

# Möglichkeiten und Grenzen für die Diagnose von einstufigen Zahnradgetrieben mit Hilfe von Spielmessungen

Prof. Dr. sc. techn. J. Müller, KDT/Dozent Dr. sc. techn. D. Troppens, KDT  
Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

## Verwendete Formelzeichen

(Positionsangaben s. Bild 4)

$a_G$	mittlerer Abstand der Wälzlager der Geradstirnradwelle 2 im Portalgetriebe	$j_{iWA}$	maximal zulässiger Wert infolge Abnutzung (z. B. $j_{iWA} \approx f_{iWA} = 0,1 m_w$ ; $m_w$ Modul der Verzahnung der Welle-Nabe-Verbindung 8)	$\Delta_s$	Hub an Meßeinrichtung zur Verdrehspielmessung
$a_f$	mittlerer Abstand der Wälzlager der Flanschswelle 5 im Portalgetriebe	$l$	Abstand des Aufsetzpunktes der Meßuhr auf den Wellenstumpf der Geradstirnradwelle 2 vom Getriebegehäuse	$\varphi_i$	Flankenspielwinkel einer Zahnradpaarung; beim Portalgetriebe zwischen Geradstirnradwelle 2 und Geradstirnrad 7
$d_o$	Teilkreisdurchmesser der Verzahnung der Geradstirnradwelle 2	$l$	Abstand des Aufsetzpunktes der Meßuhr auf dem Felgenhorn von Achsmitte der Flanschswelle 5	$\varphi_{in}$	Anteile im Flankenspielwinkel durch die Paarung n
$d_{ow}$	Teilkreisdurchmesser der Verzahnung in der Welle-Nabe-Verbindung 8	$l_{ii}$	Abstand des Aufsetzpunktes der Meßuhr auf dem Felgenhorn von Achsmitte der Flanschswelle 5	$\varphi_{if}$	Anteil im Flankenspielwinkel infolge radialen Lagerspiels $S$ , ( $\varphi_{if}$ bei Wirkung von $S_f$ ; $\varphi_{ifA}$ bei Wirkung von $S_{fA}$ )
$F_D$	Diagnosekraft bei der Radialspielbestimmung	$M_i$	Diagnosedrehmoment bei der Verdrehspielmessung	$\varphi_{iz}$	Anteil im Flankenspielwinkel infolge Zahndickenabweichung ( $f_{z11} + f_{z12}$ ); ( $\varphi_{izf}$ infolge Zahndickenabmaß $E_{z11} + E_{z12}$ ; $\varphi_{izA}$ infolge maximal zulässiger Abweichung der Zahndicke)
$f_{z1}$	Achsabstandsabweichung im Teilkreis der Geradstirnräder	$R_H$	Abstand der Hubmeßeinrichtung vom Mittelpunkt der Geradstirnradwelle 2 bei der Verdrehspielmessung	$\varphi_{iw}$	Flankenspielwinkel der Welle-Nabe-Verbindung 8
$f_{z11}$	Zahndickenabweichung im Teilkreis an der Geradstirnradwelle 2	$S_n$	Spiele infolge der Abmaße ( $S_{fr}$ , gemäß Fertigungstoleranz) bzw. vergrößert durch Abnutzung in der Paarung n (z. B. $S_{r1}, S_{r2}, j_{iw}, f_{z1}$ ), $S_{nA}$ maximal zulässiges Spiel in der Paarung n (Aussonderungsgrenzwert)	$\Phi$	an der Geradstirnradwelle 2 gemessenes Verdrehspiel des Portalgetriebes
$f_{z11}$	am Geradstirnrad 7	$S_{r1}, S_{r2}$	radiales Lagerspiel der Geradstirnradwelle 2 am Lager 1 bzw. Lager 2	$\Phi_f$	beim Wirken der Abmaße E in den Paarungen
$f_{z12}$	= $E_{z1}$ Zahndickenabmaß (gemäß Fertigungstoleranz)	$S_{r1}, S_{r2}$	radiales Lagerspiel der Flanschswelle am Lager I bzw. Lager II	$\Phi_A$	Aussonderungsgrenzwert beim untersuchten Portalgetriebe
$f_{z1A}$	hervorgerufen durch maximal zulässige Abnutzung an den Zahnflanken der Geradstirnräder (z. B. $f_{z1A} \approx 0,1 m$ ; $m$ Modul der Verzahnung)	$x_{r1}, x_{r2}$	Auslenkungen infolge der Diagnosekräfte an der Geradstirnradwelle 2 (Meßwerte)	$\Psi$	laufender Winkel der Drehung z. B. der Geradstirnradwelle 2
$i$	Übersetzung	$x_{r1}$	Auslenkung des Felgenhornpunktes nach Anheben der Maschine (Meßwert)	Indizes	
$j_i$	Verdrehflankenspiel einer Zahnradpaarung (beim Portalgetriebe zwischen Geradstirnradwelle 2 und Geradstirnrad 7)	$\alpha$	Betriebseingriffswinkel	F	maximal zulässiger Wert aufgrund zulässiger Fertigungstoleranz
$j_{iw}$	Verdrehflankenspiel in der Welle-Nabe-Verbindung 8			A	Aussonderungsgrenze
$j_{iWF}$	$\approx 0$ nach der Fertigung (bzw. $E_{iWF}/2 \approx 0,35$ mm)				

## 1. Einleitung

Von den bekannten Verfahren zur Diagnose von Rädergetrieben zeichnen sich diejenigen, die Spielgrößen als Diagnoseparameter verwenden, durch geringen Aufwand hinsichtlich der Gerätetechnik und durch niedrige Anforderungen an die Qualifizierung des Diagnosepersonals aus. Bei einfachen Zahnradgetrieben können Spielgrößen an An- und Abtriebswelle bewertbare Informationen über den Zustand bedeutsamer Bauteile liefern, so daß geeignete Instandsetzungsmaßnahmen ableitbar sind.

Nachfolgend soll am Beispiel eines einstufigen Rädergetriebes – des Portalgetriebes in den Halmgüterntemaschinen E 512 und E 280 – gezeigt werden, unter welchen Bedingungen verwertbare Aussagen abgeleitet werden können, beispielsweise für den spezialisierten Instandsetzungsbetrieb während der Kampagneinstandsetzung.

Der erste Schritt zur Prüfung der Anwendbarkeit der Spielmessung besteht in der systematischen Schädigungsanalyse [1, 2] einschließlich der Ermittlung der Abhängigkeit zwischen fertigungs- sowie abnutzungsbedingten Lage- und Formabweichungen der betreffenden Bauteile und gemessenen Spielgrößen (Diagnosekennlinie) [3, 4]. Weiterhin gilt es dann – unter Berücksichtigung der gefundenen Abhängigkeit – die Grenzwerte für die Bewertung markanter Schädigungszustände festzulegen.

Zur Entwicklung von Meßeinrichtungen für Spielgrößen wurden systematische Schädigungsanalysen durchgeführt [4, 5], deren Ergebnisse in den Aussagen dieses Beitrags verarbeitet werden.

## 2. Einfache Einrichtungen zur Spielmessung

Die wirkenden Kräfte – wie Gewichtskräfte, Fliehkräfte, Kohäsions- und Adhäsionskräfte von Schmiermitteln – bestimmen die gegenseitige Lage miteinander über Spielpassung gepaarter Bauteile. Daher sind bei einfachen Einrichtungen zur Spielmessung die miteinander gepaarten Bauteile mit Hilfe definierter Kraftwirkungen in ihre extremen relativen Lagen zu bringen. Der hierbei zurückgelegte Hub (Weg, Drehwinkel) ist mit einem einfachen Längen- oder Winkelmeßgerät zu erfassen.

### Radiales Lagerspiel

eines Gleit- oder Wälzlagers läßt sich dadurch ermitteln, daß die betreffende Welle in ihren Lagerbohrungen durch wechselsinnig wirkende Kräfte zur Anlage gebracht wird [5, 6]. Sind mehrere Bauteile an der Lagerung einer Welle beteiligt – wie beispielsweise bei einer Lagerung mit Wälzlager –, dann ist zu gewährleisten, daß sämtliche Bauteile eine eindeutige Lage einnehmen und Schmierfilme extrem dünn zusammengepreßt werden, aber die elastischen Verformungen der Bauteile gegenüber der Hubgröße – der spielbedingten möglichen Relativbewegung – vernachlässigbar klein bleiben.

Diese Bedingungen müssen reproduzierbar und bei zu vergleichenden Diagnoseobjekten gleich sein. Das setzt voraus, daß die erforderliche Diagnosekraft in gleicher Größe und in gleichen Richtungen aufbringbar ist.

### Axiales Lagerspiel

wird in analoger Weise wie das radiale bestimmbar, indem die gepaarten Bauteile in ihre extremen relativen Axiallagen gebracht werden.

### Verdrehspiel

zweier miteinander gepaarter Bauteile (z. B. in einer Welle-Nabe-Verbindung) läßt sich dadurch erfassen, daß eines dieser Bauteile (z. B. die Nabe) gegenüber dem gemeinsamen dritten Bauteil (z. B. Gehäuse), in dem beide gelagert sind, eine definierte Lage erhält (z. B. durch Festbremsen) und das noch drehbare Bauteil (z. B. Welle) durch Aufbringen wechselsinnig wirkender Drehmomente in die möglichen Extremstellungen gebracht wird. Analog wie für das Erfassen des radialen Lagerspiels muß das aufzubringende Drehmoment (Diagnosekraft adäquat) Einflüsse von Schmiermittelschichten, Reibung oder Gewichtskraft zu überwinden gestatten, ohne daß dabei die Verformung der beteiligten Bauteile vernachlässigbare Grenzen überschreitet.

Für das Messen der spielbedingten Hubgröße genügen i. allg. einfache mechanische Meßmittel (Meßuhr, Winkelmesser), die entsprechend der zulässigen Meßunsicherheit und den konstruktiven Gegebenheiten des Diagnoseobjekts auszuwählen und nach den Regeln der Fertigungsmeßtechnik anzubringen sind. In den Bildern 1 und 2 sind Varianten zur Verdrehspielmessung mit Hilfe von mechanischen Meßgeräten dargestellt [4]. Soll eine automatische Meßwertverarbeitung erfolgen oder sollen gleichzeitig mehrere Meßwerte festgehalten und über-

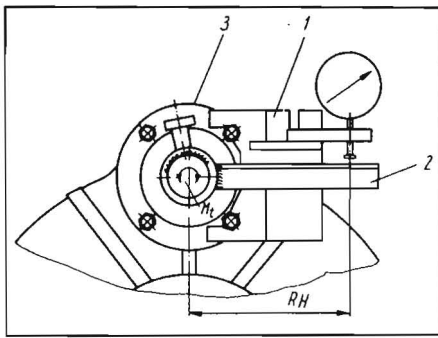


Bild 1. Verdrehspielmeßeinrichtung, bestehend aus Befestigungsplatte zur Meßuhrhalterung 1 am Getriebegehäuse 3 und Hebel zur Übertragung 2 der Verdrehung (gemessen als Hub  $\Delta s$  mit Hebelarm  $R_H$ ) bei Drehung der Welle mit Diagnosedrehmoment  $M_i$ .

sichtlich dargestellt werden, können in gleicher Weise elektromechanische oder elektrische Meßwertempfänger Anwendung finden (z. B. induktive Geber, Differentialtransformatoren, HLW-Wegaufnehmer, Wendepotentiometer, inkrementale Weg- oder Winkelgeber, Code-Lineale oder Winkelmeßscheiben u. a.). Vor allem wenn es gilt, eine größere Anzahl von Einzelwerten entsprechend den möglicherweise miteinander paarbaren Gelenkelementen (z. B. mögliche Anzahl der Zahnpaarungen einer Getriebe-stufe) zu analysieren, bieten Meßeinrichtungen mit elektrischer Meßwertverarbeitung [6] Vorteile, die hierfür i. allg. auch höhere Kosten rechtfertigen. Blockschaltbilder für derartige Diagnoseeinrichtungen sind im Bild 3 dargestellt.

### 3. Anwendungsbeispiel Portalgetriebe

Portalgetriebe kommen an Halmgütertemaschinen (Mähdrescher E 512, Feldhäcksler E 280) zum Einsatz. Ihre Anordnung im Fahrtrieb ist im Bild 4 ersichtlich. In Instandsetzungsbetrieben besteht die Aufgabe, zu entscheiden, ob und in welchem Maß Instand-

setzungsarbeiten nötig sind, um für die nächste Einsatzkampagne die Verfügbarkeit einer Maschine zu garantieren. Während der Instandsetzung der genannten Halmgütertemaschinen werden entsprechend der Instandsetzungstechnologie Schaltgetriebe 1 und Portalwellen 6 demontiert. Die Portalgetriebe 3 verbleiben in der Maschine, wenn ihr Zustand aufgrund subjektiver Überprüfungen als äußerlich nicht instandsetzungswürdig einzuschätzen ist (einfache subjektive Überprüfung ohne Demontage).

Besteht der Verdacht, daß eine Schädigung vorliegt, dann wird der Gehäusedeckel demontiert und ggf. die Geradstirnwellen 2 ausgebaut. Das ist arbeitsaufwendig und wird nicht grundsätzlich durchgeführt, obwohl eine unzulässige Schädigung an einzelnen Bauteilen vorliegen und bei weiterer Nutzung ein Nachfolgeschaden auftreten könnte. Die Diagnose der Spiele, also ihr quantitatives Bestimmen, erhöht die Sicherheit im Einschätzen des Schädigungszustands und hilft Fehleinschätzungen, die bei subjektiver Beurteilung unvermeidlich sind, sowie unnötige Montagearbeiten auszuschließen.

#### Verdrehspiel-Diagnose

Die Flanschswelle 5 (Bild 4) nimmt infolge der Gewichtskraft der Maschine eine feste Lage ein. Die Einflüsse der Spiele in den Wälzlagern, zwischen den gepaarten Zähnen der beiden geradzahnten Stirnräder 2 und 7 sowie der Welle-Nabe-Verbindung 8 zwischen Geradstirnrad 7 mit Flanschswelle 5 auf das Verdrehspiel  $\Phi$  ergeben sich für den Fall, daß die radialen Lagerspiele der Flanschswelle 5 wegen ihrer Zwangslage infolge wirkender Gewichtskraft vernachlässigbar sind, nach [7] zu

$$|\Phi| = |\varphi_i| + |\varphi_{jw} \cdot i| = |\varphi_{z1}| + |\varphi_{i1}| + |\varphi_{jw} \cdot i|,$$

wobei sich bestimmen lassen:

- Betrag des größtmöglichen Flankenspielwinkels  $|\varphi_i|$  für die Paarung Geradstirnradwelle 2 - Geradstirnrad 7
- Betrag des Flankenspielwinkels der Welle-Nabe-Verbindung 8 zwischen Flansch-

welle 5 und Geradstirnrad 7

$$\varphi_{jw} = \frac{2 \cdot j_w}{d_{ow}}$$

Der Zusammenhang zwischen den  $n$  Anteilen des Verdrehspielwinkels  $\varphi_{i1}$  ( $\varphi_{i1}$ ,  $\varphi_{z1}$ ,  $\varphi_{jw}$ ) und den einzelnen, durch Abmaße und Abnutzung bedingten Abweichungen ist für das Portalgetriebe des Mähdreschers E 512 im Bild 5 dargestellt.

Unter der Annahme, daß infolge Abnutzung in allen Paarungen  $n$  sich das Spiel von  $S_{nf}$  (maximal möglicher Wert infolge Fertigungstoleranz) auf  $S_{nA}$  (durch Aussonderungsgrenze festgelegter Wert) vergrößert, kann sich das fertigungsbedingte Verdrehspiel von  $\Phi_f$  auf seinen Aussonderungsgrenzwert  $\Phi_{Amax}$  erhöhen. Dieser Fall tritt jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht auf, wie sich mit Hilfe systematischer Schädigungsanalyse [5, 6] nachweisen ließ. Weiterhin brachte die systematische Schädigungsanalyse die Erkenntnis, daß nur in Ausnahmefällen ein meßbarer Verdrehspielwinkel  $\varphi_{jw}$  (Flankenspielwinkel) in der Welle-Nabe-Verbindung 8 auftritt, nämlich dann, wenn Flanschswelle 5 und Geradstirnradwelle 7 mit größeren Abweichungen eingebaut werden, als es die Fertigungstoleranzen zulassen (z. B. nach unzulässigem Nacharbeiten, um ein bequemes Zusammenbauen von Flanschswelle 5 und Geradstirnrad 7 zu erzielen!). Deshalb kann das resultierende Verdrehspiel bereits dann seinen Aussonderungsgrenzwert erreichen, wenn die Verzahnung der Geradstirnräder in unzulässiger Weise abgenutzt ist ( $\Phi_A = \varphi_{iA} \approx \varphi_{z1A} + \varphi_{i1f}$ ).

Unter weiterer Berücksichtigung der aus Bild 5 ablesbaren Tatsache, daß Lagerspiele  $S_{r1}$  und  $S_{r2}$  nur geringen Einfluß auf das Verdrehspiel ausüben, ergibt sich die Schlußfolgerung, daß die Spiele zwischen den beiden Stirnrädern 5 und 7 den wesentlichen Einfluß darstellen:

$$\Phi_A \approx \varphi_{z1A} = \frac{2}{d_0} (f_{st1A} + f_{st2A}).$$

Wegen der fertigungsbedingten Streuung der Verdrehspiele innerhalb der möglichen Zahnpaarungen desselben Portalgetriebes  $\varphi_i = f(\psi)$ , die sich teilweise während der Nutzung verringert, müßten die Verdrehspielwerte sämtlicher möglichen Zahnradpaarungen bei verschiedenen Winkelstellungen der Wellen  $\psi$  für das Diagnoseergebnis herangezogen werden. Bild 3 zeigt hierfür geeignete, automatisch arbeitende Diagnoseeinrichtungen [6].

Das stichprobenartige Messen der Verdrehspiele für eine eng begrenzte Anzahl von Paarungsmöglichkeiten (z. B. für drei bis acht Stellungen der Flanschswelle) kann zu falschen Diagnoseergebnissen führen. Zu beachten ist auch, daß teilweise ausgebrochene Zähne nicht unbedingt eine bemerkbare Veränderung im Verdrehspiel bewirken.

Aus diesem Grunde wird, wenn einer der Einzelwerte für das Verdrehspiel den Grenzwert  $\Phi_A$  überschreitet, die Geradstirnradwelle 2 demontiert und instand gesetzt, da die Wahrscheinlichkeit der unzulässigen Abnutzung der Verzahnung am Geradstirnrad 7 wesentlich geringer ist. Das Portalgetriebe bleibt während dieser Diagnose- und Instandsetzungsmaßnahme in der Maschine eingebaut. Die Verzahnung des Geradstirnrades wird dabei einer Sichtprüfung unterzogen.

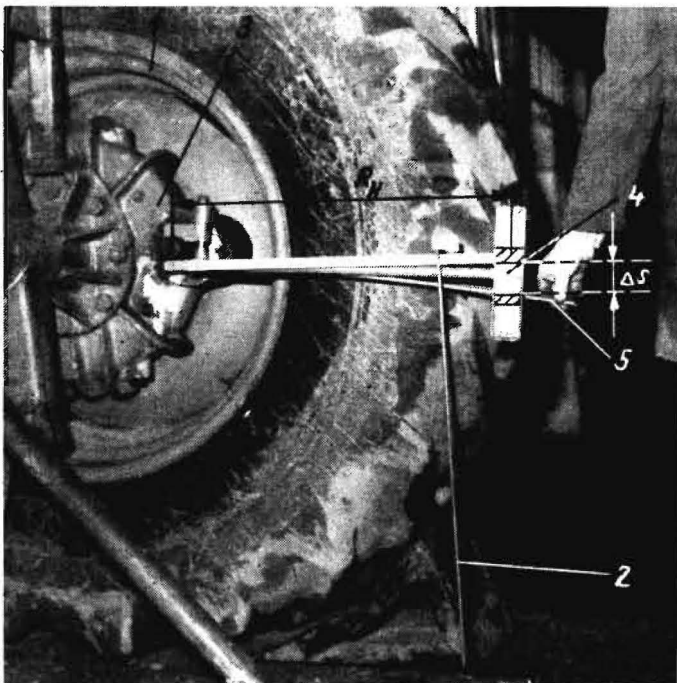
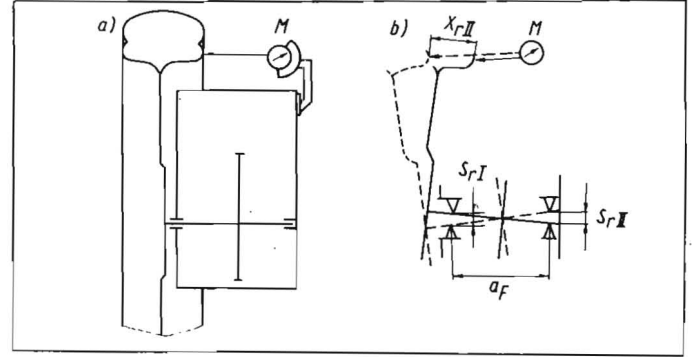
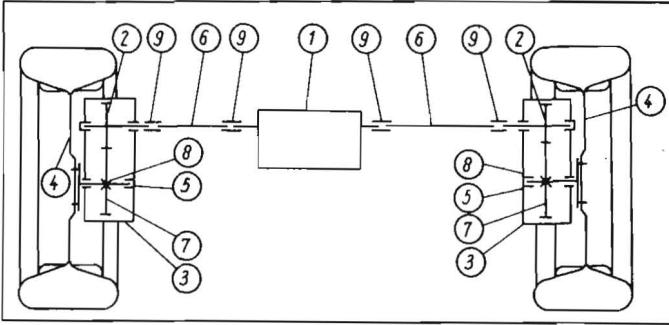
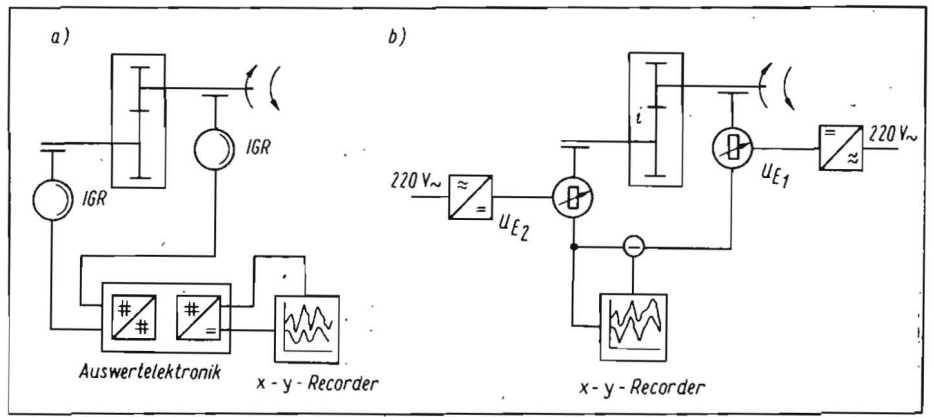


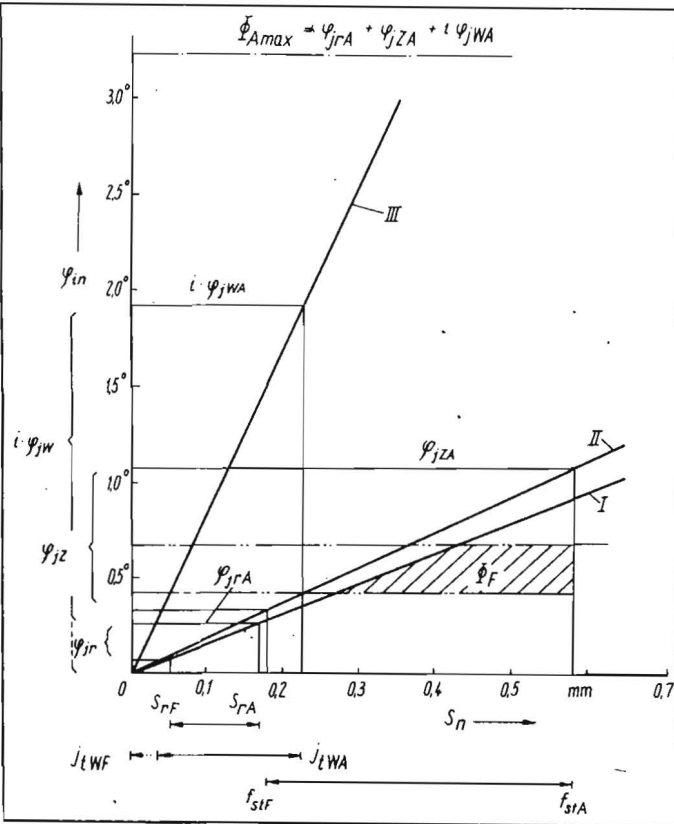
Bild 2. Verdrehspielmeßeinrichtung, Funktionsmuster des Ingenieurbüros für vorbeugende Instandhaltung Dresden am Portalgetriebe 3 eines Mähdreschers E 512; 4 Anzeigeteil für die tangentielle Auslenkung (Hub), 5 Hebel für die Momenteinleitung, 1 Rad des Mähdreschers (festgebremst), 2 Abstützhebel zur Fixierung der Ausgangsstellung

**Bild 3. Blockschaltbilder für Verdrehspiel- bzw. Drehfehlermessung mit Hilfe elektrischer Meßwertnehmer und -verarbeitung**  
 a) inkrementaler Winkelaufnehmer (IGR) und digitale Verarbeitung und Ausgabe auf Plotter in analoger Form  
 b) Wendepotentiometer und Aufzeichnung auf x-y-Recorder ( $U_{E1}$ ,  $U_{E2}$  Speisespannungen für die Potentiometer,  $U_{E1} = i \cdot U_{E2}$ )



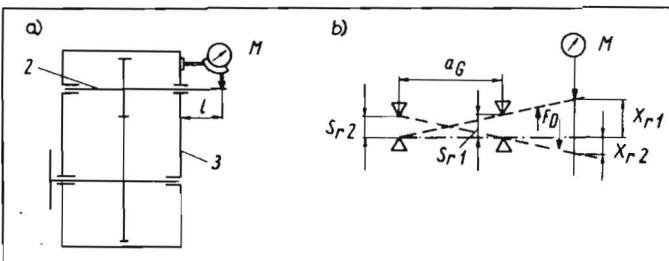
**Bild 4. Schema der Getriebeanordnung im Antrieb von Halmgutertemaschinen (E 512, E 280); 1 Schaltgetriebe, 2 Geradstirnradwalze im Portalgetriebe, 3 Portalgetriebe, 4 Antriebsradflange, 5 Flanschswelle, 6 Portalwelle, 7 Geradstirnrad, 8 Welle-Nabe-Verbindung mit Evolventenflanken zwischen Geradstirnrad 7 und Flanschswelle 5, 9 Steckhülse zur Verbindung zwischen Portalwelle und Schaltgetriebe 1 bzw. Portalgetriebe 3**

**Bild 5. Auswirkungen der veränderlichen Form- und Lageabweichungen in den Paarungen auf das Verdrehspiel  $\Phi$  an der Geradstirnradwalze 2 beim Portalgetriebe 3 des Mähdreschers E 512 (Diagnosekennlinien  $\varphi_{jn} = f(S_{r1}, S_{r2}, f_{st1}, f_{st2}, i_{jw})$ )**  
 I Verdrehspielanteil  $\varphi_{j1}$  infolge radialen Lagerspiels an Wälzlagern der Geradstirnradwalze 2 (Achsabstandsabweichung  $f$ , vernachlässigt)  
 II Verdrehspielanteil  $\varphi_{j2}$  infolge Zahndickenabweichung ( $f_{st1} + f_{st2}$ ) an der Verzahnung von Geradstirnradwalze 2 und Geradstirnrad 7  
 III Verdrehspielanteil  $i \cdot \varphi_{jw}$  infolge Verdrehflankenspiels in der Verzahnung der Welle-Nabe-Verbindung 8



**Bild 6. Schematische Darstellung der geometrischen Beziehungen zur Bestimmung der radialen Spiele der Wälzlager an der Geradstirnradwalze 2 am Portalgetriebe aus Verlagerungsmessungen;**  
 a) Anordnung der am Getriebegehäuse 3 befestigten Meßuhr M;  
 b) Darstellung der möglichen Extremlagen der Geradstirnradwalze 2 (radiale Spiele  $S_{r1}$ ,  $S_{r2}$  übertrieben vergrößert);  
 Lage der Achsmittellinie der Geradstirnradwalze:  
 - - - durch Gewichtskraft bestimmte Lage  
 - - - ausgelenkt durch die Diagnosekraft  $F_D = 400$  N

**Bild 7. Schematische Darstellung der geometrischen Beziehungen zur Bestimmung der Summe der radialen Spiele der Wälzlager ( $S_{r1} + S_{r2}$ ) der Flanschswelle 5 aus Verlagerungsmessungen der Antriebsradflange 4;**  
 a) Anordnung der am Getriebegehäuse 3 befestigten Meßuhr M;  
 b) Darstellung der möglichen Extremlagen der Flanschswelle 5 (radiale Spiele  $S_{r1}$ ,  $S_{r2}$  übertrieben vergrößert);  
 Lage der Achsmittellinie der Flanschswelle:  
 - - - beim Wirken der Abstützkraft gemäß dem Gewichtskraftanteil des Mähdreschers  
 - - - beim Wirken der Gewichtskraft des Rades (nach Anheben der Maschine)



## 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.