

Prüfstände zur Untersuchung der Haltbarkeitsdauer von Getrieben

Ing. H. Achterberg, KDT*

Um der Landwirtschaft hochleistungsfähige Maschinen zur Verfügung zu stellen und diese in der Kampagne störungsfrei im Komplex einsetzen zu können, ist eine hohe Verfügbarkeit der Maschinen notwendig. Die Verfügbarkeit wird entscheidend von der Betriebssicherheit der Baugruppen bzw. einzelner Bauteile beeinflusst.

Die Betriebssicherheit wird außer durch die vorausgegangenen Erprobungen der Industrie auch während der Einsatzprüfung in der landwirtschaftlichen Eignungsprüfung kontrolliert.

Die Zeitdauer der Einsatzprüfung bei den Feldarbeitsmaschinen ist durch den Vegetationszyklus begrenzt. Deshalb sind Haltbarkeitsuntersuchungen immer mehr unabhängig von Kampagnen und klimatischen Einflüssen in das Labor zu verlegen, um hier unter praxisnahen Bedingungen durch Simulierung entsprechender Belastungskollektive mit einem Zeitraffungsfaktor die Betriebssicherheit auf Prüfständen zu ermitteln. Im folgenden seien zwei Prüfeinrichtungen vorgestellt, mit denen Betriebsfestigkeitsuntersuchungen über 2000 h im Langzeitversuch ohne wesentliche Unterbrechungen gefahren wurden.

Laut Aufgabenstellung waren 1 Winkelgetriebe und 1 Antriebskasten mit mehreren Ausgängen zu untersuchen. Für beide Getriebe wurden Prüfstände nach dem Energiekreislaufverfahren aufgebaut. Ausschlaggebend für die Wahl des Energiekreislaufverfahrens war die bedeutende Energieeinsparung im Langzeitversuch, die gute Installationsmöglichkeit von Kontroll- und Überwachungsgeräten und der geringe Materialeinsatz. In Fachzeitschriften und Patentschriften [1/2/3/4] sind mehrfach Prüfstände nach dem Energiekreislaufverfahren beschrieben worden.

Ziel unseres Prüfstandaufbaus war es, eine Prüfeinrichtung zu schaffen, mit der eine möglichst praxisnahe Simulierung der Betriebsbelastung möglich ist.

1. Prüfstand für Winkelgetriebe

Das zu prüfende Winkelgetriebe wurde mit einem zweiten Winkelgetriebe und dem Spezial-Verspannungsgetriebe nach

* Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim (Direktor: Dr. habil. R. Gätke)

Bild 1. Prüfstand für Winkelgetriebe im Energiekreislauf mit Zusatzeinrichtung zum Aufbringen einer Schwellamplitude

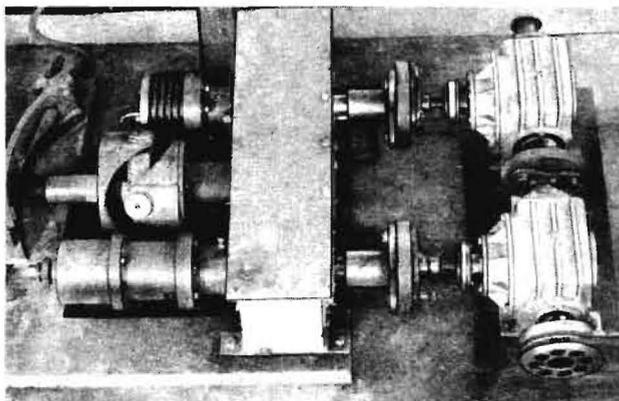


Bild 1 im Energiekreislauf aufgebaut. Als elastische Verbindungselemente zwischen den Getrieben dienten elastische Scheibengelenke. Im Spezial-Verspannungsgetriebe sind alle Arbeitselemente zur Aufbringung der Betriebsbelastung enthalten, die im folgenden einzeln erläutert werden.

1.1. Verspanneinrichtung

Als Verspanneinrichtung (Bild 2) fiel die Wahl auf eine nach dem Prinzip der schiefen Ebene arbeitende, schraubartig wirkende Einrichtung *b*. Zwischen zwei Hohlzylindern mit unterschiedlichem Durchmesser wird ein dritter Hohlzylinder axial verschoben. Alle 3 Hohlzylinder sind mit wendelartigen Keilnuten bzw. Keilen versehen, wobei die des inneren und äußeren gegenläufig eingearbeitet sind.

Durch axiales Verschieben des mittleren Hohlzylinders verdrehen sich der innere und äußere Hohlzylinder gegenläufig. Damit wird im formschlüssig verbundenen Energiekreislauf eine stufenlos einstellbare Verspannkraft ermöglicht. Die erforderliche Kraft für die axiale Verschiebung des mittleren Hohlzylinders überträgt man durch eine gesondert gelagerte Schraubenspindel.

Anstelle der Schraubenspindel ist der Einbau eines hydraulischen Arbeitsmotors möglich. Dann kann mit Hilfe eines Ölstromerzeugers, entsprechender elektronischer Steuer- und Regeleinrichtungen sowie eines Lochstreifens oder eines Magnetbandgeräts ein in der Praxis aufgenommenes Betriebsbelastungsspektrum relativ schmalbandig nachgefahren werden.

1.2. Schwellgeber

Um die Betriebsbelastung der durch Torsionsbelastung beanspruchten rotierenden Maschinenelemente ähnlich der natürlichen Belastung auf dem Prüfstand zu simulieren, wurde ein gesonderter Schwellgeber entwickelt und aufgebaut [5/6]. Die Wirkungsweise des Schwellgebers beruht auf den besonderen klimatischen Eigenschaften von Kardangelenken bei Rotation und Abwinklung von der Geraden um den Winkel α (Bild 2, c). Um diese Wirkungsweise noch zu erhöhen, den Schwellgeber unabhängig vom Prüfobjekt an den Prüfstand anzubauen und stufenlos während des Prüflaufs einstellen zu können, wurden zwei Kardangelenke mit gemeinsamem Momentanpol vereinigt.

Winkelt man die Ausgangswelle der im Bild 2 gezeigten Baugruppe *c* mit den Gelenkgabeln um 90° versetzten Schwellgeber um einen bestimmten Winkel α ab, dann verändert sich in einem geschlossenen Energiekreislauf das vorgespannte Drehmoment bei einer Umdrehung zweimal annähernd sinusförmig mit folgenden Extremwerten:

$$M_t \max \approx M_{t0} \left(1 \pm \frac{2 \tan^2 \frac{\alpha}{2}}{\Delta \varphi_0} \right)$$

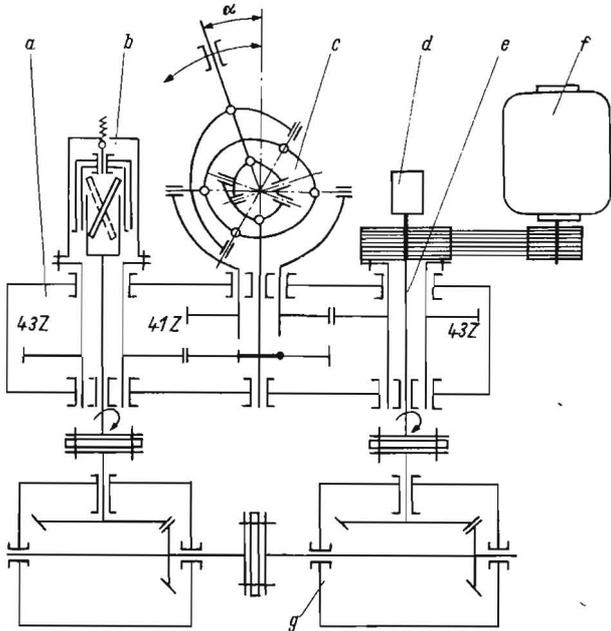
$$\min$$

Darin ist:

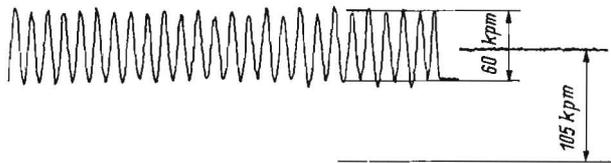
$\Delta \varphi_0$ Vorspannwinkel

Hierdurch wird eine schwellende Torsionsbelastung des Prüfobjekts um einen eingestellten Mittelwert mit stufenlos einstellbarer Amplitudenhöhe bei Rotation erreicht (Bild 3).

Die Zahnradübersetzung im Verspannungsgetriebe mit angebautem Schwellgeber ist außerdem so gewählt, daß die



2



3

Schwellamplitudenspitze bei jeder Umdrehung an einer anderen Stelle der Rotationsteile der Prüfgetriebe auftritt (s. Bild 2).

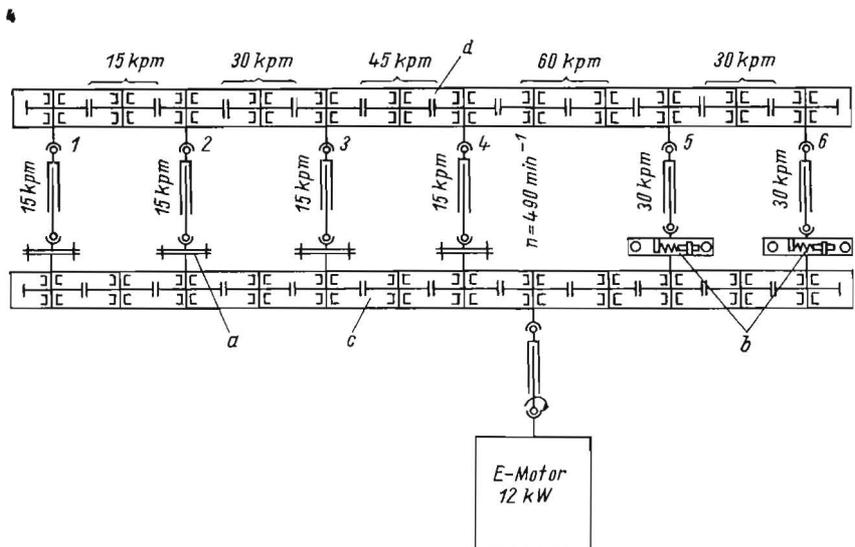
Eingestellt und in der abgewinkelten Lage gehalten wird die Ausgangswelle des Schwellgebers in radialer Richtung zur Rotationsebene über ein Zwischenlager durch eine Schraubenspindel, die eine stufenlose Einstellung während des Betriebs ermöglicht.

Anstelle der Schraubenspindel kann ebenfalls die gleiche elektrohydraulische Betätigungs- und Steuereinrichtung mit analogen Möglichkeiten wie unter 1.1. beschrieben eingesetzt werden.

Bild 2. Prinzipskizze des Prüfstands für Winkelgetriebe mit Einzelheiten des Spezial-Verspannungsgetriebes; Prüfgetriebe: Winkelgetriebe 12 097 400; a Verspannungsgetriebe, b Verspannungseinrichtung, c Schwellgeber, d Schleifring-Stromabnehmer, e Meßwelle, f Antriebs-E-Motor, g Prüfgetriebe

Bild 3. Messschieb der eingestellten Schwellenamplitude des Winkelgetriebes des KS-6; Papiervorschub 50 mm/s

Bild 4. Prinzipskizze des Prüfstands nach dem Energiekreislaufverfahren der Getriebekästen mit mehreren Abgangswellen; a Ausgleichspannscheiben mit Meßwertgeber, b Verspanneinrichtung mit Meßwertgeber, c Prüfgetriebe, d Gegenge triebe



1.3. Meßeinrichtung

Zur Simulierung repräsentativer Betriebsbelastungsprekturen auf Prüfständen sind auf jeden Fall statistisch gesicherte Meßwerte aus dem praktischen Einsatz notwendig. Aus diesen ist dann ein Belastungskollektiv im Einstufen- oder Mehrstufenprogramm zu erarbeiten.

Für die Einstellung und Kontrolle des erforderlichen Torsionsmoments und der Schwellamplitude wurde eine Innenwelle des Verspannungsgetriebes mit Dehnmeßstreifen in bekannter Vollbrückenschaltung versehen (Bild 2, e). Von dieser Meßstelle wird die Meßspannung über einen angeflanschten Schleifringübertrager und ein Meßkabel zum Verstärker und Registriergerät geführt.

2. Prüfstand für Getriebe mit mehreren Antriebswellen

Als Aufgabenstellung stand die Betriebsfestigkeitsuntersuchung eines Getriebekastens mit einer Eingangs- und sechs Ausgangswellen im Einstufenprogramm. Die Belastung der sechs Ausgangswellen mußte so erfolgen, daß die Zahnradübersetzung im Getriebekasten einer steigenden Belastung zur Eingangswelle hin entsprechend dem Eingangsdrehmoment ausgesetzt war.

Wegen der langen Laufzeit von 2 000 h und des technischen Aufwands fiel auch hierbei die Wahl auf den Energiekreislauf. Zur Schließung des Energiekreislaufs wurde ein zweiter Getriebekasten dem Prüfgetriebe gegenüber kopfstehend angeordnet (Bild 4).

Als formschlüssige Verbindungselemente fanden Kardanwellen mit angeflanschten Spannvorrichtungen Anwendung.

Um die in der Aufgabenstellung geforderte Belastung der einzelnen Ausgangswellen mit einem Drehmoment von je 15 kpm und die damit in den Getriebestufen steigende Belastung bis zur Eingangswelle von 60 kpm praxisnah zu simulieren, wurden 4 Ausgangswellen mit je 15 kpm aufeinander und die 2 anderen, der Eingangswelle gegenüberliegenden Ausgangswellen mit je 30 kpm belastet (Bild 4).

2.1. Verspanneinrichtung

Als Verspanneinrichtung für die 4 Belastungseingänge mit 15 kpm dienten einfache Flanschscheiben mit Lochkreis und Schlitz, deren Einstellung durch Verschrauben erfolgt. Für die beiden Belastungseingänge mit 30 kpm Drehmoment sind elastische Spannvorrichtungen, bestehend aus 2 gegeneinander radial gelagerten Flanschscheiben mit Schraubenspindel und zwischengeschalteter Schraubensfeder hergestellt worden (Bild 4, b).

Die beiden elastischen Spannvorrichtungen verhindern die sonst bei starrer Verbindung der Belastungseingänge durch Abwälzen der Verzahnung auftretenden, in der Praxis nicht üblichen Drehschwingungen.

2.2. Meßeinrichtung

Zur genauen Einstellung des Belastungsdrehmoments an den 6 Ausgangswellen wurden die Mitnehmergabeln der Verbindungskardanwellen mit Dehnmessstreifen in Vollbrückenschaltung versehen.

Ein umschaltbarer 6-Kanal-Trägerfrequenz-Meßverstärker KWS/6T-5 ermöglichte, alle 6 Spannkreise nacheinander einzustellen und abzustimmen.

3. Kontroll- und Überwachungseinrichtung

Um die Prüfstände rationell ohne laufende personelle Überwachung im Tag- und Nachteinsatz betreiben zu können, ist eine Kontroll- und Überwachungseinrichtung auf Temperaturmeßbasis aufgebaut worden. An jedem Getriebe wurden mehrere Temperaturmeßstellen (Thermoelemente für Öltemperatur und Gehäusetemperatur) angebracht und die Meßwerte über Motorkompensator Typ MKV/12 kurzfristig abgefragt.

Der Motorkompensator erhielt zusätzlich Maximum-Minimum-Grenzwertschaltkontakte, die über Schaltrelais bei Überschreiten der zulässigen Beharrungstemperatur den Prüfstandantrieb durch Unterbrechen der Stromzufuhr abschalten. Außerdem ist jeder E-Antriebsmotor durch angepaßten Motorschutzschalter abgesichert.

4. Auswertung und Einschätzung der Prüfstandsuntersuchung

Die beanspruchten Maschinenteile der Getriebe wurden vor der Erprobung nullvermessen und nach Absolvierung der Prüfzeit einer Rückmessung unterzogen. Zwischenzeitlich erfolgten in festgelegten Zeitabständen Sichtkontrollen während des Prüflaufs. Diese bezogen sich im besonderen auf Temperaturverlauf, Öldichtheit und visuell feststellbaren abnormalen Verschleiß an Zahnrädern, Wellen und Kugellagern.

Insbesondere zeigten sich im Anfangsstadium Ölverluste an Wellendichtringen und nach einer Laufzeit von etwa 1 500 h Schäden an Kugellagern.

An der Verzahnung der Getrieberäder waren durch visuelle Einschätzung weder Abrieb, Pittingbildung¹, Riefen noch Anrisse festzustellen.

Abschließend läßt sich einschätzen, daß die Prüfstandsuntersuchung dem Konstrukteur wertvolle Hinweise hinsichtlich Schwachstellen, Verschleiß und Verformung geben konnte. Insbesondere ist unter exakt festgelegten und rekonstruierbaren Bedingungen eine Aussage über Leistungsgrenze und Grenznutzungsdauer derartiger Getriebe zu erzielen.

Es bietet sich ferner die Möglichkeit der Zeitraffung, in dem man die niederen Belastungsspitzen (5 Prozent des Höchstwerts des Belastungskollektivs /7/ bzw. $< 0,5 \sigma_D$ /8/) vernachlässigt und bis zu einer gewissen Grenze die Belastungsfrequenz ($f < 50$ Hz /9/ /10/) erhöht, ohne dabei eine erheblich größere Streuung der Ergebnisse hervorzurufen.

Der unter Punkt 1.2. beschriebene und in einen Energiekreislauf eingebaute Schwellgeber ermöglicht es, zeitraffende Prüfstandsuntersuchungen unter Beachtung der obigen Hinweise praxisnah durchzuführen.

5. Zusammenfassung

Zu den bisher bekannt gewordenen Prüfständen nach dem Energiekreislaufverfahren werden 2 Prüfeinrichtungen beschrieben, mit denen ein Prüfstandlauf im Langzeitversuch über 2 000 h an Getrieben für Landmaschinen durchgeführt wurde. Insbesondere wird auf die praxisnahe Simulierung

des auftretenden Drehmoments mit dem in der Prüfstelle entwickelten Schwellgeber eingegangen.

Mit dem Schwellgeber ist es möglich, in einem Energiekreislauf praxisnah sinusförmige, schwellende und wechselnde Belastung um einen eingestellten Mittelwert mit doppelter Frequenz der Rotationsdrehzahl und mit während des Betriebs stufenlos einstellbarer Amplitudenhöhe nachzufahren. Des weiteren ist in einem zweiten Prüfstandaufbau die rationelle Nutzung des Energiekreislaufs auch für Getriebe mit mehreren Ausgängen nachgewiesen worden. Die erläuterte Kontroll- und Überwachungseinrichtung auf Temperaturmeßbasis ermöglicht in Kombination mit Motorschutzschaltern einen rationellen Prüfstandbetrieb ohne laufende personelle Überwachung.

Literatur

- /1/ Thiemig: Prüfstände für Fahrzeuggetriebe. ATZ, 63 (1961), H. 8, S. 240
- /2/ —: Vortrag 1 zum Protokoll 66/174-2.1 Delegation der PVR der „Ständigen Arbeitsgruppe für Mechanisierung und Elektrifizierung der Land- und Forstwirtschaft der Mitgliedsländer des RGW“
- /3/ —: Patentschriften, Klasse 42 K Gruppe 21/02 — Nr. 19829, Nr. 1 152559, Nr. 1 071372, Nr. 1 101814 und Klasse 42 S — Nr. 913007, Nr. 920153, Nr. 1 203027
- /4/ Achterberg, H.: Ing.-Schule für Maschinenbau und Elektrotechnik Zwickau, Ing.-Abschlußarbeit F 1 62/b
- /5/ —: Patentschrift Klasse 42 K Gruppe 21/02 — Nr. 66298
- /6/ Achterberg, H.: Prüfstand zur Untersuchung der Betriebsfestigkeit von Getrieben und Antriebssträngen nach dem Energiekreislaufverfahren mit Zusatzeinrichtung zum Aufbringen einer stufenlos einstellbaren Schwellbelastung. Internationale Zeitschrift der Landwirtschaft (1971) H. 3
- /7/ Svenson, O.: Untersuchung über die dynamischen Kräfte zwischen Rad und Fahrbahn und ihre Auswirkung auf die Beanspruchung der Straße. Deutsche Kraftfahrtforschung und Straßenverkehrstechnik (1959) Heft 130
- /8/ —: Grundregeln der Untersuchung der Auslastung von Maschinenelementen. Geräte für die statistische Bearbeitung von Oszillogrammen und Grundregeln der Einordnung veränderlicher Amplituden dynamischer Belastung. *Trudt otracleweu naušno — tehnicheskeu konferenzi po powisicheniju nadejnosti traktorow i camochnodnich schasti, ich agregatow I uslow (8-11. ijunia 1963) onl — nati Moskwa 1966*
- /9/ Ostermann, H. / W. Schütz: Bericht Nr. FB-53 des Laboratoriums für Betriebsfestigkeit Darmstadt
- /10/ Golle, H.: Der negative Zeiteinfluß auf die gesteigerte Dauerhaltbarkeit von Konstruktionsteilen und ein Weg zu seiner Verringering. IIL-Mitteilungen (1963) H. 7/8 A 8925

VT-Neuerscheinungen

Endter, H.: Fachkunde für Schweißer, Band 11, Zusatzausbildung im Schweißen des Stahls. 1. Aufl., 14,7 cm × 21,5 cm, 384 Seiten, 328 Bilder, 116 Tafeln, Halbleinen, 15,50 M

Spindler, E.: Antennen. Anleitung zum Selbstbau. 3., unveränderte Aufl., 14,7 cm × 21,5 cm, 328 Seiten, 1 Beilage, 212 Bilder, 167 Tafeln, Halbleinen, 18,— M

Berg, G.-F.: Hydraulische Bauelemente in der Automatisierungstechnik. Reihe Automatisierungstechnik, Band 29. 3., stark bearb. Aufl., 14,7 cm × 21,5 cm, 76 Seiten, 67 Bilder, 1 Tafel, broschiert, 6,40 M — Sonderpreis für die DDR 4,80 M

Wagner, B.: Automatisierungstechnik. Einführung und Überblick. Reihe Automatisierungstechnik, Band 35. 3., stark bearb. Aufl., 14,7 cm × 21,5 cm, 88 Seiten, 60 Bilder, 7 Tafeln, broschiert, 6,40 M — Sonderpreis für die DDR 4,80 M

Autorenkollektiv: Einführung in das Technische Englisch — Elektrotechnik. Technik-Wörterbuch. 2., unveränderte Aufl., 14,7 cm × 21,5 cm, 356 Seiten, broschiert, 7,— M

Autorenkollektiv: Einführung in das Technische Russisch. Ingenieurtechnik und Technologie. Technik-Wörterbuch. 1. Aufl., 14,7 cm × 21,5 cm, 368 Seiten, broschiert, 7,— M

AK 9006

¹ Entstehen von kleinen, durch Rost verursachten Vertiefungen an Maschinenteilen