

Untersuchung des Abnutzungszustands von Einzelteilen bei Entwicklungsmustern¹⁾

Dr.-Ing. G. Stock, KDT, Ing.-Büro für vorbeugende Instandhaltung beim Kombinat für Landtechnische Instandhaltung Dresden

1. Problem

Während der Entwicklungsmustererprobung landtechnischer Arbeitsmittel sind alle verfügbaren Informationen zur Schätzung der Überlebenswahrscheinlichkeit der Einzelteile zu nutzen [1]. Die Rückvermessung der Einzelteile während der Kampagnefestüberholung der Entwicklungsmuster stellt eine solche Information über den Schädigungszustand der Elemente dar, denn die Betriebstauglichkeit eines Einzelteils ist nach Abschluß der Kampagne in einem bestimmten Maß gemindert.

Der Abnutzungszustand der Elemente läßt sich in der beobachteten Nutzungsdauer als Information zu einer konkreten Aussage über die Überlebenswahrscheinlichkeit nutzen, wenn Aussonderungs- bzw. Betriebssicherheitsgrenzen bekannt sind.

Die Rückvermessung verschleißgefährdeter Einzelteile während der Kampagnefestüberholung liefert z. B. bei zwei vermessenen Maschinen höchstens zwei Werte für das jeweilige Einzelteil. Ausnahmen wären mehrere gleiche Einzelteile in der Maschine bzw. zusätzliche Vermessungen während der Kampagne. Der auswertbare Stichprobenumfang der Meßwerte stellt eine kleine Stichprobe dar.

2. Auswertung der Untersuchungen zum Abnutzungszustand von Einzelteilen kleiner Stichproben

Die Differenz zwischen Meßwert der Rückvermessung und Meßwert der Nullvermessung ergibt den absoluten Verschleißbetrag, den das Einzelteil am Ende der Erprobungsdauer aufweist. Der Verschleißbetrag nach der Erprobung V_i wird zum Verschleißwert der Aussonderungsgrenze V_A ins Verhältnis gesetzt und als Zustand $\rho V_i = V_i/V_A$ dargestellt.

Gäbler [2] stellt solche Zustandslinien $\rho V_1, \rho V_2, \dots, \rho V_n$ als Abgangskurve dar, wobei die Zustandslinie ρV_A , die Grenznutzungsdauerverteilung wiedergibt.

Analog zur Dichtefunktion der Grenznutzungsdauerwerte beim Erreichen der Aussonderungsgrenze lassen sich prinzipiell auch Dichtefunktionen der Nutzungsdauerwerte für das Erreichen beliebiger Abnutzungszustände ableiten [2]. „Zustandsüberlebensfunktionen“ oder Zustandslinien ergeben sich als Komplement der Verteilungsfunktion der Nutzungsdauerwerte für das Erreichen der verschiedenen Abnutzungszustände.

Für nicht ausgefallene, abnutzungsgefährdete Einzelteile erfolgt die Schätzung der Überlebenswahrscheinlichkeit nicht nur aufgrund der Grenznutzungsdauerbetrachtung (s. a. [1] [3]), sondern auch auf Grund der Einschätzung des Abnutzungszustands. Nach dem Erprobungsende streuen die Nutzungsdauerwerte der Maschinen und die Schädigungszustände der Einzelteile.

Im Bild 1 sind die bei i Elementen möglichen Extremfälle dargestellt. Falls auf den kleinsten Nutzungsdauerwert der Erprobungsdauer orientiert wird, um keine lineare Extrapolation des Verschleißverlaufs durchzuführen, ist im Bild 1a der Abnutzungszustand ρV_1 und im Bild 1b bei der Nutzungs-

dauer t_1 der Zustand ρV_i wiedergegeben. Das Überschreiten des betrachteten Zustands ρ wird als ungünstiges Ereignis, ähnlich dem Ausfall, betrachtet. Die Wahrscheinlichkeit R ist dementsprechend die Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens des Zustands ρ . Da die Wahrscheinlichkeit R für eine kleine Stichprobe bestimmt wird, sind Vertrauensgrenzen anzugeben. Daraus ergibt sich das Intervall $R_u \leq R \leq R_o$ für die statistische Sicherheit S nach der Binomialverteilung, in dem der Zustandswert ρ zur Nutzungsdauer t liegt. Um eine untere bzw. obere Grenze für die Zustandslinie ρ zu konstruieren, ist eine Extrapolation bzw. Interpolation durchzuführen [1]. Hierzu ist die Kenntnis des Variationskoeffizienten der Nutzungsdauerverteilung erforderlich. Mauritz [4] rechnet unter der Bedingung, daß sich sowohl die inneren als auch die äußeren Verschleißbedingungen einer Grundgesamtheit als Funktion der Nutzungsdauer stochastisch verändern, mit konstantem Variationskoeffizienten v in der Größenordnung $0,2 \leq v \leq 0,4$. Auch Gäbler [2] bestimmt die Zustandslinien mit konstantem Variationskoeffizienten. Wie bei einer Grenznutzungsdaueranalyse [1] ist bei der Untersuchung des Abnutzungszustands die untere Grenze R_u , d. h. die einseitige Betrachtungsweise, ausreichend. Die untere Grenze R_u wird mit der statistischen Sicherheit S angegeben und besagt, daß mit der Wahrscheinlichkeit S die Wahrscheinlichkeit, daß der Zustand ρ nicht überschritten wird, größer als R_u ist.

Ist die Betriebssicherheitsgrenze bzw. die Aussonderungsgrenze bekannt, so ist sie Grundlage für die Betrachtung. Im Bild 2 sind zum Nutzungsdauerzeitpunkt t_1 alle gemessenen Zustandswerte kleiner als die Betriebssicherheitsgrenze. Die untere Grenze R_u läßt sich für den Zustand ρV_B zum Zeitpunkt t_1 bestimmen, wobei der Schätzwert der beobachteten Stichprobe $\hat{R} = 1$ ist. Aus Bild 2 ist ersichtlich, daß bei allen Einzelteilen sowohl bei der Nutzungsdauer t_1 als auch bei t_2 die Schädigungszustände den Wert V_B nicht überschritten haben, d. h. alle gemessenen Werte V_i — bezogen auf V_A — sind nicht größer als der Zustand ρV_B .

Unter Berücksichtigung des linearen Verschleißverlaufs besteht die Möglichkeit, den größten in der Stichprobe vorhandenen Nutzungsdauerwert als Betrachtungswert anzunehmen (Bild 2). Der entstehende Fehler durch die lineare Extrapolation des Schädigungs-

ungsverlaufs wird mit verringerter Streuung der Nutzungsdauerwerte kleiner. Auch aus dieser Sicht ist die gleichmäßig hohe Auslastung der Erprobungsmaschinen notwendig. Aus Bild 3 kann die untere Grenze der Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens R_u in Abhängigkeit vom untersuchten Stichprobenumfang n entnommen werden. Die Darstellung erfolgte für verschiedene Elemente k , die den definierten Schädigungszustand überschritten haben.

Die statistische Sicherheit S beträgt 75%. Im Bild 4 ist die untere Grenze der Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens der Zustandslinie ρV_B dargestellt, d. h. mit einer Wahrscheinlichkeit $S = 75\%$ liegt der wahre Verlauf für $R(t)$ oberhalb der Zustandslinie ρV_{B1} (Betrachtung bei t_1) bzw. ρV_{B2} (Betrachtung bei t_2).

3. Beispiel für die praktische Anwendung

Die Vermessung des Wälzlagersitzes einer Welle wurde während der Kampagnefestüberholung durchgeführt. Sie erfolgte jeweils um 120° versetzt, woraus der Mittelwert errechnet wurde. Zur Auswertung kam die Meßstelle mit dem größten Schädigungszustand am Ende der Kampagne.

Die Festlegung der Aussonderungsgrenze erfolgte durch den Konstrukteur aus funktioneller Sicht. Die Aussonderungsgrenze ist der von der unteren Fertigungsgrenze berechnete zulässige Verschleißbetrag. Ausgehend von dem zulässigen Spiel der Paarung legte der Konstrukteur den Verschleißbetrag für die Welle fest. Auch die Betriebssicherheitsgrenze wurde durch den

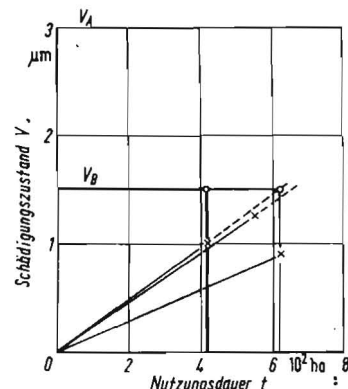


Bild 2. Schädigungszustand V eines Einzelteils (3 Maschinen lieferten Informationen)

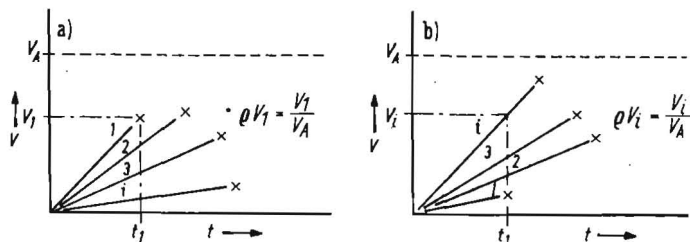


Bild 1 Schädigungszustände von i Elementen am Ende der Erprobungsdauer

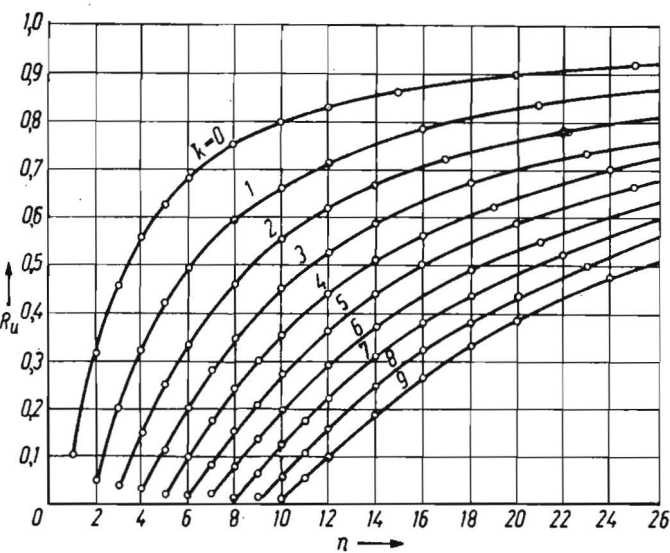


Bild 3. Untere Grenze der Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens eines Schädigungszustands R_u in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang n ; s. a. Tafeln der Binomialverteilung [5] [6]

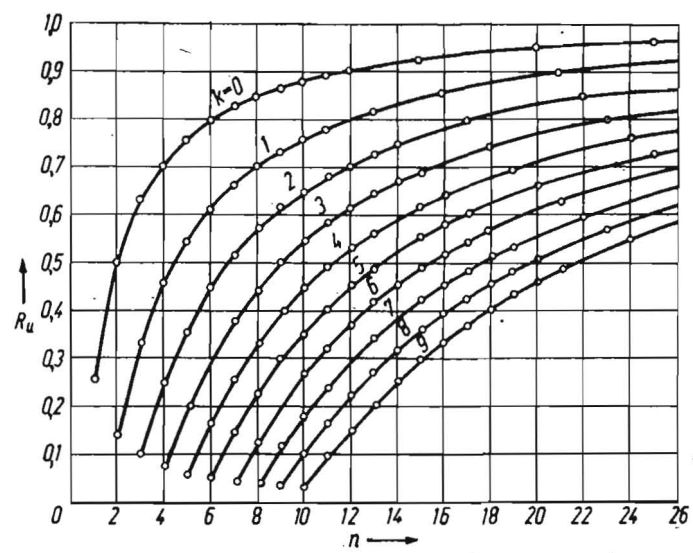


Bild 4. Untere Grenze der Wahrscheinlichkeit, daß die Zustandslinie qV_B nicht überschritten wird, als Funktion der Nutzungsdauer ($v = 0,4, S = 75\%$)

Konstrukteur unter Berücksichtigung der Hinweise des Erzeugnisgruppenleitbetriebs für spezialisierte Instandsetzung bestimmt. Bei zwei untersuchten Einzelteilen und einer zugrunde gelegten Nutzungsdauer $t = 1237$ ha (Maschine 1: $t = 1237$ ha; Maschine 2: $t = 664$ ha) wurde die Betriebssicherheitsgrenze von einem Element überschritten ($k = 1$; k Anzahl der Überschreitungen der Betriebssicherheitsgrenze), so folgt die Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens der Betriebssicherheitsgrenze $R = 0,5$ bei einer Nutzungsdauer $t = 660$ ha bzw. $R = 0,9$ bei $t = 320$ ha. Dieses Ergebnis folgt aus der unteren Grenze $R_u = 0,05$ für $n = 2$ und $k = 1$ (Bild 5) zur Nutzungsdauer $t = 1237$ ha sowie dem bekannten Variationskoeffizienten der Nutzungsdauer $v = 0,4$. Aus Tafel 1 folgt für

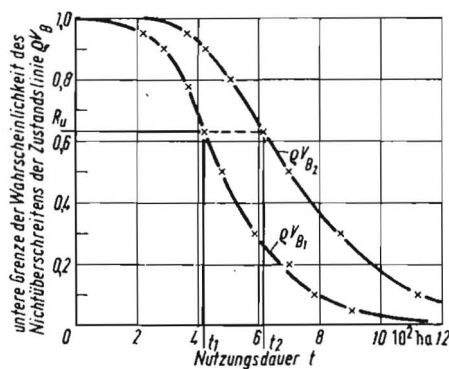


Bild 5. Untere Grenze der Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens eines Schädigungszustands R_u in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang n [3] ($S = 90\%$)

$t_{0,5}/t_{0,05}$ bei $v = 0,4$ der Wert 0,531 (bei Interpolation ist die untere Grenze des Bereichs zu wählen). Daraus ergibt sich $t_{0,5} \approx 660$ ha, d. h. bei $t = 660$ ha beträgt die untere Grenze der Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens der Betriebssicherheitsgrenze $R_u = 0,5$ ($S = 90\%$). Entsprechend ergibt sich bei $t = 320$ ha die untere Grenze zu $R_u = 0,9$.

4. Zusammenfassung

Während der Entwicklungsmustererprobung sind die Informationen der Rückvermessung bei der Kampagnestüberholung für die Schätzung der Überlebenswahrscheinlichkeit der Einzelteile zu nutzen. Mit der vorliegenden Methode können bei verschleißgefährdeten Einzelteilen am Ende der Kampagne Schätzungen der Wahrscheinlichkeit des Nichtüberschreitens von Aussonderungsbzw. Betriebssicherheitsgrenzen erfolgen.

Variationskoeffizient v	0,1	0,2	0,3	0,4
$t_{0,98}$	0,729 ... 0,815	0,543 ... 0,663	0,384 ... 0,547	0,179 ... 0,454
$t_{0,5}$	0,790 ... 0,848	0,638 ... 0,718	0,459 ... 0,615	0,342 ... 0,531
$t_{0,95}$	0,818 ... 0,863	0,678 ... 0,744	0,544 ... 0,649	0,410 ... 0,567
$t_{0,5}$	0,846 ... 0,875	0,723 ... 0,774	0,600 ... 0,685	0,487 ... 0,610
$t_{0,9}$	0,896 ... 0,919	0,822 ... 0,845	0,735 ... 0,779	0,660 ... 0,722
$t_{0,5}$	0,942 ... 0,950	0,891 ... 0,899	0,843 ... 0,857	0,784 ... 0,817
$t_{0,6}$	0,973 ... 0,975	0,948 ... 0,950	0,920 ... 0,929	0,895 ... 0,907
$t_{0,5}$	0,957 ... 0,977	0,949 ... 0,953	0,927 ... 0,929	0,801 ... 0,908
$t_{0,4}$	0,951 ... 0,953	0,900 ... 0,908	0,857 ... 0,864	0,792 ... 0,817
$t_{0,3}$	0,920 ... 0,937	0,846 ... 0,865	0,781 ... 0,798	0,717 ... 0,736
$t_{0,5}$	0,881 ... 0,898	0,775 ... 0,813	0,689 ... 0,723	0,611 ... 0,646
$t_{0,1}$	0,864 ... 0,886	0,745 ... 0,792	0,647 ... 0,693	0,568 ... 0,612
$t_{0,07}$	0,850 ... 0,878	0,714 ... 0,778	0,617 ... 0,674	0,531 ... 0,588
$t_{0,5}$	0,816 ... 0,856	0,664 ... 0,741	0,547 ... 0,626	0,454 ... 0,533

Tafel 1
Prozentuale Nutzungsdauererhältnisse in Abhängigkeit vom Variationskoeffizienten v für verschiedene mögliche Verteilungsfunktionen (Auszug aus [3]).
Anm.: Häufig werden Nutzungsdauererhältnisse durch die Gaußsche Normalverteilung widerspiegelt. Quantile der Gaußschen Normalverteilung können z. B. [6] entnommen werden

Literatur

- [1] Stock, G.: Schätzung der Zuverlässigkeitskennwerte eines landtechnischen Arbeitsmittels bis zum Beginn der Serienproduktion. agrartechnik 26 (1976) H. 9, S. 416—418.
- [2] Gäbler, K.: Beitrag zur Optimierung des Aufwandes für die technische Diagnose von Traktorenmotoren. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation 1973.
- [3] Stock, G.: Schätzung der Zuverlässigkeitskennwerte eines landtechnischen Arbeitsmittels bis zum Beginn der Serienproduktion. TU Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation 1975.
- [4] Mauritz, P.: Methoden zum Bestimmen der Betriebsgrenze für Einzelteile und Baugruppen unter Berücksichtigung der Schädigungsbedingungen und der Instandhaltungsmethoden. Universität Rostock, Dissertation 1973.
- [5] Owen, D.B.: Handbuch statistischer Tafeln. Moskau 1973.
- [6] Müller, P. H.; Neumann, P.; Storm, R.: Tafeln der mathematischen Statistik. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1973. A 1492

1) Diese Untersuchung wurde im Rahmen von Forschungsarbeiten des Verfassers an der Technischen Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Bereich Instandhaltung, durchgeführt