskva (1959) 9, S. 24-26.
- [4] Počtarev, N. F.: Der Einfluß des Staubgehalts der Luft auf den Verschleiß von Kolbenmotoren. Moskau: Militärverlag des Verteidigungsministeriums der UdSSR 1957.
- [5] Vamos, E., u. a.: Untersuchung der Wechselbeziehungen von Schmiering, Filterung und Lebensdauer bei Straßenfahrzeugen. Schmieringstechnik, Berlin 13 (1982) 5, S. 145-148.
- [6] Erdmannsdörfer, H.: Trockenluftfilter für Fahrzeugmotoren - Auslegungs- und Leistungsdaten. Motortechnische Zeitschrift, Stuttgart 43 (1982) 7/8, S. 311-318.
- [7] Mann-Trockenluftfilter für Dieselmotoren. Druckschrift VDK 4518.5 382 (1982).
- [8] Korb, K.: Untersuchungen zum Verschleißverhalten der obersten Kolbenringnut schnelllaufender Dieselmotoren in Abhängigkeit vom Verschleißzustand. IH Zwickau, Dissertation 1982.
- [9] Reimer, K.-H.: Erhöhung der Nutzungsdauer von 4 VD-Motoren durch sachgemäße Pflege des Ölbadluftfilters mit Axialzyklon. Landtechnische Informationen, Leipzig 16 (1977) 4, S. 61/64.
- [10] Fleischer, G.; Gröger, H.; Thum, H.: Verschleiß und Zuverlässigkeit. Berlin: VEB Verlag Technik 1980. A 4134