

## Radialspiel-Diagnose

Systematische Schädigungsanalysen [4] weisen an erster Stelle das Spiel in den Lagern der Geradstirnwelle 2 und an zweiter Stelle das Lagerspiel in den Wälzlagern der Flanschswelle 5 als häufigste Ausfallursache nach. Weiterhin ließen sich Abnutzungen an der Verzahnung (Verschleißerscheinungen, Pittings, Brüche infolge zwischengequetschter Bruchteile) und Gehäusebeschädigungen als Nachfolgeschäden unzulässig hoher Spiele sowie schadhafter Einzelteile der Wälzlager (zerstörte Wälzkörper, Käfige, Laufringe) herausstellen.

Entsprechend den möglichen Bedingungen für nicht demontierte, d. h. in der Maschine eingebaute Portalgetriebe fanden die in den Bildern 6 und 7 dargestellten Anordnungen Einsatz, wobei die Enden der Wellen 2 und 5 die definierten Diagnosekräfte aufnahmen. Eine Fehlerrechnung wies nach, daß sich mit vorgesehener Meßtechnik – beim Vorliegen einer Abnutzung in der Größenordnung der Aussonderungsgrenze – die Meßunsicherheit innerhalb erforderlicher Grenzwerte halten ließ. Als Aussonderungsgrenze fanden Werte gemäß den Empfehlungen nach [8] Anwendung.

Die Radialspielwerte  $S_{r1}$  und  $S_{r2}$  der Geradstirnwelle 2 lassen sich mit Hilfe der folgenden Beziehungen finden (s. Bild 6):

$$S_{r1} = a_G \frac{x_{r1}}{1 + a_G}; S_{r2} = a_G \frac{x_{r2}}{1}$$

wobei sich die Meßwerte  $x_{r1}$  und  $x_{r2}$  als Hubgrößen nach Aufbringen entgegengesetzt

gerichteter, aber gleichgroßer Diagnosekraft  $F_D = \pm 400 \text{ N}$  bestimmen.

Für die beiden Extremlagen der Flanschswelle 5 ermittelt sich der Meßwert  $x_{r1}$  als Hubgröße am Felgenhorn 4 im Abstand  $l_{11}$  von Achsmittle der Flanschswelle. Die eine Extremlage stellt sich durch das Eigengewicht der Maschine in ihrer Gebrauchslage und die andere nach Anheben der betreffenden Maschine durch das Eigengewicht des kompletten Rades ein. Unter Vernachlässigung evtl. elastischer Verformungen bestimmen sich die beiden Lagerspiele  $S_{r1}$  und  $S_{r2}$  als Summe nach der Beziehung (s. Bild 7):

$$S_{r1} + S_{r2} = x_{r1} \frac{a_F}{l_{11}}$$

für  $l_{11} \gg S_{r1} + S_{r2} \ll a_F$ .

## 4. Zusammenfassung

Mit Hilfe der Spielmessung ist es möglich, den Zustand getriebetechnischer Antriebsbaugruppen mit geringem Aufwand demontagelos zu diagnostizieren, wenn ihr Aufbau die erforderlichen Bedingungen zur Durchführung der notwendigen Meßtechnologie und zum Einhalten vorgegebener Meßunsicherheit gewährleistet sowie die Befunde bewertet werden können. Erfahrungen mit einstufigen Rädergetrieben – dargelegt am Beispiel der Portalgetriebe von Halmguterntemaschinen – bestätigen diese Aussage. Voraussetzung einer aussagekräftigen Diagnose ist jedoch, daß mit Hilfe systematischer Schädigungsanalysen solche Kenngrößen als Diagnoseparameter bestimmt werden, die

eine eindeutige Zustandseinschätzung der Baugruppe oder miteinander gepaarter Bauteile garantieren.

## Literatur

- [1] Müller, J.: Leitblatt zum Wirkmechanismus der Schädigung. Maschinenbautechnik, Berlin 29 (1980) 4, S. 156–157.
- [2] Müller, J.: Schädigungsanalyse in der Antriebstechnik. Maschinenbautechnik, Berlin 27 (1978) 10, S. 437–438.
- [3] Troppens, D.: Beitrag zur systematischen Entwicklung von Verfahren der Technischen Diagnostik und von Diagnoseeinrichtungen für die Landtechnik. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation B 1976.
- [4] Müller, J.; Troppens, D.: Diagnoseverfahren für getriebetechnische und hydraulische Baugruppen, Diagnoseverfahren Rädergetriebe – Verdrehspieldiagnose. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Forschungsbericht 1980 (unveröffentlicht).
- [5] Müller, J.; Troppens, D.: Diagnoseverfahren für getriebetechnische Baugruppen, Verdrehspieldiagnose – Rädergetriebe. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Forschungsbericht 1982 (unveröffentlicht).
- [6] Müller, J.; Troppens, D.; Koebbel, H.: Anordnung zur Verdrehspielaufzeichnung an Rädergetrieben. Wirtschaftspatent 209 259 (gemäß Erfindungsanmeldung WG 01B/2369981) vom 25. April 1984.
- [7] Zirpke, K.: Zahnräder. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1978.
- [8] Eschmann, P.: Das Leistungsvermögen der Wälzlager. Berlin – Göttingen – Heidelberg: Springer-Verlag 1964. A 3989

# Einrichtung zum Messen der Dicke von Kettenradzähnen

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

## 1. Situation

Viele genutzte Kettenräder werden gegenwärtig in der landtechnischen Instandhaltung zu früh oder zu spät ausgesondert. In jedem Fall sind dadurch volkswirtschaftliche Verluste zu verzeichnen, und zwar einerseits wegen unzureichender Nutzung der Kettenräder und andererseits wegen zusätzlicher Schädigung der Rollenketten, die beim Zusammenarbeiten mit übermäßig geschädigten Kettenrädern zu erwarten ist. Diese nicht unbedeutenden Verluste lassen sich vermeiden, wenn während der Instandsetzung der Rollenkettengetriebe und vor der Entscheidung über Aussondern oder Nichtaussondern der Kettenräder ihr realer Schädigungsstatus bestimmt wird.

Die Kettenräder eines Rollenkettengetriebes [1 bis 4] sind einer Reihe von Schädigungen ausgesetzt. Wegen der dominierenden Rolle der Schädigung in der Verzahnung soll in diesem Beitrag auf das Erfassen des Schädigungsstatus des Verzahnungsprofils (Zahndicke) eingegangen werden.

Wenn die gegenwärtig praktizierten Aussonderungsgrenzen auch auf empirischen Festlegungen beruhen und damit der optimale Zeitpunkt für das Aussondern noch offen ist,

gewährleistet ihr Verwenden in Verbindung mit geeigneter Meßtechnik zumindest ein quantifiziert begründetes Aussondern. Damit lassen sich Fehleinschätzungen gegenüber dem bisher praktizierten subjektiven Beurteilen des Schädigungsstatus vermeiden und unbegründeter überhöhter Ersatzteilbedarf beachtlich vermindern.

## 2. Meßtechnik

In den Bildern 1 und 2 ist ein stationäres Meßgerät für Kettenräder dargestellt, mit dem die Zahndicke sowohl für ein vorgebares Zahnbreitenniveau als auch für ein Zahnhöhenniveau bestimmt werden kann. Auch für punktweises Ermitteln der geometrischen Gestalt des Zahnprofils ist das Gerät geeignet, wenngleich für serienmäßiges Vermessen des Verlaufs der Zahnflanke – z. B. für Kontrollmessung und Qualitätsnachweis während der Serienfertigung – eine kontinuierlich arbeitende, die Abweichung vom Sollprofil anhand eines Meßschiebes ausweisende Einrichtung [5] als geeigneter zu empfehlen ist.

Das Gerät besteht aus einem in x-, y- und z-Richtung fein verstellbaren Schlitten 1, der auf einem in x-Richtung verschiebbaren Sta-

tiv 2 angeordnet ist. Der Schlitten 1 trägt eine optische Zahndickenmeßschraube 3, deren Taster 4 eine spezielle Gestalt aufweisen oder als Kugeltaster ausgebildet sind (Bild 2), so daß auch abgenutzte – also konkav gekrümmte Flanken – gemessen werden können. Die Meßunsicherheit beim Erfassen der Zahndicke im Teilkreis ist mit  $\pm 0,015 \text{ mm}$  anzusetzen.

## 3. Zusammenfassung

Die Forderung nach hoher Materialökonomie getriebetechnischer Baugruppen und ihrer Bauteile ist mit dem quantifizierten Bestimmen ihres Schädigungsstatus vor dem Aussondern verbunden.

Die vorgestellte Einrichtung (Bild 1) leistet hierzu einen Beitrag und ermöglicht unter Verwenden handelsüblicher Meßschrauben das Bestimmen der Zahndicke sowohl von neuen als auch von genutzten Kettenrädern. Die Fertigung der Einrichtung ist von interessierten Nutzern im werkseigenen Rationalisierungsmittelbau möglich. Fertigungsunterlagen [6, 7] sind von der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, DDR - 2500 Rostock, Satower Str., PSF 27–15, beziehbar.

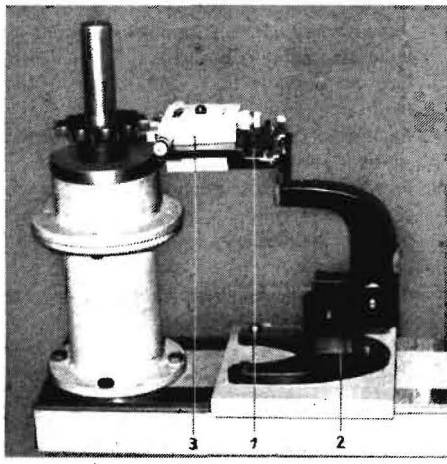


Bild 1. Ansicht der kompletten Zahndickenmeßeinrichtung (Funktionsmuster, bei dem ein Mikroskopstativ verwendet wurde)

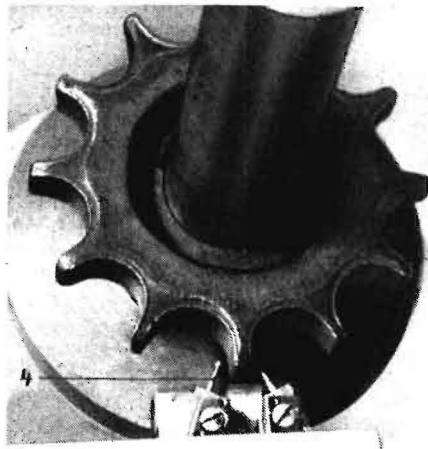


Bild 2. Anordnung der Taster

## Literatur

- [1] Müller, J.; Klammert, A.: Schadensanalyse von Rollenkettengetrieben. Maschinenbautechnik, Berlin 26 (1977) 12, S. 559–563.
- [2] Schwedler, A.; Müller, J.: Zum Wirkungsmechanismus der Schädigung an Rollenkettengetrieben. agrartechnik, Berlin 27 (1977) 9, S. 400–402.
- [3] Müller, J.; Grewatsch, R.: Schädigungsanalyse von Profilverbindungen. Maschinenbautechnik, Berlin 28 (1979) 4, S. 157–159.
- [4] Müller, J.: Arbeitsanleitung Rollenkettengetriebe. Landtechnische Informationen, Leipzig (1978) 6, Beilage.
- [5] Einrichtung zum Messen der Abweichung von Kettenradzahnflanken. WP G 01 B/247522/7, 1983.
- [6] Zahndickenmeßeinrichtung. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, NV 90/9/83.
- [7] Zahndickenmeßeinrichtung. WP G 01 B/245874, 1983.

A 4031

# Ein Verfahren zum Bestimmen des Ausfallverhaltens aus kompletten und unvollständigen weibullverteilten Stichproben

Dr. sc. oec. B. Berten, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Sozialistische Betriebswirtschaft  
 Dr.-Ing. D. Grey, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik  
 Dipl.-Ing. W. Rohr, VEB Kreisbetrieb für Landtechnik Parchim

## Verwendete Formelzeichen

a, b, c, d,	betrachtetes Schadenssortiment
e	
DN	Testgröße des Kolmogorow-Smirnow-Testes
EP	Schätzgenauigkeit des Verteilungsparameters
i	Laufindex der Ausfälle
j	Laufindex der vorbeugenden Instandsetzungen
K	Anzahl der Ausfälle
M	Anzahl der betrachteten Schäden
m	Laufindex der betrachteten Schäden
N	Stichprobenumfang
$N_s$	Anzahl der Objekte, die das Betriebsdauerintervall $T_s$ ausfallfrei errichten
$N_j$	Anzahl der in die Stichprobengewinnung einbezogenen Baugruppen
Q	Anzahl der in die Stichprobengewinnung einbezogenen Baugruppen
q	Laufindex der in die Stichprobengewinnung einbezogenen Baugruppen
S	Anzahl der vorbeugenden Instandsetzungen (Stichprobentyp)
s	Zählindex der an einer Baugruppe q auftretenden vorbeugenden Instandsetzungen eines zu erwartenden Schadens
T	Betriebsdauerintervall
$T^*$	vorgegebenes Betriebsdauerintervall bis zum Abbruch der Stichprobe
$T_j$	Betriebsdauerintervall vorbeugender Instandsetzungen
$T_s$	Betriebsdauerintervall der letzten vorbeugenden Instandsetzung
$T_{m, q, s}$	s-tes Betriebsdauerintervall bis zur vorbeugenden Instandsetzung des zu erwartenden Schadens m an der Baugruppe q
t	Betriebsdauer
$t_j$	Betriebsdauer bis zur vorbeugenden Instandsetzung j
$t_{m, q, k}$	Betriebsdauer bis zur k-ten wiederherstellenden Instandsetzung des an der Baugruppe q eingetretenen Schadens k
$t_{m, q, s}$	Betriebsdauer bis zur s-ten vorbeugenden Instandsetzung des an der Bau-

$X_i$	gruppe q zu erwartenden Schadens m Grenznutzungsdauer bis zum Eintritt eines betrachteten Schadens i
$x_i$	Betriebsdauer bis zur wiederherstellenden Instandsetzung i
$X_k$	Grenznutzungsdauer bis zum Eintritt des letzten Schadens innerhalb von $T^*$
$X_{m, q, k}$	Grenznutzungsdauer bis zum k-ten Eintritt des an der Baugruppe q auftretenden Schadens m
$\alpha, \beta, \eta$	Parameter der Weibullverteilung

## 1. Problemstellung

In Anbetracht der zunehmenden Forderung nach einer nachweisbaren Verbesserung der Qualität neuer und instand gesetzter technischer Arbeitsmittel ergibt sich für die auf diesen Gebieten tätigen Einrichtungen die Notwendigkeit, die vorhandene Erzeugnisqualität und die Wirksamkeit qualitätsverbessernder Maßnahmen durch Zuverlässigkeitsanalysen nachzuweisen.

In diesem Zusammenhang erlangt die Ermittlung des Ausfallverhaltens als wesentliches Qualitätsmerkmal besondere Bedeutung. Im nachfolgenden Beitrag wird ein Verfahren zur Bestimmung des Ausfallverhaltens vorgestellt, das im Vergleich zu bisher praktizierten Methoden ein rationelles und zeitsparendes Gewinnen und Auswerten des Datenmaterials ermöglicht.

Zahlreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß das Ausfallverhalten von Einzelteilen, Baugruppen und Maschinen in vielen Fällen durch eine Weibullverteilung beschrieben werden kann [1, 2]. Hieraus resultiert das breite Anwendungsgebiet dieser Verteilung bei der Erarbeitung mathematischer Modelle zur Organisation und Planung von Instandsetzungsprozessen.

Die Genauigkeit der Modellergebnisse wird

wesentlich von der Exaktheit der Primärdaten und von der Genauigkeit der statistischen Ermittlung des Ausfallverhaltens bestimmt.

Infolge begrenzter Untersuchungszeiträume, geringer Anzahl von Untersuchungsobjekten, Durchführung vorbeugender Instandsetzungsmaßnahmen sowie Besonderheiten bei der Datenerfassung liegen die Primärdaten häufig in Form einfach oder mehrfach unvollständiger Stichproben vor.

Der häufigste Grund für die Verwendung unvollständiger Stichproben liegt darin, daß der Untersuchungszeitraum i. allg. begrenzt ist. Einfach unvollständige Stichproben ergeben sich dann, wenn die Beobachtung des Ausfallverhaltens entweder zu einem vorgegebenen Zeitpunkt  $T^*$  der Betriebsdauer (Typ I) oder nach der Anzahl  $K < N$  von Ausfällen (Typ II) abgeschlossen wird.

Von den restlichen (nicht gemessenen)  $N - K$  Grenznutzungsdauern ist bekannt, daß sie größer als  $T^*$  bzw.  $X_k$  sind. Diese Information wird in den statistischen Analysen unvollständiger Stichproben zur Bestimmung des Ausfallverhaltens ebenfalls genutzt.

Nachfolgend soll die Anwendung einer starr periodischen Instandhaltungsmethode mit vollständiger Erneuerung des Objekts im Schadensfall erläutert werden (Bild 1).

Unter den genannten Voraussetzungen vollzieht sich die Ausfallanalyse eines Objekts über einen entsprechend langen Zeitraum  $T^*$  analog der Analyse von  $N$  Objekten.

Bei vorliegenden Instandsetzungsmaßnahmen sind neben  $X_i$  ( $i = 1 \dots 4$ ) jedoch alle vorbeugenden Instandsetzungsintervalle  $T_j$  ( $j = 1 \dots 5$ ), gemessen in Betriebsdauereinheiten, als vorzeitiger Abschluß der Grenznutzungsdauerbeobachtung zu behandeln.