

Zum Festlegen der Fertigungstoleranz aus Instandhaltungstechnischer Sicht

Prof. Dr. sc. techn. C. Eichler, KDT, Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Problemstellung

Das Schädigungsverhalten landtechnischer Arbeitsmittel, dargestellt als Grenznutzungsdauer ihrer Elemente, streut mit Variationskoeffizienten $0,2 < V < 0,6$ [1/2]. Das beeinflusst die Instandhaltung dieser Arbeitsmittel ungünstig. Es sollte ein Einengen dieser großen Streuung angestrebt werden [3]. Untersuchungen [4] haben ergeben, daß neben vielen anderen Faktoren auch die Fertigungstoleranz die Streubreite des Schädigungsverhaltens beeinflusst. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt, um dem Konstrukteur sowie dem Technologen in Herstellung und Instandsetzung Hinweise für das Berücksichtigen instandhaltungstechnischer Gesichtspunkte beim Festlegen der Fertigungstoleranz zu geben.

Herkömmlich wird die Fertigungstoleranz für Einzelteile, ausgehend von der Tatsache, daß die Fertigungskosten mit sinkender Fertigungstoleranz progressiv ansteigen (Bild 1), so festgelegt, daß bei Sichern funktioneller Forderungen möglichst geringe Fertigungs- bzw. Instandsetzungskosten erreicht werden. Das führt besonders im Landmaschinenbau zu relativ großen Fertigungstoleranzen. Diese haben, wie später nachzuweisen sein wird, große Variationskoeffizienten der Grenznutzungsdauer und damit ungünstige Auswirkungen im Instandhaltungsprozeß, zum Beispiel größere Fehler bei der Ersatzteilplanung, zur Folge.

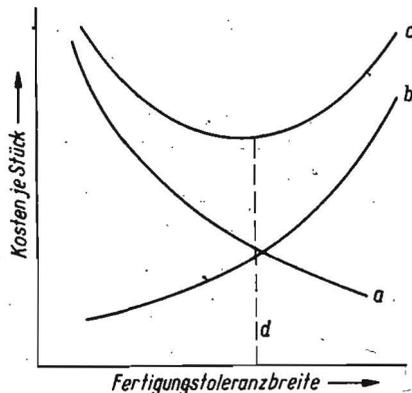


Bild 1. Schematische Darstellung der Herstellungs- und Instandhaltungskosten in Abhängigkeit von der Breite des Fertigungstoleranzfeldes; a Herstellungskosten, b Instandhaltungskosten, c Gesamtkosten, d optimale Fertigungstoleranz

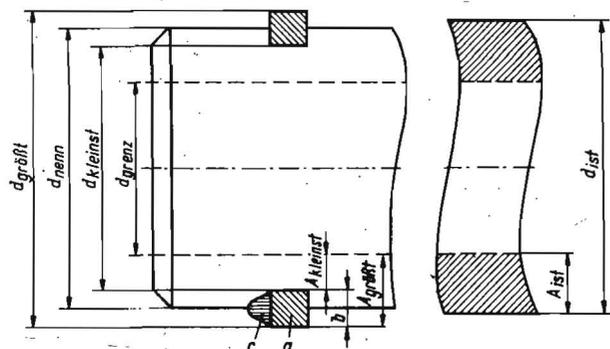


Bild 2. Definition der Abnutzungsreserve am Beispiel einer Welle (verzerrt dargestellt)

Die sozialistische Produktion erfordert minimale Gesamtkosten für den mit dem technischen Arbeitsmittel durchgeführten Hauptprozeß (siehe Zielfunktion des Maschinenverhaltens). Damit muß der Fertigungstechnologe der Herstellung und der Instandsetzung auch die infolge der Fertigungstoleranz auftretenden Kostenbestandteile des Maschinenbetriebs während der nachfolgenden Nutzungsdauer beachten.

2. Abnutzungsreserve und Grenznutzungsdauer

Die Abnutzungsreserve A_{ist} ist die konstruktiv vorgegebene Werkstoffmenge eines Abnutzungsteils oder einer Abnutzungsparung, die sich während des Betriebs abnutzen kann, ohne daß das Element betriebsuntauglich wird. Bild 2 verdeutlicht diese Definition schematisch am Beispiel einer Welle.

$$A_{gro\beta t} = \frac{d_{gro\beta t} - d_{grenz}}{2} > A_{ist} > \frac{d_{kleinst} - d_{grenz}}{2} = A_{kleinst}$$

Die Abnutzungsreserve A_{ist} streut mit dem Istmaß d_{ist} , das zwischen $d_{gro\beta t}$ und $d_{kleinst}$ liegt, zwischen $A_{gro\beta t}$ und $A_{kleinst}$. Aus der Abgrenzung der Verteilung der Istmaße innerhalb der Fertigungstoleranzbreite

$$b = \frac{d_{gro\beta t} - d_{kleinst}}{2}$$

im 3σ -Bereich der Normalverteilung kann geschlossen werden, daß 99,7 Prozent aller Elemente mit ihrer Abnutzungsreserve zwischen $A_{gro\beta t}$ und $A_{kleinst}$ liegen. Wird eine mittlere Abnutzungsgeschwindigkeit \bar{v} und eine symmetrische Lage des Fertigungstoleranzfeldes um das Nennmaß d_{nenn} angenommen, so ergibt sich die mittlere Grenznutzungsdauer \bar{t} zu

$$\bar{t} = \frac{d_{kleinst} - d_{grenz} + b}{2\bar{v}}$$

Bei Annahme normalverteilter Schädigungsverhaltens wird die fertigungstoleranzbedingte Standardabweichung der Grenznutzungsdauer s_t

$$s_t = \frac{b}{6\bar{v}}$$

Damit zeigt sich, daß die Streubreite der Grenznutzungsdauer bei konstanter Abnutzungsgeschwindigkeit proportional mit der Breite der Fertigungstoleranz ansteigt. Es kann damit aus instandhaltungstechnischer Sicht gefolgert werden, daß die Fertigungstoleranzbreite möglichst klein gehalten werden sollte, um der Forderung nach geringer Streuung des Schädigungsverhaltens zu entsprechen. Es kann weiter abgeleitet werden [4], daß sich bei normalverteilter Abnutzungsgeschwindigkeit der Variationskoeffizient der Grenznutzungsdauer als Funktion der Fertigungstoleranz errechnet nach der Gleichung

$$V_t = \frac{b}{3 A_{min} \left(2 + \frac{b}{A_{min}} \right)}$$

V_t ist der von der Fertigungstoleranz beeinflusste Anteil des Gesamtvariationskoeffizienten.

Die quantitative Untersuchung dieses Einflusses an Baugruppen der Traktoren MTS-50 und K-700 unter Zuhilfenahme von Schädigungsgrenzangaben d_{grenz} aus /5/ zeigt, daß 10 bis 30 Prozent des Gesamtvariationskoeffizienten des Schädigungsverhaltens von der Fertigungstoleranz beeinflußt werden. Günstigste Werte erreicht man, wenn b/A_{min} möglichst klein gehalten wird /4/.

3. Bestimmen der Fertigungstoleranz bei vorgegebener Mindestgrenznutzungsdauer

In den Instandhaltungstechnischen Forderungen an die Konstruktion /6/ und in den Qualitätsanforderungen an die Instandsetzung wird oft das Einhalten einer vorgegebenen Mindestgrenznutzungsdauer t_{mind} gefordert. Unter Ausnutzen oben wiedergegebener Zusammenhänge lassen sich die Beziehungen

$$b = 2,5 \left(\sqrt{v} t_{\text{mind}} - \frac{d_{\text{nenn}} - d_{\text{grenz}}}{2} \right)$$

und

$$b = 0,6 \left(\frac{2 \sqrt{v} t_{\text{mind}}}{1 - 1,3 a v} + d_{\text{grenz}} - d_{\text{nenn}} \right)$$

für symmetrische Lage des Toleranzfeldes um das Nennmaß ableiten /4/. Der Faktor a liegt entsprechend den Untersuchungsergebnissen im Bereich $0,1 < a < 0,3$ mit $V_t = a v$ und v als Variationskoeffizient des Schädigungsverhaltens. Für andere spezielle Lagen des Toleranzfeldes oder für andere Elemente (dargelegte Gleichungen gelten annahmegemäß für eine Welle) lassen sich ähnliche Beziehungen ableiten. Diese Beziehungen ermöglichen bei vorgegebenen Werten für Mindestgrenznutzungsdauer, mittlere Abnutzungsgeschwindigkeit, Aussonderungsgrenze und Variationskoeffizient des Schädigungsverhaltens das Berechnen der Fertigungstoleranz. Ihre Anwendung ist insofern problematisch, als es gegenwärtig bei der Schädigungsart Verschleiß noch sehr schwierig ist, die Maschinenteile so zu gestalten, daß eine gewünschte Abnutzungsgeschwindigkeit bewußt gestaltet werden kann. Die Beziehungen zeigen aber zumindest die bestehenden und zu berücksichtigenden Zusammenhänge und bringen so einen Beitrag zur Lösung des Gesamtproblems.

Wenn entsprechend den von der Instandhaltung gestellten Forderungen Variationskoeffizienten der Grenznutzungsdauer um 0,2 bis 0,3 erreicht werden sollen, so ist es erforderlich, wie Beispielsrechnungen nachweisen, die Fertigungstoleranzbreiten gegenüber den bei Landmaschinenteilen gegenwärtig üblichen Werten auf unter 50 Prozent zu vermindern. Es bleibt ökonomischen Untersuchungen vorbehalten, ob dies wirtschaftlich ist.

4. Festlegen der Fertigungstoleranz — ein Optimierungsproblem

Aus den bisherigen Darlegungen ist ersichtlich, daß Ökonomie der Herstellung (Bild 1) und Wirtschaftlichkeit der Instandhaltung (Abschn. 2) gegenläufige Forderungen an die Fertigungstoleranz stellen.

Eine enge Fertigungstoleranz erhöht die Genauigkeit der Ersatzteilplanung bzw. ermöglicht bei gleicher Abdeckwahrscheinlichkeit des Ersatzteilbedarfs geringere Lagerbestände. Sie bringt Vorteile bei der Anwendung der einfachen Instandhaltung nach starrem Zyklus und vereinfacht die Restnutzungsdauerprognose /7/. Es kann damit qualitativ gefolgert werden, daß die Instandhaltungskosten mit zunehmender Fertigungstoleranzbreite ansteigen (Bild 1).

Entsprechend der Zielfunktion des Maschinenverhaltens ist die Fertigungstoleranz so zu bemessen, daß die Summe aus Fertigungskosten $K_F(b)$ und Instandhaltungskosten $K_I(b)$ ein Minimum wird.

$$K_{\text{ges}}(b) = K_F(b) + K_I(b) \rightarrow \text{Min}$$

$$\frac{dK_{\text{ges}}(b)}{db} = 0, \quad b = b_{\text{opt}}$$

5. Grundsätze für das Festlegen der Fertigungstoleranz

Vorstehende Betrachtungen lassen eine Reihe nützlicher Grundsätze für das Festlegen der Fertigungstoleranz zu, die von Konstrukteuren, Herstellungs- und Instandsetzungstechnologen im Sinne eines wirtschaftlicheren Maschinenbetriebs beachtet werden sollten:

- Das Festlegen der Fertigungstoleranz erfordert das Berücksichtigen des Herstellungs- und Instandhaltungsaufwands während der gesamten projektierten Nutzungsdauer.
- Bei Bohrungen und Paarungen muß die obere Grenze der Fertigungstoleranz möglichst weit unter der Aussonderungsgrenze liegen, um eine große Mindestgrenznutzungsdauer zu erreichen.
- Um eine möglichst geringe Streuung des Schädigungsverhaltens zu erzielen, sollte die Fertigungstoleranz möglichst klein bemessen werden, dabei kommt einem engen Verhältnis zwischen Fertigungstoleranzbreite und kleinster Abnutzungsreserve Bedeutung zu.
- Zusammen mit der Fertigungstoleranz muß der Konstrukteur die Aussonderungsgrenze festlegen.
- Das Festlegen der optimierten Fertigungstoleranz ist ein Beitrag für das materialökonomisch notwendige Einengen der Variationsbreite des Schädigungsverhaltens.

Literatur

- /1/ Borrmann, K.: Bestimmen der quantitativen Einflüsse auf die Abgangskurven ausgewählter Baugruppen landtechnischer Arbeitsmittel. Ingenieurschule Friesack, Forschungsabschlußbericht 1974 (unveröffentlicht).
- /2/ Lau, W.; Klemmer, D.: Industrielle Instandsetzung von Baugruppen, Maschinen und Ausrüstungen für Anlagen der Rinder- und Schweinehaltung. agrartechnik 23 (1973) H. 9, S. 402—404.
- /3/ Eichler, C.: Zum Einfluß wissenschaftlicher Erkenntnisse auf die Entwicklung der Instandhaltung. agrartechnik 24 (1974) H. 12, S. 575—577.
- /4/ Eichler C.: Zum Einfluß der Fertigungstoleranz von Maschinenteilen auf ihre Grenznutzungsdauer. Unveröffentlichtes Manuskript für die Wissenschaftliche Zeitschrift der Universität Rostock 1975.
- /5/ —: Kontrol tehnitscheskogo sostojanija traktornich detalei pri remonte. Moskwa: Verlag Kolos 1973.
- /6/ TGL 20 987: Instandhaltungsgerechte Konstruktion. Neuentwurf 1975.
- /7/ Eichler, C.: Einige Probleme der Restnutzungsdauerprognose für Elemente technischer Arbeitsmittel. Wiss. Zeitschrift der Universität Rostock 23 (1974) math.-nat. Reihe, Heft 7/8, S. 21—26. A 9952

Verlag Die Wirtschaft empfiehlt

In der Serie „rationell und effektiv“ neu erschienen ist der Titel

Wissenschaftliche Arbeitsorganisation

von J. N. Dubrowski. Übersetzung aus dem Russischen. 112 Seiten, Broschur, Kurzwort: Dubrowski, Bestell-Nr. 674 898 9

Dubrowski erläutert in dieser allgemeinverständlich geschriebenen Einführung in die WAO Wesen, Inhalt und Anwendungsgebiete, die theoretischen Grundlagen, die Prinzipien sowie Aufgaben und Bedeutung der wissenschaftlichen Arbeitsorganisation. Er versucht, das System der Kategorien, Begriffe, Termini der WAO zu ordnen. Dabei handelt es sich nicht um eine lexikalisch-definitive Darstellung, sondern um die kurzgefaßte analytische Erarbeitung der Begriffe und Kategorien unter dem Aspekt ihrer unmittelbaren praktischen Nutzenanwendung.

AK 9969