

Die Programme des VOPP-STATISTIK zeichnen sich durch hohe Überschaubarkeit und Anwendungsfreundlichkeit aus. Die Güte des gewählten Ansatzes wird mit einer Reihe statistischer Meßzahlen, die vom Rechenprogramm mit ausgedrückt werden, und aus den Abweichungen zwischen Meß- und Rechenwerten der Ausgangsgrößen des Modells bestimmt.

### 3.6. Prozeßoptimierung

Für die Optimierung ausgewählter Konstruktionsparameter der Drescheinrichtung und der Leittrömmel hinsichtlich der Zielfunktion Körnerabscheidegrad → Maximum auf der Grundlage der ermittelten mathematischen Prozeßmodelle müssen zunächst folgende Voraussetzungen geschaffen werden:

— Aufstellen der mathematischen Verflechtungen zwischen den Modellen der Grundprozesse unter dem Aspekt der erforderlichen Gesamtbewertung der Schlagleistendrescheinrichtung und der Leittrömmel

— Festlegen einzuhaltender Nebenbedingungen für die zu optimierenden Prozesse.

Wegen der erfolgten Zerlegung des Dreschraums in Elementarbetrachtungsräume werden die notwendigen Voraussetzungen für die Optimierung als Stufenprozeß erfüllt, denn die einzelnen Elementarbetrachtungsräume stellen

mathematisch hinreichend beschreibbare Prozeßstufen im Sinn der Verfahrenstechnik dar, so daß die Werte der Ausgangsparameter des Druschgutes eines jeden Elementarbetrachtungsrums die Eingangparameter des jeweiligen nachfolgenden, ebenfalls zu optimierenden Elementarbetrachtungsrums bilden. Die Optimierung ausgewählter Leittrömmelkonstruktionsparameter erfolgt entsprechend dem Charakter der vorliegenden Prozeßmodelle auf der Basis eines Einstufenprozesses.

Im Rahmen ihrer Untersuchungen wurde von den Autoren unter Berücksichtigung des aufbereiteten Problemcharakters das Optimierungsverfahren der vollständigen Kombination der zu optimierenden Konstruktionsparameter angewendet.

### 3.7. Überprüfung der Ergebnisse durch experimentelle Untersuchungen

Die Arbeitselemente mit den optimierten Konstruktionsparametern sind in jedem Fall experimentell unter Labor- und Feldbedingungen der entsprechenden Ausgangsvariante gegenüberzustellen, da nur so eine Wertung möglich ist.

## 4. Zusammenfassung

Die mathematische Modellierung verfahrenstechnischer Prozesse erfolgt zur Regelung,

Steuerung und Auslegung verfahrenstechnischer Objekte.

Für die umfassende Optimierung der Konstruktionsparameter von Landmaschinen bilden analytisch-experimentelle Modelle der wesentlichen Grundprozesse die Grundlage. Im Beitrag wurde speziell die Methodik zur Erstellung analytisch-experimenteller Modelle am Beispiel der Prozesse im Dreschraum der Schlagleistendrescheinrichtung und an der Leittrömmel erläutert.

Sollen die Prozesse im Mähdrescher insgesamt optimiert werden, so sind analytisch-experimentelle Modelle aller ablaufenden Prozesse unter Einbeziehung der wichtigsten Druschgut-, Betriebs- und Konstruktionsparameter notwendig. Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich auf solche komplexen Optimierungsaufgaben konzentrieren.

## Literatur

- [1] Regge, H.: Die Aufgaben der landtechnischen Forschung am Beispiel der Mähdrescherentwicklung. *agrartechnik* 27 (1977) H. 11, S. 499—502.
- [2] Kaplick, K.: Anwendung eines automatisierten Informationssystems für die Leitung, Steuerung und Überwachung einer großtechnischen Anlage. TU Dresden, Sektion 15, Dissertation 1971.
- [3] Alferov, S. A.: Drusch und Abscheidung, als wahrscheinlichkeits-theoretischer Prozeß. *Traktory i sel'chozm.* (1972) H. 4, S. 23—26.

A 1729

# Schäden an Welle-Nabe-Verbindungen

Prof. Dr. sc. techn. J. Müller, KDT/Dipl.-Ing. R. Grewatsch, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Die Aufwendungen für Aufarbeitung und Neueinsatz von Welle-Nabe-Verbindungen infolge Schädigung bilden einen nennenswerten Anteil am Betriebspreis für die Instandsetzung der landtechnischen Großmaschinen während der Hauptinstandsetzung [1].

Die schadensanalytischen Untersuchungen mit dem Ziel der Ermittlung von Ursache und Wirkung sowie Wechselwirkung zwischen einzelnen Einflüssen sind Voraussetzung für die quantifizierte Zuverlässigkeitsarbeit [2]. In diesem Rahmen sollen erste Ergebnisse durchgeführter Untersuchungen dargelegt werden.

## 1. Schadensanalyse 1. Ordnung

Die in [1] und [3] durchgeführten Analysen der Schäden an Welle-Nabe-Verbindungen landtechnischer Großmaschinen sind auf Keil- und Zahnprofilverbindungen beschränkt (Bild 1). Zur Erfassung der hauptsächlichsten Schäden an den genannten Verbindungen wurden die innerhalb einer Woche normaler Produktion ausgesonderten Verbindungen in 4 VEB Kreisbetrieb für Landtechnik einer Auswertung hinsichtlich Schadensform und Schadenshäufigkeit zugeführt.

Die Parameter

- Mitnehmerbreite
  - Innendurchmesser
  - Außendurchmesser
- werden hinsichtlich des Auftretens der Schadensformen
- Abtragung
  - Ausbröckelung
  - Verquetschung
  - Verhämmerung

— Verformung

— Abscherung

beurteilt (Tafel 1).

Aus der in Tafel 1 dargestellten Schädigungsmatrix geht hervor, daß Profilnaben — und zwar besonders die Mitnehmerbreite — die stärksten Abnutzungserscheinungen aufweisen.

Bereits die Schadensanalyse 1. Ordnung zeigt, daß die spezifischen Schadenserscheinungen, die an Welle-Nabe-Verbindungen in der landtechnischen Praxis auftreten, als Überlagerung grundlegender Schadensformen zu deuten sind.

Der Analyse einer spezifischen Schadenserscheinung geht die Kenntnis der grundlegenden Schadensformen voraus.

## 2. Grundlegende Schadensformen

### 2.1. Verquetschungen

Verquetschungen treten an aufeinander abrollenden Teilen auf [4]. Die dadurch zur Wirkung kommenden Druckbeanspruchungen überschreiten die Elastizitätsgrenze des Werkstoffs. Die auftretenden Schubspannungen treiben den Werkstoff senkrecht zur Druckrichtung heraus.

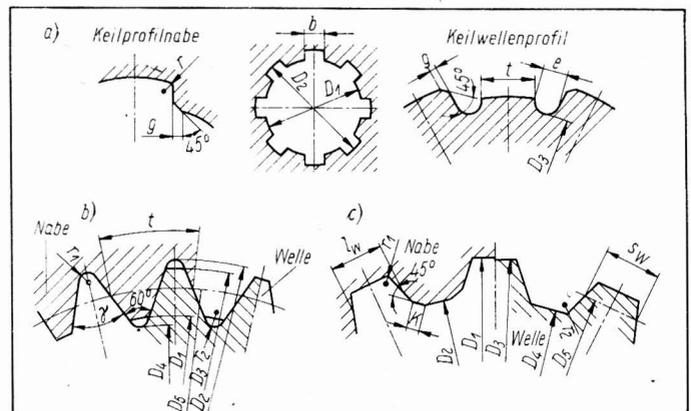
Die Verquetschungen sind nur an der belasteten Flanke des Mitnehmers feststellbar. Damit kann aus dieser Schädigungsform auf die Belastungsrichtung geschlossen werden.

### 2.2. Verhämmerungen

Ursache für Verhämmerungen sind stoßartige

Bild 1  
Profilverbindungen in landtechnischen Großmaschinen;

- a) Profilwelle-Nabe-Verbindung in der Ausführung als Keilprofil nach TGL 0-5462
- b) Profilwelle-Nabe-Verbindung in der Ausführung nach TGL 0-5481
- c) Profilwelle-Nabe-Verbindung in der Ausführung als Zahnprofil nach TGL 0-5482



Tafel 1. Zusammenstellung der Schadensformen

Schadestelle	Schadensform						
	Ver-schleiß	Korro-sion	Abbröcke-lung	Verquet-schung	Verhäm-merung	Verfor-mung	Absche- rung
<b>Keilprofilwelle</b>							
Mitnehmerbreite	—	—			—	—	
Innendurchmesser	—	—					
Außendurchmesser	—	—					
<b>Keilprofilnabe</b>							
Mitnehmerbreite	+	—	+		—	—	+
Innendurchmesser	—	—					
Außendurchmesser	—	—					
<b>Zahnprofilwelle</b>							
Mitnehmerbreite	+	—		—		—	
Innendurchmesser	—	—					
Außendurchmesser	—	—					
<b>Zahnprofilnabe</b>							
Mitnehmerbreite	+	—	+		—	—	
Innendurchmesser	—	—					
Außendurchmesser	—	—					

— Schädigung vorhanden  
+ Schädigung bewirkt Ausfall

Kontaktherstellungen. Die Verhämmerungen erscheinen glatt und blank [4]. Die dabei auftretenden plastischen Deformationen stellen Kaltverfestigungen dar, die eine Versprödung des Werkstoffs und Ribbildung bewirken.

2.3. Abnutzung durch starke Schmutzeinwirkung

In die ungeschützte Verbindung dringt Schmutz ein. Das Ergebnis sind verstärkte Abnutzung und örtlich konzentrierte Veränderungen der Oberfläche (Riefen).

2.4. Passungsrostbildung

Reiboxydation tritt auf, wenn dicht aufeinanderliegende Metallflächen bei Luftzutritt kleine Relativbewegungen ausführen [5]. Mikroteilchen werden abgehoben, die an der Luft in Eisenoxid übergehen. Der sich dabei bildende rötlich-braune, pulverförmige Belag wird als Passungsrost bezeichnet.

3. Spezifische Schadensformen (Schadensbilder) der Profilverbindungen landtechnischer Arbeitsmittel

Als spezifische Schadensformen der Profilverbindungen landtechnischer Großmaschinen lassen sich für Zahn- und Keilprofilverbindungen in gleicher Weise herausstellen:  
— Abnutzung der Mitnehmerbreite  
— Abnutzung über die Nabensitzlänge.

Im Ergebnis der schadensanalytischen Untersuchungen kann festgestellt werden, daß die zur Schädigung der Verbindung führende Abnutzung an den Mitnehmern zu erwarten ist (Bilder 2 und 3).

2

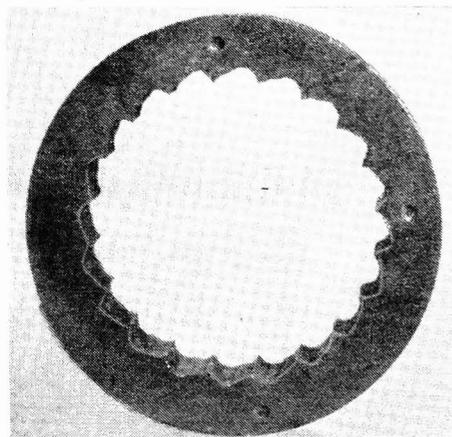


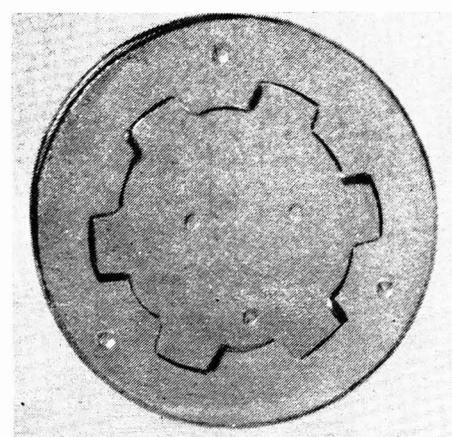
Bild 2 Abnutzung der Mitnehmer einer Zahnprofilnabe

Bild 3 Vergrößertes Verdrehspiel durch Abnutzung der Mitnehmerflanken an einer Keilprofilverbindung

Bild 4 Wirkungsmechanismus der Schädigung an Welle-Nabe-Verbindungen

Bild 5 Vollständige Abnutzung der Mitnehmer einer Keilprofilverbindung

3



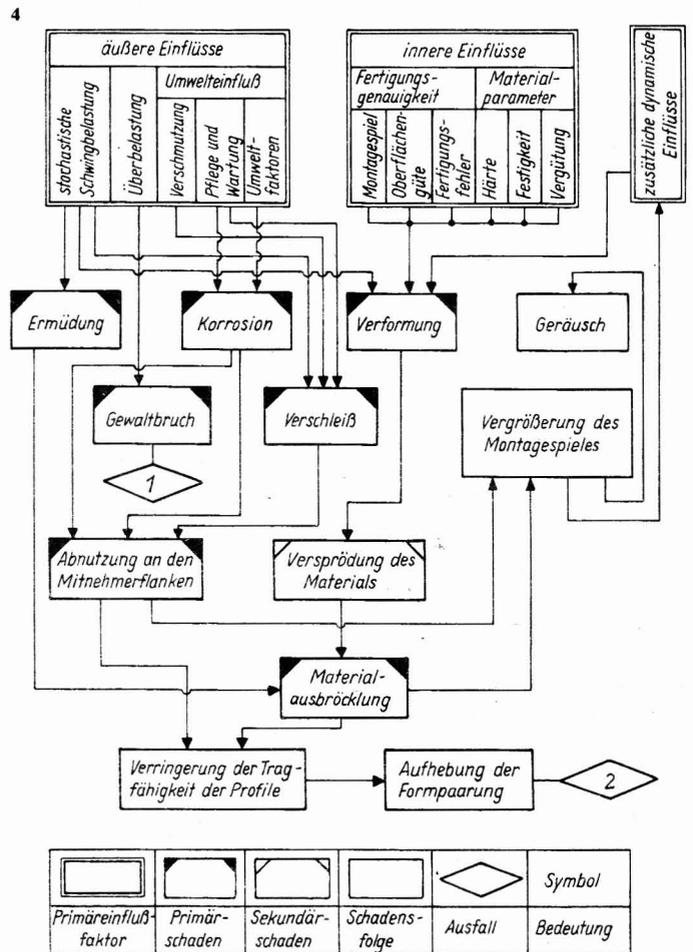
Vermessungen von Verbindungen und die Schadensanalyse 1. Ordnung ergaben, daß die Abnutzung über die Nabensitzlänge konstant ist. An einigen Verbindungen ist erhöhte Abnutzung an den Nabensitzenden festzustellen. Diese Abnutzungskonzentration kann auf den Beanspruchungsverlauf in der Verbindung über der Sitzlänge zurückgeführt werden. An den Sitzenden treten Beanspruchungsspitzen auf, die durch erhöhte Abnutzung abgebaut werden.

Diese Aussage wird durch eine Schadensanalyse an den Profilen von 50 Pumpenwellen der Zahnradpumpe ZPS A 16 bestätigt [3].

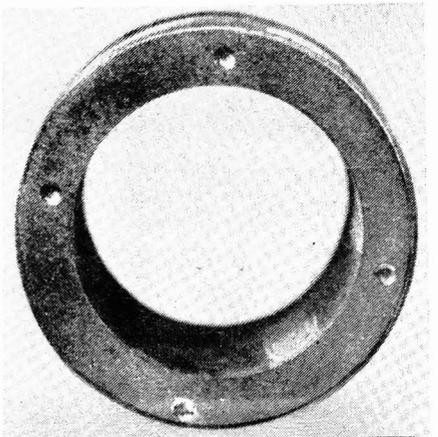
4. Wirkungsmechanismus der Schädigung

Eine Möglichkeit der Klärung des Wirkungsmechanismus der Schädigung ist in folgender Hypothese gegeben (Bild 4):

Der Standard TGL 0-5465 [6] für Profilverbindungen sieht ein Montagespiel vor. Dieses Montagespiel — verbunden mit wechselnden



5



und schwellenden Belastungen — ermöglicht Bewegungen der gepaarten Oberflächen gegeneinander.

Die Oberflächen werden aktiviert, wodurch Passungsrost entsteht, der zur Abtragung von Werkstoff führt. Damit vergrößert sich das Verdrehspiel, das erhöhte Beanspruchung zur Folge hat. Auftretende Belastungsstöße bewirken Verhämmerungen. Diese Kaltverformungen verspröden die Oberfläche der Mitnehmerflanken. Die durch das Spiel vergrößerte Belastung führt zur erhöhten Flächenpressung in der Kontaktphase der spielbehafteten Verbindung, so daß ein Ausbrechen des versprödeten Werkstoffs bewirkt wird. Die dadurch freierwerdende Oberfläche unterliegt dem gleichen Zyklus bei erhöhter Belastung. Der Vorgang wiederholt sich, bis über die

verbleibende Mitnehmerbreite das vorhandene Moment nicht mehr übertragen werden kann. Die Formpaarung wird aufgehoben (Bild 5).

### 5. Zusammenfassung

Die dargestellten Ergebnisse behandeln die wesentlichen Abnutzungen von Profilverbindungen. Aus dem abgeleiteten Wirkungsmechanismus der Schädigung wird deutlich, auf welche Einflußfaktoren die Schädigung zurückgeführt werden kann, wobei sich die Komplexität der Schädigung infolge der Wechselwirkung der Einflußfaktoren offensichtlich darstellt.

### Literatur

[1] Schwedler, A.: Methoden zur Bestimmung der Schadensgrenzen an getriebetechnischen Bau-

gruppen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Studie 1975 (unveröffentlicht).

- [2] Müller, J.: Aktuelle getriebetechnische Forschungsaufgaben. Maschinenbautechnik 23 (1974) H. 7, S. 324—327.
- [3] Grewatsch, R.: Untersuchungen zur Bestimmung der Schädigungsgrenzen von Welle-Nabe-Verbindungen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Studie 1977 (unveröffentlicht).
- [4] Pahl, E. J.; Bark, R.: Wege zur Schadensverhütung im Maschinenbaubetrieb. ALLIANZ-Versicherungsgesellschaft München und Berlin 1964.
- [5] Schatt, W.: Einführung in die Werkstoffwissenschaften. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1972.
- [6] TGL 0-5465 Keilwellen- und Keilnabenprofile, parallelflankig, Toleranzfelder. Ausg. v. März 1971 A 1731

## Neue Erkenntnisse bei der Ermittlung des Schädigungszustands der Zylinder-Kolben-Gruppe von Dieselmotoren

Ing. W. Krause, KDT, Ing.-Büro für vorbeugende Instandhaltung beim Kombinat für Landtechnische Instandhaltung Dresden

Die Betriebstauglichkeit des Dieselmotors wird maßgebend durch den Zustand der Zylinder-Kolben-Gruppe bestimmt. Nach Stibbe [1] entfallen rd. 50% der Ausfallursachen von Motoren auf die Zylinder-Kolben-Gruppe. Zieht man weiterhin in Betracht, daß im Bereich der Landtechnik der DDR etwa jeder zehnte bis zwanzigste Dieselmotor aufgrund fehlender Bewertungskriterien ungerechtfertigt ausgetauscht und der industriellen Instandsetzung zugeführt wird, so zeigt sich, welche Bedeutung der Ermittlung aussagekräftiger Diagnoseparameter für die Zylinder-Kolben-Gruppe beizumessen ist.

Die derzeit in der Praxis vorbereiteten Diagnoseverfahren zur Bestimmung des Zustands der Zylinder-Kolben-Gruppe ermöglichen vorwiegend die Ermittlung der Brennraumdichtheit. Am häufigsten werden die Kompressionsdruckmessung und die Durchblasmengenmessung angewendet.

Zunehmend setzt sich auch die Messung des Luftdurchsatzes durch den mit Druckluft beaufschlagten Brennraum durch. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, daß eine Ortung der Undichtheiten anhand des Ausströmeräusches oder eventueller Blasenbildung im Kühlwasser bzw. an mit Flüssigkeit benetzten Oberflächen erfolgen kann.

Der Nachteil der genannten Verfahren besteht in dem großen Meßfehler, der durch unterschiedliche Abdichtwirkung der Kolbenringe hervorgerufen wird. Bestimmend für die Abdichtwirkung der freibeweglichen Kolbenringe sind u. a. der momentane Versatz der Kolbenringstöße zueinander und die momentane Lage der Kolbenringstöße zur Berührungslinie zwischen Kolbenschaft und Zylindergleitbuchse. Untersuchungen von Wohllebe [2] und Stibbe [1] zeigen, daß unter ungünstigen Bedingungen der Einfluß der Kolbenringstoßstellungen auf die Brennraumdichtheit größer sein kann, als die Änderung der mittleren Brennraumdichtheit zwischen Neuzustand und Erreichen der Schadensgrenze. Bild 1 soll diesen Sachverhalt anhand der Kompressionsdruckmessung verdeutlichen.

Die\* anfangs genannten Verfahren sollen deshalb nur angewendet werden, um Schäden an Einzelteilen der Zylinder-Kolben-Gruppe frühzeitig erkennen sowie abstellen zu können und somit der beschleunigten Abnutzung und Frühausfällen vorzubeugen.

Speziell zur Fehlersuche im Rahmen einer Schnellprüfung wurden auch durch Messung des Anlasserstromverlaufs und mit der Methode der Zylinderabschaltung erfolgversprechende Ergebnisse erzielt.

Bei der Anlasserstrommessung nutzt man den proportionalen Zusammenhang zwischen Anlasserstrom und Drehmoment der Kurbelwelle sowie dessen Abhängigkeit vom Kompressionsdruck aus. Der Anlasserstromverlauf wird mit Hilfe eines speziellen Oszilloskops aufgezeich-

net, wobei unterschiedliche Stromamplituden auf Undichtheiten einzelner Brennräume hinweisen.

Ebenso können durch die gleichzeitige Messung von Rauchdichte und Vollaftbeschleunigung des Motors (nacheinander erfolgende Abschaltung einzelner Zylinder) aus dem Vergleich der erhaltenen Meßwerte Schlüsse auf Schäden am Motor gezogen werden.

Soweit durch äußere Einflüsse, wie Pflege, Einstell- und Montagefehler, kein Schaden an Einzelteilen der Zylinder-Kolben-Gruppe hervorgerufen wurde, bestimmt meist der auf den gleichzeitig verbrauchten Kraftstoff bezogene relative Ölverbrauch die Aussonderungsgrenze für die Zylinder-Kolben-Gruppe. Wohllebe [2] und Stibbe [1] haben nachgewiesen, daß der relative Ölverbrauch in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer progressiv zunimmt und im Normalfall die Aussonderungsgrenze für die Zylinder-Kolben-Gruppe bestimmt. Als Schadensgrenzwert wird auf der Grundlage ökonomischer Betrachtungen ein relativer Ölverbrauch von 3 bis 5% angegeben.

Problematisch ist in diesem Zusammenhang, daß der relative Ölverbrauch den Meßwert einer Langzeitmessung darstellt, die permanent während der gesamten Nutzungsdauer erfolgt. Der Einfluß unterschiedlicher Kolbenringstoßstellungen, der bei den Dichtheitsprüfverfahren als Fehlergröße auftrat, wird jedoch dadurch eliminiert.

Erfahrungsgemäß stehen zur Beurteilung des Dieselmotors nicht in jedem Fall zuverlässige Angaben über den relativen Ölverbrauch zur Verfügung.

Deshalb sollte ein Diagnoseverfahren eingesetzt werden, das ohne Motordemontage hinreichend genaue Auskunft über den Schädigungszustand der Zylinder-Kolben-Gruppe gibt. Eine wesentliche Forderung an ein derartiges Diagnoseverfahren ist die Ausschaltung unterschiedlicher Kolbenringstoßstellungen als Fehlergröße.

Säblik [3] schlägt vor, das axiale Spiel der Kolbenringe als repräsentative Verschleißkenngröße der Zylinder-Kolben-Gruppe in-

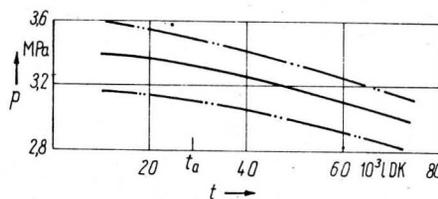


Bild 1. Abhängigkeit des Kompressionsdrucks von der Nutzungsdauer nach [1] mit relativem Meßfehler nach [2] beim Motor 4 VD 14,5/12-1 SRW (Drehzahl  $n = 500$  U/min);  $t_a$  ökonomisch begründete Aussonderungsgrenze  
— Mittelwert  
- - - Fehlergrenzen

Bild 2. Grundprinzip der indirekten Axialspielmessung der Kolbenringe

