

Grundinstandsetzung als besonders kritisch betrachtet werden.

Bei den Schallpegelwerten der Stichprobe 3 ist festzustellen, daß durch die Grundinstandsetzung nur die Hälfte des zuvor erfolgten Lärmanstiegs beseitigt werden kann. Auch dieses Ergebnis ist unbefriedigend. Bei den Schwingungswerten fällt die durch die Grundinstandsetzung erreichte wesentliche Verminderung des Vertrauensbereichs (Streuung) positiv ins Gewicht. Offenbar ist es gelungen, die dafür wesentlichsten Ursachen (s. Tafel 3) zu beseitigen.

Der Parameter Rauchdichte des Abgases wurde von der Zentralen Abgasprüfstelle der DDR an einer Vielzahl von Dieselmotoren untersucht [8]. Dabei wurde festgestellt, daß beim heutigen Stand der Motorenkonstruktion und -herstellung praktisch jeder neugefertigte Motor die zulässige Grenze nach [4] einhält, daß aber im Durchschnitt jeder dritte im Einsatz befindliche Dieselmotor zu stark raucht. Dies hat einen unzulässig hohen Ausstoß solcher gefährlicher Schadstoffe wie Aldehyde, Kohlenmonoxid und Schwefeldioxid zur Folge. Nach der Grundinstandsetzung raucht sogar fast jeder zweite Motor zu stark, sofern nicht eine spezielle Überwachung des Parameters in der Instandsetzungstechnologie durchgesetzt wird.

### 3. Schlußfolgerungen

Der dargestellte starke Einfluß der Nutzungsdauer auf die untersuchten arbeitshygienischen Parameter, der in ähnlicher Form mit ziemlicher Sicherheit bei allen Traktoren und selbstfahrenden Landmaschinen vorliegt, muß zum Schutz der Gesundheit der Mechanisatoren bei der Organisation und Durchführung der Instandhaltung unbedingt beachtet werden. Es kommt darauf an, die Schutzgüte der Maschinen, die die Einhaltung der gesetzlich festgelegten Grenzwerte der untersuchten Parameter voraussetzt, während der gesamten Nutzungsdauer ebenso wie andere, die Funktion unmittelbar beeinflussende Kriterien der Betriebstauglichkeit ständig zu sichern. Eine wichtige Voraussetzung hierbei ist die Kontrolle der arbeitshygienischen Kennwerte mit den Mitteln der Technischen Diagnostik im Rahmen der Überprüfungen, deren Ergebnis im Qualitätspaß der Maschine aktenkundig festzuhalten ist. Hier sowie bei der Qualitätskontrolle der instand gesetzten Maschinen liegen wichtige neue Aufgabengebiete der Technischen Diagnostik.

Die Nichteinhaltung der Grenzwerte muß geeignete Instandsetzungsmaßnahmen, wie Befestigung dröhnender Kabinenteile, Nachrüsten von Lärmmitteln, Wechseln des Sitzschwingungsdämpfers, der Einspritzpumpe

u. ä. auslösen. Durch zielgerichtete Untersuchungen sind die jeweils effektivsten Maßnahmen zu ermitteln und anzuwenden.

### Literatur

- [1] Häublein, H.-G. u. a.: Arbeitshygienische Normen und MAK-Werte. Berlin: Verlag Tribüne 1975.
- [2] TGL 10687 Schallschutz.
- [3] TGL 24626/13 Landtechnische Arbeitsmittel; Allgemeine Prüfvorschriften; Lärmmessung an Arbeitsplätzen.
- [4] TGL 22984 Dieselmotoren; Rauchdichtemessung an Kraftfahrzeugmotoren.
- [5] Information Arbeitsschutz-Arbeitshygiene des Zentralinstituts für Arbeitsschutz Dresden 3/1977, S. 86—90.
- [6] Dordack, W.: Verminderte Lärmbelastung auf Landmaschinen durch passive Schallschutzmaßnahmen. agrartechnik 27 (1977) H. 5, S. 201—203.
- [7] TGL 24626/21 Landtechnische Arbeitsmittel; Allgemeine Prüfvorschriften; Schwingungsmessungen an Arbeitsplätzen.
- [8] Hünigen, E. u. a.: Emissionsüberwachung bei Kfz. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1975. A 1941

- 1) zeitlicher Mittelwert des Schalldruckpegels lt. [2]
- 2) Frequenzbewertung A, Anzeigedynamik „Impuls“ lt. [2]

# Ermittlung dynamischer Festigkeitskennwerte zur Erhöhung der Zuverlässigkeit von Maschinenbaukonstruktionen<sup>1)</sup>

Dipl.-Ing. H. Luber, Technische Universität Dresden, Sektion Grundlagen des Maschinenwesens

## 1. Einleitung

Die technische Zuverlässigkeit schwingbruchgefährdeter Konstruktionsgruppen wird vor allem bestimmt durch die Anwendung moderner Berechnungsverfahren, das Vorhandensein lebensdauerbeeinflussender Werkstoff-, Halbzeug- und Bauteilkennwerte sowie im verstärkten Umfang durch eine effektive experimentelle Prüftechnik. Die bisherigen Untersuchungen auf dem Gebiet der Betriebsfestigkeit zeigen, daß trotz Einsatz hoher Investitionen und Forschungskapazität in der Grundlagen- und angewandten Forschung keine geeignete und zuverlässige Methode zur Lebensdauerberechnung angegeben werden konnte.

Die Bestrebungen in der angewandten Forschung müssen darauf ausgerichtet sein, für die Untersuchungen über das Schwingfestigkeitsverhalten von den wesentlichen Konstruktionswerkstoffen eine einheitliche Versuchsmethode zu erarbeiten. Diese Versuchsmethode könnte dann als Grundlage für die Berechnungsunterlagen dynamisch beanspruchter Baugruppen und -elemente zumindest der am häufigsten vorkommenden Last- bzw. Spannungs-Zeit-Funktionen dienen. Die Erzeugung betriebsähnlicher oder -gleicher Last-Zeit-Funktionen ist in starkem Maße von der zur Verfügung stehenden Prüftechnik abhängig. Das betriebsgleiche Nachfahren bzw. die Aufstellung von Programm- und Randomversuchen und deren Realisierung wurde erst durch die Entwicklung der servohydraulischen Prüftechnik möglich. Mit Hilfe prozeßbrech-

nergesteuerter servohydraulischer Mehrkanal-Prüfzylinderanlagen wird die Problematik der Last-Zeit-Funktion und die Auswirkung der versuchstechnisch bedingten Vereinfachung derselben auf die Lebensdauer schwingend beanspruchter Konstruktionen näher untersucht werden können.

## 2. Lebensdauerermittlung aus dem Betriebsfestigkeitsversuch

Als erste Annäherung an den Betriebsfestigkeitsversuch kann der Einstufenversuch angesehen werden. Der Werkstoff wird hierbei einer sinusförmigen Belastung mit konstanter

Spannungsamplitude, Frequenz und Umgebungsmedium bis zu seinem Bruch unterworfen. Das Ergebnis derartiger Versuche ist die Wöhlerlinie. Sie verdeutlicht den Zusammenhang zwischen der auferlegten Wechselbelastung und den bis zum Bruch ertragenen Lastwechseln. Im doppeltlogarithmischen Koordinatensystem wird dabei die Spannungsamplitude  $\sigma_a$  als Funktion der Lastspielzahl  $N$  aufgetragen. Als Dimensionierungsgrundlage sind die Wöhlerlinien mit Überlebenswahrscheinlichkeiten  $P_U = 10, 50, 90\%$  u. a. angegeben [1]. Im Bild 1 sind derartige Linien für Flachproben mit unterschiedlicher technologi-

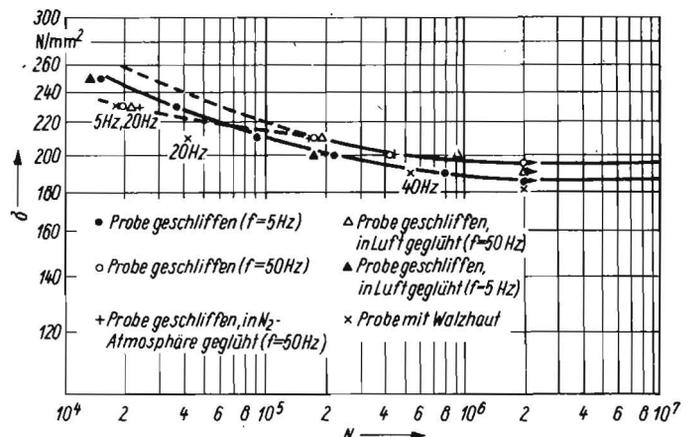


Bild 1  
Wöhlerlinien für Flachproben aus  
C ST 3 sp 2 [2];  
 $\alpha_K = 1$ ,  
 $\sigma_m = 0$ ,  
 $P_U = 50\%$

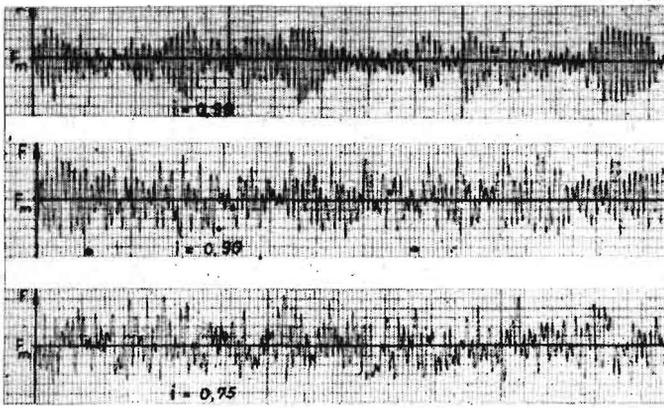
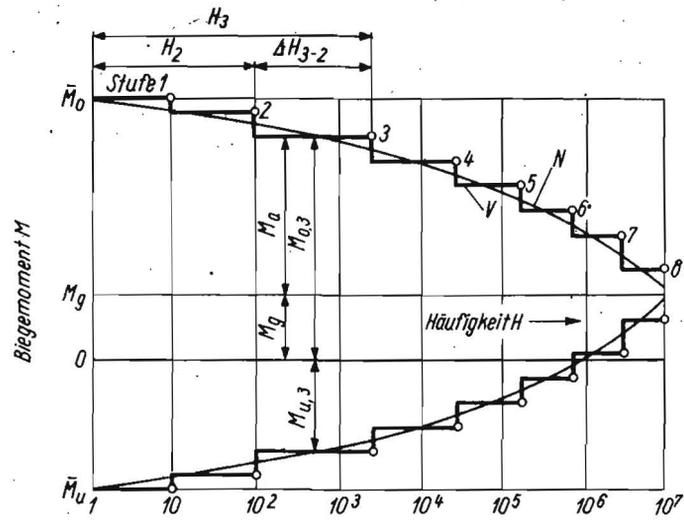


Bild 2. Last-Zeit-Funktion mit verschiedenen Regellosigkeitsfaktoren  
 Bild 3. Treppung der stetigen Summenkurve



scher Behandlung sowie variiertes Belastungs-  
 frequenz dargestellt.

Für die Grenzlastspielzahl  $N_G$ , die den Zeit-  
 festigkeitsbereich vom Bereich der Dauer-  
 festigkeit abgrenzt, waren  $2 \cdot 10^6$  Lastwechsel  
 festgelegt worden.

Der Konstrukteur kann durch Einbeziehung der  
 Wöhlerlinien zumindest qualitativ das Festig-  
 keitsverhalten im Betrieb abschätzen. Die  
 Einstufenversuche im Zeitfestigkeits- und  
 Dauerfestigkeitsbereich werden weiterhin ihre  
 Gültigkeit behalten bei Baugruppen, z.B.  
 Motorenteilen, die begrenzten gleichmäßigen  
 Wechselbelastungen ausgesetzt sind.

Die Gleichung der Wöhlerlinie ist auch die  
 grundlegende Beziehung der linearen Schad-  
 ensakkumulationshypothesen von Miner und  
 Corten-Dolan. Aus experimentell ermittelten

Bild 4  
 Ablauf der Belastungen  
 im Versuch

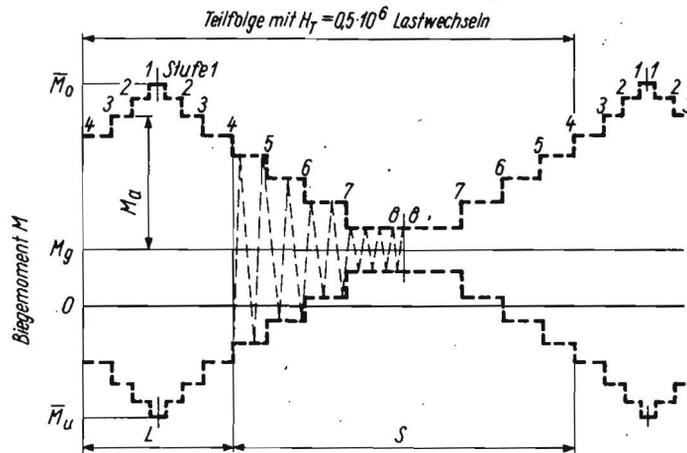


Bild 5  
 Übersicht von Random-  
 Versuchen

Gruppe	Bezeichnung	Ablaufbild
Betriebslastenversuche	Nachfahrversuch	
	digitalisierter Betriebslastenversuch	
randomisierte Programmversuche	geblockter Randomversuch	
	geblockter Randomversuch mit Markoff-Übergängen	
	Randomfolge von Schwingspielen	
	Randomfolge von halben Schwingspielen	
	Randomfolge von Maxima und Minima	
Randomprozeßversuch	stationärer Randomprozeßversuch	
	quasistationärer Randomprozeßversuch	

Beanspruchungskollektiven kann die zu er-  
 wartende Lebensdauer des betreffenden Bau-  
 teils errechnet werden. In der Lebens-  
 dauerabschätzung nach Miner werden alle  
 Spannungsamplituden oberhalb der Dauer-  
 festigkeitsgrenze als schädigend betrachtet,  
 während bei Corton-Dolan alle Spannungs-  
 amplituden Einfluß auf die Lebensdauer haben.  
 Es können sich bei der Berechnung nach beiden  
 Beziehungen Abweichungen von mehr als einer  
 Zehnerpotenz ergeben. Mit der Miner-Formel  
 erhält man im allgemeinen zu große Lebens-  
 dauerwerte. Beide Verfahren ermöglichen zu-  
 mindest brauchbare Abschätzungen für Kon-  
 struktionen, die bekannten oder festgelegten  
 Einsatzspektren mit dynamischer Beanspru-  
 chung unterliegen. Von Haibach [3], Serensen,  
 Kogajew, Schneiderowitsch [4], Pfeiffer [5] u. a.  
 liegen Vorschläge zur Verbesserung der Le-  
 bensdauerberechnung vor. Eine endgültige  
 Lösung kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt  
 noch nicht angegeben werden. Auf einen die  
 Lebensdauer beeinflussenden Faktor soll im  
 nächsten Abschnitt verwiesen werden.  
 Die Anwendung der Hypothesen von Miner und  
 Corten-Dolan und das Ergebnis, die zu erwar-  
 tende Lebensdauer, hängen von dem gemessenen  
 Beanspruchungskollektiv und von der Art der  
 Beanspruchung ab. Beiden Schadensakkumulations-  
 hypothesen liegen der Einstufenversuch und die  
 Gleichung der Wöhlerlinie zugrunde. Die Span-  
 nungs-Zeit-Funktion beim Wöhlerversuch weist  
 die gleiche Anzahl von Lastspitzen (Extremwerten)  
 $N_1$  auf wie Last-Nulldurchgänge  $N_0$  vorhan-  
 den sind, d.h. der Regellosigkeitsfaktor ergibt sich  
 mit  $i = N_0/N_1 = 1$ . Sinngemäß müßten für die

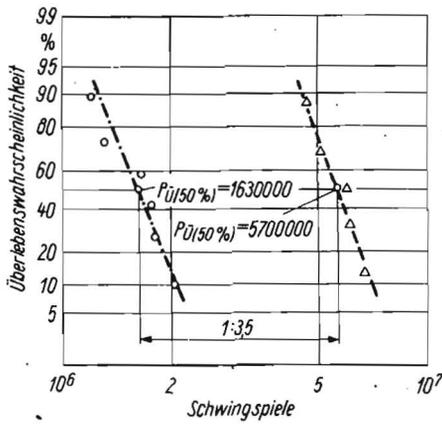


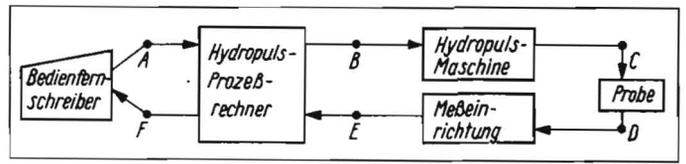
Bild 6. Lebensdauerwerte aus Versuchen mit einer Randomfolge von Extremwerten und aus Achtstufen-Programmversuchen [12] (Werkstoff Ti6 Al4 V rund, gekerbt,  $\alpha_K \approx 3,1$ ; Beanspruchungskollektiv annähernd log. normalverteilt);  
 - - - Randomfolge von Extremwerten  
 - - - Programmversuch  
 $\sigma_m = 28,7 \text{ N/mm}^2$ ,  $\sigma_0/\sigma_m = 2,2$

gemessenen Beanspruchungskollektive die gleichen Voraussetzungen gegeben sein. Für Beanspruchungskollektive an Fahrzeugrädern gelten z. B. Regellosigkeitsfaktoren  $i$  mit annähernd 0,75 (Bild 2). Wird für dieses Kollektiv eine Transformation ( $i \approx 1$ ) vorgenommen, so ergibt sich eine Lebensdauerlinie, die unterhalb der aus Versuchen ermittelten Lebensdauerlinie liegt [6]. Daraus läßt sich ableiten, daß vorliegende Last-Zeit-Funktionen mit  $i < 1$  bei Verwendung der Miner-Formel zu höheren Werten, also zu einer Überschätzung der Lebensdauer führen können. Die Ergebnisse liegen somit zwar auf der sicheren Seite, sind aber nicht für andere Werkstoffe Formzahlen, Spannungsverhältnisse und Beanspruchungsarten verallgemeinerungsfähig.

### 3. Vergleich von Random- und Programmversuchen

Die Betriebsfestigkeit dynamisch beanspruchter Konstruktionen wird durch die Anwendung einer Schadensakkumulationshypothese oder durch Programm- bzw. Randomversuche ermittelt.

Bild 7  
 Versuchsdurchführung auf einer Hydropulsmaschine mit Prozeßrechner



Wichtig dabei ist die Frage, wie genau die im Betrieb auftretende Schädigung durch den Versuch nachempfunden werden kann.

Beim Programmversuch werden aus einem Lastkollektiv (stetige Summenkurve N) ein Kollektiv von Versuchslasten (getrepte Summenkurve V) gebildet und ein bestimmter Versuchsablauf festgelegt (Bilder 3 und 4).

Der Randomversuch zeichnet sich durch eine mehr oder weniger ausgeprägte Unregelmäßigkeit im Beanspruchungsverlauf aus. Dabei werden im wesentlichen drei Gruppen von Randomversuchen unterschieden [7] [8] [9] [10] (Bild 5).

Soll der Programmversuch mit dem Randomversuch verglichen werden, so zeigt sich, daß nach [11] eine ganze Reihe Parameter auf den Vergleich der Lebensdauerwerte einwirkt:

- Art des Programmversuchs
- Art des Randomversuchs
- Belastungskollektiv
- Klassierverfahren
- Unregelmäßigkeit der Last-Zeit-Funktion
- höchste im Kollektiv enthaltene Belastungsspitze
- Art der Spannung (Zug/Druck, Biegung, Torsion)
- Höhe der Mittelspannung
- Formzahl  $\alpha_K$
- Werkstoff

Die Versuche, die z. B. mit konstanter Mittelspannung durchgeführt wurden, ergaben im Vergleich der Lebensdauerwerte zwischen Programm- und Randomversuchen Verhältniszahlen von 0,5 bis 6 (Bild 6).

Welchen Einflußgrößen diese Streubreite zuzuschreiben ist, kann bei dem derzeitigen wissenschaftlichen Stand noch nicht eindeutig angegeben werden. Die Programmversuche können zu größeren Überschätzungen der Lebensdauer führen, wobei der ausschlaggebende Faktor die Form des Belastungskollektivs ist. Die genaue Analyse der Lebensdauer oder einzelner Schadensparameter ist in der

Zukunft nur durch Randomversuche zu erreichen.

### 4. Prüfmaschinen für Betriebsfestigkeitsversuche

Für Betriebsfestigkeitsversuche, bei denen die Betriebslasten möglichst praxisnah simuliert werden sollen, lassen sich gegenwärtig nur servohydraulische Schwingprüfmaschinen einsetzen. Bei servohydraulischen Prüfzylinderanlagen können die Sollwertverläufe durch Programmautomaten, Mehrkanalmagnetbandgeräte, Funktionsgeneratoren und Prozeßrechner, die gleichzeitig die Meßdatenerfassung und -auswertung übernehmen, gesteuert werden (Bild 7).

Über einen Bedienfernschreiber wird das festgelegte Versuchsprogramm mit allen erforderlichen Kenndaten eingegeben und gestartet. Aus den am Punkt A vorliegenden Informationen berechnet der Rechner den Sollwertverlauf, der am Punkt B als elektrischer Spannungsverlauf vorliegt. Dieser wird über die Hydropulsmaschine zu einem mechanischen Kraftverlauf umgewandelt und an die Probe weitergeleitet (Punkt C). Ein Meßwertnehmer (Kraftmeßdose, Dehnungsaufnehmer oder induktiver Weggeber) setzt den Istwertverlauf an der Probe (Punkt D) wieder zu einem elektrischen Signalverlauf um (Punkt E). Im Rechner wird der Sollwert am Punkt B mit dem Istwert am Punkt E verglichen. Treten unzulässige Abweichungen auf, so werden diese über den Bedienfernschreiber ausgegeben. Als Klartextinformation liegen die Werte am Punkt F an.

Die Hydropulsanlage der TU Dresden ist eine Vierzylinderanlage mit Prozeßrechner (Bilder 8 und 9). Auf dieser Anlage können Sollwert-erzeugende Anweisungen gegeben werden, wie Blockstufe, Einzelamplituden, Randomamplituden und Zeitamplituden. Als Zusatzmodule stehen die Meßdatenverarbeitung und die Erzeugung der Gauß-Funktion zur Verfügung.

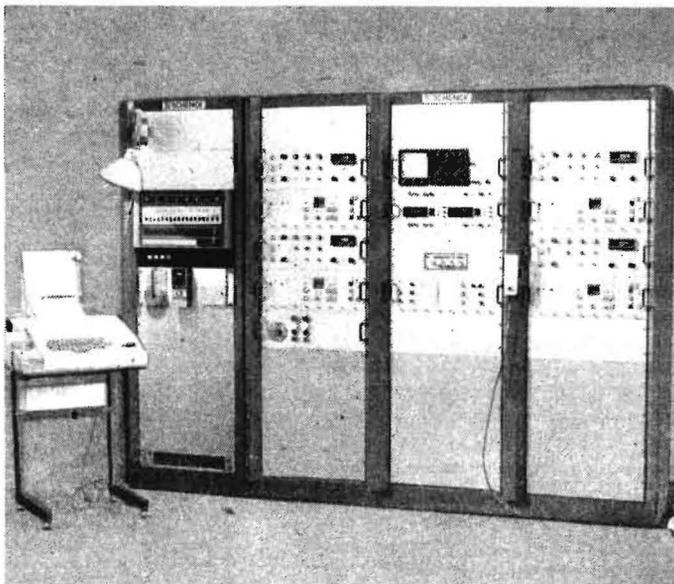


Bild 8  
 Schaltschranke mit Regelelektronik und Prozeßrechner

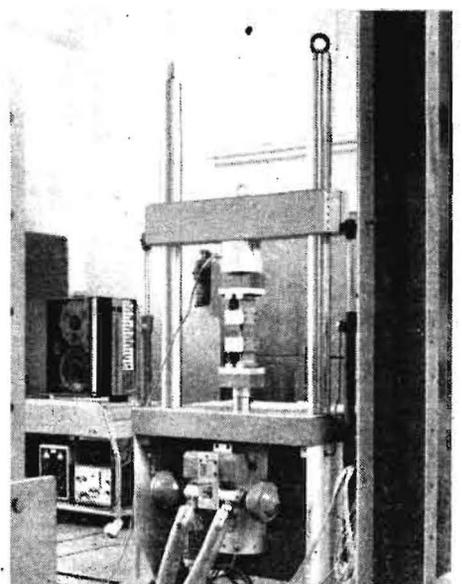


Bild 9  
 Belastungsgerüst mit Flachprobeneinspannung

Aufgrund des Umfangs der Software können nicht alle Möglichkeiten aufgeführt werden.

## 5. Zusammenfassung

Entsprechend dem heutigen Entwicklungsstand von Wissenschaft und Technik reichen die bisher üblichen Werkstoffkennwerte als Grundlage für die Dimensionierung und Prüfung nicht mehr aus. In Abhängigkeit vom Werkstoff sollten vorrangig die Kenngrößen ermittelt werden, die den Einsatzbedingungen entsprechen, da eine Bestimmung aller möglichen Kennwerte volkswirtschaftlich nicht effektiv erscheint. Im Vordergrund stehen dabei das statische Kurzzeit- und Langzeitverhalten sowie das Verschleißverhalten und die Widerstandsfähigkeit gegenüber konstanten, regellosen und dynamischen Beanspruchungen. Hierbei sind die statistischen Methoden [13] und die Kenngrößen der Belastungsfunktionen (Verteilung, Größtwert, Umfang, Erwartungswahrscheinlichkeit, Leistungsspektrum) einzubeziehen. Im Interesse einer optimalen Dimensionierung und Erhöhung der Zuverlässigkeit müssen noch umfangreiche Untersuchungen an Werkstoffen, Halbzeugen und Bauteilen durchgeführt werden.

## Literatur

- [1] Betriebsfestigkeit. 3. Lehrbrief für das Fernstudium. TU Dresden, Sektion Grundlagen des Maschinenwesens, 1975.
- [2] Lubert, H.: Einstufenversuche an Stahlproben aus C ST 3 sp 2. TU Dresden, Sektion 13/DB, Forschungsbericht 1977.
- [3] Haibach, E.: Modifizierte lineare Schadensakkumulationshypothese zur Berücksichtigung des Dauerfestigkeitsabfalls mit fortschreitender Schädigung. TM Nr. 50/70.
- [4] Serensen; Kogajew; Schneiderowitsch: Tragfähigkeit und Berechnung auf Festigkeit von Maschinenteilen. Moskau: „Maschinenbau“ 1975.
- [5] Pfeiffer, F.: Beitrag zur Klärung des Einflusses regelloser Beanspruchungsfolgen auf die Bauteilmüdung. TU Dresden, Dissertation 1975.
- [6] Bussa, S.L.: Fatigue life of a low carbon steel notched specimen under stochastic conditions. Technical Report 900, 21-1 MTS.
- [7] Jacoby, G.: Vergleich der Lebensdauer aus Betriebsfestigkeits-, Einzelflug- und digital programmierten Random-Versuchen sowie nach der linearen Schadensakkumulationshypothese. Lebensdaueranalyse bei unregelmäßig schwankender Beanspruchung (random load fatigue). Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 5 (1969) Nr. 7, S. 63—69.
- [8] Jacoby, G.: Comparison of fatigue life estimation

- processes for irregularly varying loads. Proceedings of the Third Conference on Dimensioning and Strength Calculations. Hungarian Academy of Sciences, Budapest 1968, S. 81—95.
- [9] Swanson, S.R.: Random load fatigue testing. A state of the art survey. Material Research and Standards (1968) H. 8, S. 10—44.
- [10] Laudert, H.; Jacoby, G.; Wowack, H.; Weber, H.-D.: Einige Möglichkeiten der Ermüdungsprüfung bei Random-Beanspruchung. Lebensdaueranalyse bei unregelmäßig schwankender Beanspruchung (random load fatigue). Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 5 (1969) Nr. 7 S. 29—62.
- [11] Jacoby, G.: Neuzeitliche Prüfverfahren und Prüfmaschinen. Sonderdruck aus Rhein Stahl Technik, 10 (1972) 1, S. 20—30.
- [12] Jacoby, G.: Beitrag zum Vergleich der Aussagefähigkeit von Programm- und Randomversuchen. Sonderdruck aus Zeitschrift für Flugwissenschaften 18 (1970) H. 7.
- [13] Prochnow, H.; Hanel, W.: Statistische Auswertung von Schwingfestigkeitsversuchen. Maschinenbautechnik 24 (1975) H. 6, S. 274—276.

A 1922

- 1) Überarbeitete Fassung eines Referats zur wissenschaftlich-technischen Tagung „Zuverlässigkeits- und instandhaltungsgerechte Konstruktion von Maschinen und Anlagen“ am 8. und 9. Dezember 1977 in Dresden

# Untersuchung der Lebensdauer von Zahnradgetrieben auf Prüfständen<sup>1)</sup>

Ing. R. Seibicke, KDT, Zentrale Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim

Lebensdaueruntersuchungen auf Prüfständen sind ein wichtiges Mittel, um schnell zu sicheren Ergebnissen bezüglich der Haltbarkeit von Zahnradgetrieben zu kommen. Neben der anzustrebenden Prüfung der gesamten Maschine besteht für die wichtigen Baugruppen der Leistungsübertragung, wie Getriebe, Gelenkwellen und Kupplungen, ein spezielles Aufgabengebiet, um mit einer gewissen Grundanschaffung von technischen Hilfsmitteln den Nutzungsdauernachweis für diese Baugruppen führen zu können. Deshalb haben Prüfstandsuntersuchungen von Getrieben seit Jahren einen festen Platz in der Arbeit der Zentralen Prüfstelle für Landtechnik Potsdam-Bornim.

## 1. Prüfprogramm

Auf dem Prüfstand sind möglichst praxisnahe Belastungen nachzubilden. Landmaschinen und deren Baugruppen sind im praktischen Einsatz stochastischen Belastungsschwankungen unterworfen. Um diese Belastungen originalgetreu nachzubilden, ist der technische Aufwand sehr groß. Daher werden bei der Belastungsnachbildung Mehrstufenprogramme angewendet, die bei Getrieben größte Berechtigung finden, da deren Bauteile Zahnräder, Wellen und Lager funktionsbedingt einer Schwellbelastung mit hoher Frequenz unterworfen sind. Die Prüfstandsuntersuchung ist in drei Etappen gegliedert:

- Vorbereitung
- Prüflauf
- Auswertung.

Die Vorbereitung hat den entscheidenden Anteil am Erfolg eines Prüflaufes. Während der Vorbereitung sind das Prüfprogramm, die Art des Prüfstands und damit die Art der Belastungsnachbildungen und die Überwachung und Erfassung aller wichtigen Kenngrößen festzulegen. Die genannten Punkte können nicht unabhängig voneinander betrachtet werden, da sie sich jeweils wechselseitig beeinflussen.

Die Prüfprogramme stellen im allgemeinen ein Mehrstufenprogramm mit 6 bis 8 Belastungsstufen dar. Von dem Belastungskollektiv, das der Nutzungsdauer entspricht, bleiben die unteren 20 bis 25 % im Mehrstufenprogramm unberücksichtigt. Bei den für Landmaschinen typischen wenig vollen Kollektiven mit relativ hohen Spitzenwerten bis in die Nähe der Streckgrenze kann ein Kompromiß in dieser Form vertreten werden. Damit kann eine wesentliche Zeitersparnis erreicht werden, da erfahrungsgemäß die niedrigen Belastungen häufiger auftreten und damit einen größeren Zeitanteil ausmachen.

Bei der Festlegung der Anzahl der Teilfolgen ist es wichtig, ob ein automatischer Programmablauf möglich oder Handverstellung notwendig ist. Bei der Handverstellung ist die Anzahl der Teilfolgen so zu wählen, daß sich die Einstellarbeiten der Arbeitszeit und dem Wochenrhythmus anpassen. Dabei kommt man auf 8 bis 14 Teilfolgen, wobei dann 1 oder 2 Teilfolgen je Woche aufgebracht werden. Die Belastungsstufen innerhalb der

Teilfolgen können dann in willkürlicher Reihenfolge aufgebracht werden.

Wird die Folge der steigenden und fallenden Belastung eingehalten, so werden die niedrigste und die höchste Laststufe jeweils zweimal hintereinander aufgebracht. Bei der niedrigsten Laststufe hat das den Vorteil, daß der in dieser Stufe bereits hohe Zeitanteil verdoppelt und damit das Wochenende genutzt werden kann. Bei den hohen Laststufen ist dieses Zusammenreffen oft problematisch — Erwärmung und Schmierung können kritische Zustände erreichen — und sollte daher durch Vertauschen von Laststufen möglichst vermieden werden. Diese Überlegungen sollen an einem Beispiel erläutert werden:

Bei Getrieben, die 2000 h zu prüfen waren, betrug der Zeitanteil der höchsten Belastungsstufe 0,4 %, der der niedrigsten Belastungsstufe 36 %. Bei 14 Teilfolgen sind das 137 h/Woche und somit rd. 52 h in der niedrigsten Stufe.

Diese Zeit wurde genutzt, um den Prüfstand von Freitag, 15.00 Uhr, bis Sonntag, 19.00 Uhr, ohne Aufsicht auszulasten. Die höchste Belastungsstufe mit einer Dauer von 34 min wurde von diesen Getrieben, begünstigt durch eine relativ große Ölfüllung, gut vertragen. Durch Verlegen einiger Belastungsstufen konnte erreicht werden, daß alle Einstellarbeiten in der normalen Arbeitszeit durchgeführt werden konnten. Die erreichte Dauer eines Prüflaufs von 137 h/Woche entsprechend einer Auslastung von mindestens 82 % bei einem Stufenprogramm und Handeinstellung stellt