

# Forderungen an die Entwicklung von Diagnoseverfahren zur Realisierung der einparametrischen Restbetriebsdauerprognose

Dozent Dr. sc. techn. W. Schiroslawski, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik  
 Dr.-Ing. Rebekka Festersen, KDT, VEB Wissenschaftlich-Technisch-Ökonomisches Zentrum Landtechnische Instandhaltung Berlin, Außenstelle Rostock

## 1. Gegenwärtige Situation

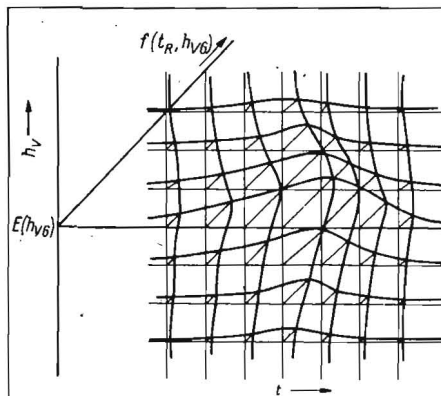
Die Anwendung der Instandhaltungsmethode nach Überprüfung ist eine Möglichkeit zur Durchsetzung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts in der Instandhaltung. Die Restbetriebsdauerprognose trägt dazu bei, die Ergebnisse der technischen Diagnostik richtig zu bewerten und die Ziele der Instandhaltungsmethode nach Überprüfung zu realisieren. Eine erfolgreiche Anwendung der Restbetriebsdauerprognose in der Praxis erfordert neben der Bereitstellung einer einfachen, handhabbaren Methode auch die Kenntnis der Anwendungsgrenzen. Unter den gegebenen Praxisbedingungen ist eine sinnvolle Restbetriebsdauerprognose kaum möglich. Um diese Situation zu verbessern, müssen konkrete Anforderungen an die Diagnoseverfahren gestellt werden. Im folgenden werden Möglichkeiten zur Quantifizierung dieser Forderungen beschrieben.

## 2. Grundlagen der Restbetriebsdauerprognose

Infolge der Vielzahl der Einflüsse auf den Schädigungsprozeß, den Neuzustand, die Aussonderungsgrenze, den Zusammenhang zwischen Struktur- und Diagnoseparameter und ihres stochastischen Charakters wurde zur Modellierung des Abnutzungsprozesses ein stochastischer Prozeß – der Wiener-Prozeß – gewählt [1, 2]. Die Modellierung des Abnutzungsprozesses beginnt zum Überprüfungszeitpunkt. Beim Erreichen der Aussonderungsgrenze entsteht als Ausfalldichte eine Inverse Gaußverteilung, die gleichzeitig die Dichtefunktion der Restbetriebsdauer ist [1]. Aus dieser Dichtefunktion wird die gammaprozentuale Restbetriebsdauer bestimmt.

Die Qualität der Restbetriebsdauerprognose wird von der Genauigkeit des Diagnosebefunds und der Streuung des Abnutzungsprozesses entscheidend beeinflusst. Das angewendete Diagnoseverfahren, die entsprechende Technologie und deren Einhaltung bestimmen die Genauigkeit dieser Größen. Die Durchführung der Restbetriebsdauerprognose ist nur sinnvoll, wenn die Streuung

Bild 1. Zweidimensionale Ausfalldichte



$$E_{TR} = \begin{cases} \frac{E_R}{v_m} \left[ \frac{D_R}{E_R} \varphi \left( \frac{E_R}{D_R} \right) + \varphi \left( \frac{E_R}{D_R} \right) \right] & \text{für } E_R \neq 0 \\ \frac{D_R}{\sqrt{2\pi} v_m} & \text{für } E_R = 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$D_{TR}^2 = \varphi \left( \frac{E_R}{D_R} \right) \left\{ \frac{D^2}{v_m^3} E_R + \frac{D_R}{v_m^2} + \frac{E_R}{v_m^2} \left[ 1 - \varphi \left( \frac{E_R}{D_R} \right) \right] - 2 \frac{D_R E_R}{v_m} \left( \frac{E_R}{D_R} \right) \right\} + \varphi \left( \frac{E_R}{D_R} \right) \left\{ \frac{D_R}{v_m^2} \left[ E_R + \frac{D^2}{v_m} - \frac{D_R^2}{v_m^2} \right] \varphi \left( \frac{E_R}{D_R} \right) \right\} \quad (2)$$

des Diagnoseparameters über der Zeit eine bestimmte Größe nicht überschreitet und eine ausreichende Genauigkeit des Diagnosebefunds erreicht wird. Mit der Quantifizierung des Einflusses des Diagnoseverfahrens und der Diagnosetechnologie auf die Restbetriebsdauer wird die Möglichkeit geschaffen, aus der Sicht der einparametrischen Prognose Genauigkeitsforderungen zu stellen.

## 3. Zusammenhang zwischen der Genauigkeit des Diagnoseverfahrens, der Technologie und der Restbetriebsdauer

Die Genauigkeit der Restbetriebsdauerprognose wird durch die Streuung des Diagnosebefunds und die Streuung des Abnutzungsprozesses beeinflusst. Die Diagnosetechnologie wirkt sich auf die Streuung der Abnutzungsreserve über die Streuung des Diagnosebefunds und die Einhaltung der Aussonderungsgrenze aus. Um diese Einflüsse auf die Restbetriebsdauer zu berücksichtigen, muß von einem Modell mit streuender Abnutzungsreserve ausgegangen werden.

Das Modell des Wiener-Prozesses wird auf streuende Abnutzungsreserve erweitert [1] und ist damit zur Quantifizierung der o. g. Einflüsse geeignet. Für das erweiterte Modell entsteht eine zweidimensionale Dichtefunktion des Ausfallverhaltens (Bild 1), über deren Randdichte der Erwartungswert der Restbetriebsdauer nach Gl. (1) und die Streuung der Restbetriebsdauer nach Gl. (2) ermittelt werden können (s. o.).

Die Streuungen aus dem Diagnoseverfahren und aus dem Abnutzungsprozeß gehen in Gl. (2) ein. Anhand von Beispielrechnungen lassen sich diese Abhängigkeiten grafisch darstellen (Bild 2). Um Abbildungen zu erzielen, die allgemeingültig sind, wird mit den Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve, des Abnutzungsprozesses und der Restbetriebsdauer gearbeitet (Bild 3). Das Ablesen der Größe der zulässigen Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve und des Abnutzungsprozesses in Abhängigkeit vom Variationskoeffizienten der Restbetriebsdauer aus dem Diagramm (Bild 3) ist zu kompliziert. Daher werden die notwendigen In-

formationen in Form von Relativitätsdiagrammen zusammengestellt.

## 4. Relativitätsdiagramme

Die Punkte gleicher Variationskoeffizienten der Restbetriebsdauer aus Bild 3 werden in sog. Relativitätsdiagramme eingetragen. So entsteht für jeweils einen Variationskoeffizienten der Restbetriebsdauer ein Relativitätsdiagramm, aus dem abgelesen werden kann, wie groß die Variationskoeffizienten des Abnutzungsprozesses und der Abnutzungsreserve werden dürfen, ohne den angegebenen Variationskoeffizienten der Restbetriebsdauer zu überschreiten (Bild 4). Nachfolgend sollen an einem Beispiel die Anwendungsmöglichkeiten dieser Relativitätsdiagramme gezeigt werden. Die angestrebte Genauigkeit der Restbetriebsdauerprognose für zu entwickelnde Diagnoseverfahren wird durch einen Variationskoeffizienten von 0,5 ausgedrückt [1]. Aus dem dazugehörigen Diagramm (Bild 4a) kann die zulässige Größe der Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve und des Abnutzungsprozesses abgelesen werden, um diese Forderung zu erfüllen. Der Punkt, der sich aus der Kombination dieser beiden Variationskoeffizienten ergibt, muß auf der eingezeichneten Linie ( $V_{TR} = 0,5$ ) oder darunter ( $V_{TR} < 0,5$ ) liegen. Das ist z. B. für Punkt I oder Punkt II im Bild 4a erfüllt. Die Genauigkeitsanforderung für den Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve liegt im Punkt I bei 0,22 und im Punkt II bei 0,29. Die Genauigkeitsforderung für den Variationskoeffizienten des Abnutzungsprozesses liegt im Punkt I bei 0,52 und im Punkt II bei 0,31.

Eine weitere Möglichkeit der Nutzung der Relativitätsdiagramme besteht darin, daß bei bekannten Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve festgestellt werden kann, wie groß der Variationskoeffizient des Prozesses maximal werden darf, um die geforderte Genauigkeit einzuhalten. Hat z. B. die Abnutzungsreserve einen Variationskoeffizienten von 0,22 (Bild 4a, Punkt I), darf der Variationskoeffizient des Abnutzungsprozesses maximal 0,52 betragen. Die gleiche Vorgehensweise ist möglich, wenn der Variationskoeffizient des Abnutzungsprozesses bekannt ist.

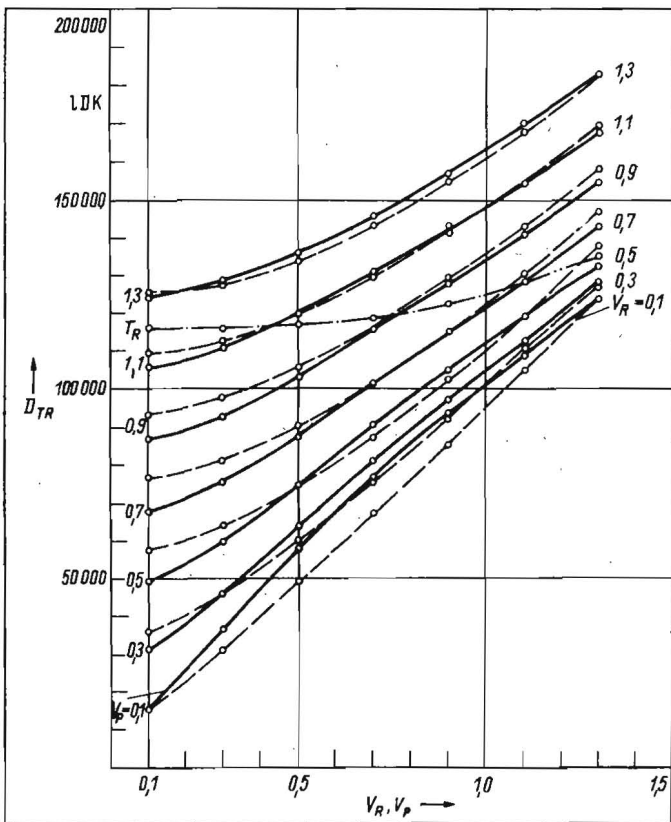


Bild 2. Streuung der Restbetriebsdauer  $D_{TR}$  in Abhängigkeit von den Variationskoeffizienten des Abnutzungsprozesses  $V_p$  und der Abnutzungsreserve  $V_R$  am Beispiel des Traktors ZT300 (Ölstrommessung bei 0,2 MPa)

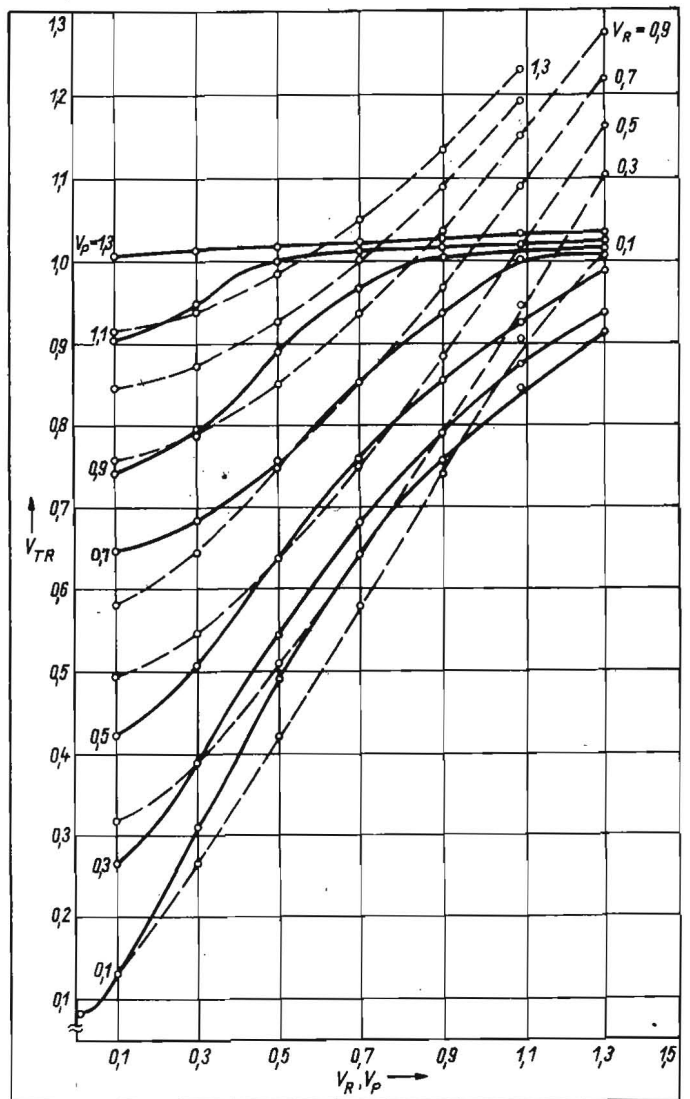
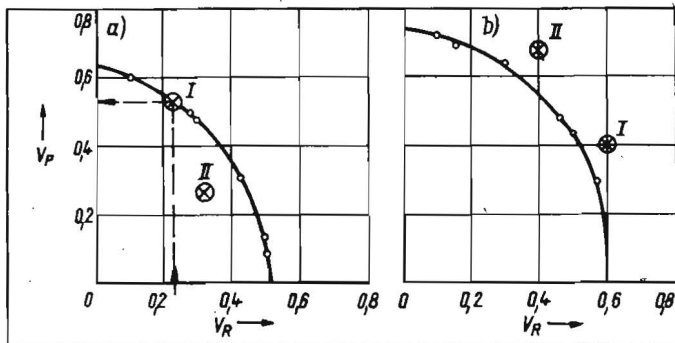


Bild 3. Zusammenhang zwischen den Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve  $V_R$  und der Restbetriebsdauer  $V_{TR}$

Bild 4. Relativitätsdiagramme zur Bestimmung der Größen der Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve  $V_R$  und des Abnutzungsprozesses  $V_p$  bei vorgegebenem Variationskoeffizienten der Restbetriebsdauer  
a)  $V_{TR} = 0,5$  b)  $V_{TR} = 0,6$

Sind beide Variationskoeffizienten bekannt, entsprechen aber nicht einer geforderten Genauigkeit der Restbetriebsdauer (Punkt liegt oberhalb der Kurve), kann abgelesen werden, um wieviel die Variationskoeffizienten der Abnutzungsreserve und des Abnutzungsprozesses verringert werden müssen, um diese Genauigkeitsforderung zu erfüllen. Daraus kann abgeleitet werden, ob es günstiger ist, die Streuung der Abnutzungsreserve durch Einhaltung der Aussonderungsgrenze, kleinere Fertigungstoleranzen u. ä. zu verringern, oder ob die Verringerung der Streuung des Abnutzungsprozesses durch verbesserte Bestimmung des Abnutzungs Zustands, verbesserte Pflege und Wartung u. ä. effektiver ist. Soll z. B. eine Genauigkeit der Restbetriebsdauer von  $V_{TR} = 0,6$  realisiert werden (Bild 4b), aber der Variationskoeffizient des Abnutzungsprozesses beträgt 0,4 und der der Abnutzungsreserve 0,6, wird diese Forderung nicht erfüllt (Punkt I liegt oberhalb der Kurve). Dann muß entweder der Variationskoeffizient des Abnutzungsprozesses um 0,3 oder der der Abnutzungsreserve um 0,09 verkleinert werden. In diesem Beispiel bringt die Verringerung des Variationskoeffi-

zienten der Abnutzungsreserve einen größeren Effekt. Hat der Variationskoeffizient des Abnutzungsprozesses die Größe von 0,68 und der der Abnutzungsreserve von 0,4 (Bild 4b, Punkt II), ist es günstiger, den Variationskoeffizienten des Abnutzungsprozesses um 0,13 zu senken, als den der Abnutzungsreserve um 0,2.

Wie die Einhaltung der Genauigkeitsforderungen wirksam realisiert wird, ist im konkreten Anwendungsfall einzeln zu entscheiden.

Soll mit der Restbetriebsdauerprognose ein bestimmter Zeitraum überschaut werden (z. B. ein Planungszeitraum), kann bei definiertem Abnutzungs Zustand der Variationskoeffizient der Restbetriebsdauer bestimmt werden, der zur Realisierung des vorgegebenen Zeitraums nötig ist [1]. Mit Hilfe des Relativitätsdiagramms für diesen Variationskoeffizienten kann dann die Anforderung an die Genauigkeit des Diagnoseverfahrens und der -technologien konkretisiert werden. Die Verminderung der Streuung des Abnutzungsprozesses ist durch verbesserte Diagnoseverfahren nur begrenzt möglich (Herstellung, Instandhaltung).

## 5. Zusammenfassung

Auf der Grundlage der Modellierung des Abnutzungsprozesses durch einen stochastischen Prozeß (Wiener-Prozeß) mit streuender Abnutzungsreserve und durch die Herleitung der Randdichte der zweidimensionalen Ausfalldichte wird die Quantifizierung der Genauigkeitsforderungen an Diagnoseverfahren und -technologien möglich. Die Darstellung in Relativitätsdiagrammen gestattet ein einfaches Ablesen der gewünschten Größen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten der Relativitätsdiagramme sind in Beispielen dargestellt.

## Literatur

- [1] Festersen, R.: Restbetriebsdauerprognose – Grundlagen und Anwendungsbereiche, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Dissertation A 1986.
- [2] Thum, H.; Pieper, V.; Tiedge, J.: Zuverlässigkeit im Maschinenbau. TH Magdeburg, Sektion Mathematik/Physik, Forschungsbericht 1980 (unveröffentlicht).