

Betriebs- und Aussonderungsgrenze bei landtechnischen Arbeitsmitteln

Dipl.-Ing. P. MAURITZ, KDT*

Die exakte Verwirklichung der planmäßig vorbeugenden Instandhaltung nach Überprüfung — eine Hauptmethode in der Instandhaltung — setzt die Festlegung der Schädigungsgrenzen, speziell der Aussonderungs- und Betriebsgrenzen, voraus /1/.

Aussonderungsgrenze und Betriebsgrenze sind entscheidende Bedingungen für die Optimierung des Überprüfungsaufwands und der Materialkosten (Ausnutzung der Restnutzungsdauer).

1. Begriffserklärung

Aus der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Aussonderungsgrenze und Betriebsgrenze unter Berücksichtigung der Instandhaltungsmethoden ergab sich die Notwendigkeit, die Begriffe der Grenzen der Schädigung laut TGL 80-22 278 /2/ anhand des Betriebstauglichkeitsverhaltens zu analysieren und z. T. neu zu definieren.

Entscheidend für den Instandhaltungstechnischen Eingriff bei den technischen Arbeitsmitteln ist vor allem die Betriebstauglichkeit. Andere Gesichtspunkte sind: Zuverlässigkeit, Sicherheit, Auftreten von Nachfolgeschäden u. a. m.

Unter Berücksichtigung aller dieser Faktoren läßt sich die in Bild 1 dargestellte Einteilung der Maschinen, Baugruppen und Einzelteile vornehmen.

Ein Schaden wird nur im Fall *a*) zugelassen, d. h., hierbei wendet man die Ausfallmethode an. Die Maschine, die Baugruppe oder das Element ist bis zur BT_u betriebstauglich und fällt nach Überschreitung dieser Grenze plötzlich aus. Bei den Arbeitsmitteln entsprechend Darstellung *b*) wird aufgrund der anderen Anforderungen (Sicherheit, Zuverlässigkeit, Nachfolgeschäden usw.) das Erreichen von BT_u durch Aussonderung spätestens bei BT_a verhindert. Darstellung *c*) stellt das Betriebstauglichkeitsverhalten von Arbeitsmitteln dar, die die Betriebstauglichkeit durch das Überschreiten von zulässigen Veränderungen verlieren. Es tritt also — aus dem Betriebstauglichkeitsverhalten ersichtlich — kein plötzlicher Ausfall auf.

Obwohl sowohl bei BT_u (Fall *a*) als auch bei BT_a (Fall *c*) die Nutzungsdauerreserve vollständig ausgenutzt ist, müssen diese beiden Fälle unterschieden werden, da nur im Fall *a*)

ein plötzlicher Ausfall, d. h. ein Schaden auftritt. Es ist also notwendig, neben der Aussonderungsgrenze im Fall *c*) eine weitere Grenze der Schädigung zu definieren, die die Grenze zwischen Betriebstauglichkeit und Schaden charakterisiert. Diese Grenze soll als Schadensgrenze definiert werden. Es ist der „Kennwert zur Abgrenzung zwischen Betriebstauglichkeit und Schaden. Die Schadensgrenze äußert sich durch plötzlichen Ausfall der Maschine, der Baugruppe oder des Einzelteils“ /3/.

Als Oberbegriff für alle Grenzen der Schädigung soll der Begriff „Schädigungsgrenzen“ geprägt werden.

Die TGL 80-22 278 wäre aufgrund dieser Ergebnisse wie folgt abzuändern:

- 2.6.1. Schädigungsgrenzen
(Definition wie in der TGL Schadensgrenze)
- 2.6.1.1 Betriebsgrenze (wie TGL)
- 2.6.1.2 Aussonderungsgrenze (wie TGL)
- 2.6.1.3 Schadensgrenze (Definition — siehe oben!)
- 2.6.1.4 Verschrottungsgrenze (wie TGL)

2. Spezielle Probleme der Betriebsgrenze und Aussonderungsgrenze

Aus Bild 1 ist ersichtlich, daß nicht grundsätzlich, d. h. für die Anwendung aller Instandhaltungsmethoden, die Schädigungsgrenzen — Betriebs- und Aussonderungsgrenze — bekannt sein müssen.

EICHLER /4/ leitet ab, daß die o. g. Grenzen nur bei der planmäßig vorbeugenden Instandhaltung (PVI) nach Überprüfung erforderlich sind.

Aus der exakten Analyse der Methoden der PVI ergibt sich eine weitere Einschränkung. Bei der PVI mit laufenden Überprüfungen wird das Element aufgrund des Überwachungssystems erst unmittelbar vor Eintritt des Schadens bzw. vor Überschreitung der Aussonderungsgrenze getauscht bzw. instand gesetzt.

Der Zusammenhang Betriebsgrenze — Aussonderungsgrenze wird folglich nur hinsichtlich der PVI nach Überprüfung „mit konstanter Zuverlässigkeit“ und „mit starren Überprüfungssterminen“ analysiert.

2.1. Allgemeine Darstellung des Zusammenhangs

In /5/ wurde bereits auf den Zusammenhang, dargestellt an einer Verschleißkurve, hingewiesen.

* Universität Rostock, Sektion Landtechnik (Direktor: Prof. Dr.-Ing. habil. CHR. EICHLER)

(Schluß von Seite 553)

so mit Fett bzw. Oel-Paraffin-Gemisch zu konservieren, daß die Funktionsfähigkeit in vollem Umfang erhalten bleibt.

Zusammenfassung

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf einen Kettentrieb, dessen Betriebs- und Nutzungsbedingungen als repräsentativ für die Mehrheit der in landwirtschaftlichen Maschinen genutzten Kettentriebe angenommen werden können.

Die untersuchten Kettenräder mit 20 bzw. 27 Zähnen repräsentieren die Kettenräder eines großen Bereiches des derzeitigen Kettenradsortiments. Die empfohlenen Betriebs- und Aussonderungsgrenzen können auf Kettenräder mit Zähnezahlen zwischen 17 und 30, die unter ähnlichen Betriebs- und Nutzungsbedingungen eingesetzt sind, übertragen werden. Sie bieten dem Instandsetzungswesen eine reale Basis, die Mehrzahl der in Kartoffel- und Rübenvollerntern, Häckslern und anderen Maschinen vorhandenen Rollenketten und Kettenräder besser als bisher zu beurteilen.

Um die Probleme der Kampagnenfestmachung zu berücksichtigen, ist es notwendig, die empfohlenen Betriebsgrenzen mit den Instandsetzungswerken (DDR-Leitbetrieben) abzustimmen. Im Industriezweig Landmaschinenbau werden jährlich rund 100 000 Kettenräder hergestellt, die im Bereich der Zähnezahlen 17 bis 30 liegen.

Unter Anwendung der empfohlenen Betriebs- und Aussonderungsgrenzen können diese Stückzahlen bedeutend gesenkt und erhebliche Mittel eingespart werden. Eine wichtige Voraussetzung dazu ist die einwandfreie Konservierung der Ketten außerhalb der Einsatzzeit.

Die Betriebsbedingungen des untersuchten Kettentriebes und die erzielten Ergebnisse erlauben eine Übertragung der empfohlenen Verschleißgrenzen auf andere, unter ähnlichen Betriebsbedingungen laufende Rollenkettentriebe auch anderer Kettenteilung ohne nochmalige Erprobung.

Unter ähnlichen Betriebsbedingungen laufende Rollenkettentriebe sind Kettentriebe, die offen betrieben und nicht oder unregelmäßig geschmiert werden, Staub- und Witterungseinflüssen ausgesetzt sind sowie annähernd gleichgroße Kettengeschwindigkeit und Leistungsübertragung aufweisen.

Literatur

- /1/ SCHULZE, J.: Teilbericht 4 zum Forschungsthema „Verschleißminderung“. Nr. 70-233/8; „Untersuchungen über Verschleißgrenzen für Rollenketten und Kettenräder“. Abschlußbericht des ILT Leipzig 1970
- /2/ BERGE, H. P.: Abschlußbericht „Erprobungen von Kettenrädern aus Kugelgraphitstein“ Nr. 66-199. Abschlußbericht des ILT Leipzig
- /3/ RUNKL, P.: Teilbericht 1 zum Forschungsthema „Verschleißminderung“ Nr. 68-233. Abschlußbericht des ILT Leipzig 1968 A 8407

die bis zum Ausfall betriebstauglich sind

die nach Erreichen einer bestimmten Veränderung betriebstauglich werden
(Veränderung: Abmessung, Form, geometrische Zuordnung u.a.m.)

unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit, Sicherheit, Nachfolgeschäden u.a. bis zum Ausfall zu nutzen

unter Berücksichtigung der Zuverlässigkeit, Sicherheit, Nachfolgeschäden u.a. nicht bis zum Ausfall zu nutzen

nur bis zur unteren Grenze der o.g. Veränderungen zu nutzen

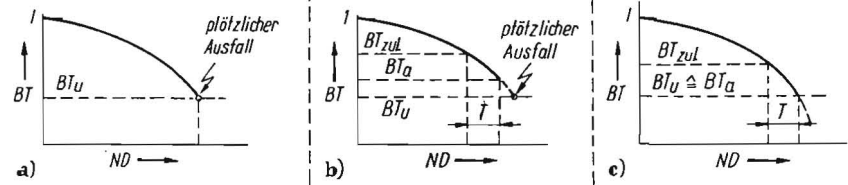


Bild 1
Ableitung der Schädigungsgrenzen aus dem Betriebsstauglichkeitsverhalten; BT Betriebsstauglichkeit ($1 \geq BT \geq BT_u$); BT_u untere Grenze der Betriebsstauglichkeit (Schadensgrenze); BT_a Grenze der Betriebsstauglichkeit, bei der die Veränderungen eine Aussonderung erfordern (Aussonderungsgrenze); BT_{zul} zulässige Veränderung der Betriebsstauglichkeit, um BT_u nach einem vorher bestimmten Nutzungsdauerzeitraum nicht zu überschreiten

Bild 2
Darstellung des Zusammenhangs zwischen Schädigungsverhalten und Zuverlässigkeitsfunktion

Bild 3
Darstellung der berücksichtigten Instandhaltungsmethode

Wenn in diesem Beitrag auch vom Verschleiß und Verschleißverhalten berichtet wird, dann nur als spezielle Form des Schädigungsverhaltens.

Unter der Annahme einer mittleren Verschleißkurve und eines Mittelwerts der Nutzungsdauer zwischen zwei Überprüfungen bzw. zwei Instandsetzungen ergibt sich folgender Zusammenhang zwischen Aussonderungsgrenze und Betriebsgrenze

$$V_b = V_a - T \cdot \frac{dv}{dt} \quad (1)$$

Darin bedeuten:

- V_b Betriebsgrenze
- V_a Aussonderungsgrenze
- T Nutzungsdauer zwischen zwei Überprüfungen bzw. zwei Instandsetzungen
- $\frac{dv}{dt}$ Verschleißgeschwindigkeit

Für die spezielle Darstellung des Zusammenhangs unter Berücksichtigung der PVI nach Überprüfung und der Streuung der Schädigung und der Grenznutzungsdauer reicht Gleichung (1) nicht aus. Es ist notwendig, die Gleichung (1) zu spezifizieren.

2.2 Zusammenhang von V_a und V_b bei der PVI nach Überprüfung unter Gewährleistung einer bestimmten Zuverlässigkeit

Im Bild 2 ist der Zusammenhang des Schädigungsverhaltens in Form des Verschleißes und der Zuverlässigkeitsfunktion schematisch dargestellt.

$V_a R_{gef}$ stellt die Schädigungsgrenze dar, die sich aufgrund der geforderten Zuverlässigkeit R_{gef} und der mittleren Schädigungscharakteristik ergibt. Bei Berücksichtigung der Streuung der Schädigungsgeschwindigkeit muß entsprechend der geforderten statistischen Sicherheit X mit einem kleineren Wert V_a gerechnet werden.

$$V_a = V_{a\ gef} - X \cdot S \left(\frac{dv}{dt} \right) \quad (2)$$

Analytisch läßt sich der in Bild 2 dargestellte Zusammenhang wie folgt angeben:

$$V = f(t) \quad (3)$$

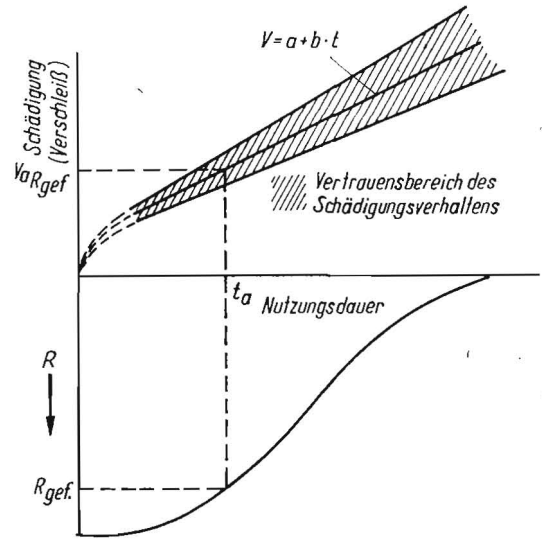
$$R = g(t) \quad (4)$$

Aus Gleichung (3) und (4) ergibt sich die Beziehung

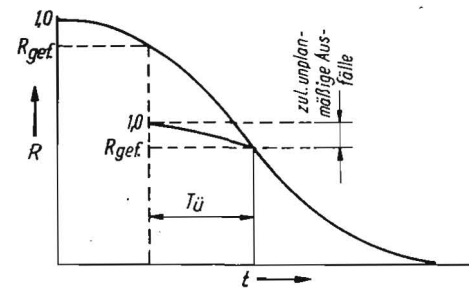
$$V = h(R) \quad (5)$$

Darin sind

- V Verschleiß
- R Zuverlässigkeit

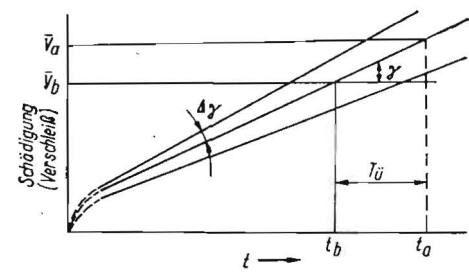


2



3

Bild 4. Schädigungsverhalten unter Berücksichtigung der Streuung der Verschleißgeschwindigkeit und des Überprüfungsintervalls $T_{ü}$; $\tan \gamma = \frac{dv}{dt}$ Verschleißgeschwindigkeit (Mittelwert), $\tan \gamma = S \left(\frac{dv}{dt} \right)$ Standardabweichung der Verschleißgeschwindigkeit



Voraussetzung für die Lösung der Gleichung (5) ist die Kenntnis des Schädigungsverhaltens des Untersuchungsobjektes (aus statistisch-experimentellen Untersuchungen), der entsprechenden Zuverlässigkeitsfunktion (Abgangskurve) und der geforderten Zuverlässigkeit R_{gef} .

Bei der PVI nach Überprüfung unter Gewährleistung einer bestimmten Zuverlässigkeit wird die Betriebsgrenze aufgrund des sich aus der geforderten Zuverlässigkeit ergebenden Nutzungsdauerzeitraums zwischen den Überprüfungen bzw. Instandsetzungen $T_{\bar{u}}$ bestimmt.

Im Bild 3 ist das Prinzip der Instandhaltungsmethode und des entsprechenden Nutzungsdauerzeitraums $T_{\bar{u}}$ in einer Zuverlässigkeitsfunktion der Normalverteilung $R(t)$ dargestellt.

Bei der Festlegung der Betriebsgrenze muß $T_{\bar{u}}$ berücksichtigt, d. h. in Form einer bestimmten Abnutzungsreserve gewährleistet werden. Ist bei der Überprüfung zum Nutzungsdauerzeitpunkt t_1 die notwendige Abnutzungsreserve nicht mehr vorhanden, so ist das Element schon zu diesem Zeitpunkt auszusondern.

Ausgehend von den geometrischen Verhältnissen (Bild 4) läßt sich der mathematische Zusammenhang angeben:

$$V_b = V_a - \frac{\bar{d}v}{dt} \left[l + X_1 \cdot S \left(\frac{\bar{d}v}{dt} \right) \right] \cdot T_{\bar{u}} \quad (6)$$

Darin ist

$$\begin{aligned} X_1 & \text{ Faktor der geforderten statistischen Sicherheit} \\ T_{\bar{u}} & = f [R_{\text{gef}}, tm, S(tm)] \end{aligned} \quad (7)$$

Es bedeuten:

$$\begin{aligned} tm, S(tm) & \text{ Parameter der Zuverlässigkeitsfunktion an der Normalverteilung} \\ tm & \text{ Mittelwert der Grenznutzungsdauer} \\ S(tm) & \text{ Standardabweichung des Mittelwertes der Grenznutzungsdauer} \end{aligned}$$

Die Zuverlässigkeitsfunktion der Normalverteilung genügt der Gleichung

$$R(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_{-\infty}^t \exp -\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2} dt \quad (8)$$

Hierin sind:

$$\begin{aligned} \mu & \text{ Mittelwert der Grenznutzungsdauer der Grundgesamtheit} \\ \sigma^2 & \text{ Varianz der Grenznutzungsdauer der Grundgesamtheit} \\ t & \text{ Nutzungsdauerzeitpunkt} \end{aligned}$$

Gleichung (8) läßt sich aufgrund des unendlichen Integrals nur näherungsweise, in Form einer Reihenentwicklung lösen:

$$R(t) = 0,5 - \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \cdot \frac{t'^{2n+1}}{n!(2n+1)} \quad (9)$$

Hierbei ist:

$$t' = -\frac{t-\mu}{\sqrt{2}\sigma} \quad (9a)$$

Durch Auflösen der Reihenentwicklung erhält man nach /1/ folgende Näherungslösung für den Überprüfungstermin:

$$\begin{aligned} T_{\bar{u}} & = tm + 2,507 \cdot 10^{-2} S(tm) [(50 - R_{\text{gef}}) \\ & \quad + 1,04705 \cdot 10^{-4} (50 - R_{\text{gef}})^3 \\ & \quad + 4,27656 \cdot 10^{-8} (50 - R_{\text{gef}})^5] \end{aligned} \quad (10)$$

Unter Berücksichtigung von Gleichung (10) läßt sich Gleichung (6) in folgender Form darstellen /1/:

$$\begin{aligned} V_b = V_a - \frac{\bar{d}v}{dt} \left[1 + X_1 \cdot S \left(\frac{\bar{d}v}{dt} \right) \right] \{ tm \\ + 2,507 \cdot 10^{-2} \cdot S(tm) \cdot [(50 - R_{\text{gef}}) \\ + 1,04705 \cdot 10^{-4} (50 - R_{\text{gef}})^3 \\ + 4,27656 \cdot 10^{-8} (50 - R_{\text{gef}})^5] \} \end{aligned} \quad (11)$$

2.3. Zusammenhang von V_a und V_b bei der PVI mit starren Überprüfungsterminen

Bei dieser Variante wird die Zeit zwischen zwei Überprüfungen durch die zu erwartende Kampagneleistung Tk bestimmt. Hierbei ist zu beachten, daß die Kampagneleistung eine stochastische Größe und deshalb mit dem Wert zu rechnen ist, der mit einer geforderten statistischen Sicherheit nicht überschritten wird. Beim festgelegten Überprüfungstermin müssen alle Elemente ausgetauscht oder instand gesetzt werden, deren Restnutzungsdauer $T_R < Tk$ ist. Dabei ist zu beachten, daß Tk unter Angabe des Mittelwertes \overline{Tk} und der Standardabweichung $S(\overline{Tk})$ bestimmt ist.

Die o. g. Ungleichung verändert sich dann zu:

$$T_R < \overline{Tk} + X \cdot S(\overline{Tk}) \quad (12)$$

Hierin bedeuten:

$$\begin{aligned} X & \text{ Faktor der geforderten statistischen Sicherheit} \\ S(\overline{Tk}) & \text{ Standardabweichung des Mittelwertes der Kampagneleistung} \end{aligned}$$

Die exakte Bestimmung der für die Kampagne erforderlichen Restnutzungsdauer setzt die Kenntnis der Schädigungsgrenzen (Aussonderungsgrenze, Betriebsgrenze) voraus. Da sowohl das Abnutzungsverhalten als auch die Kampagneleistung stochastische und demzufolge mit Streuung behaftete Größen sind, ist hier folgende Gleichung für die Betriebsgrenzenbestimmung anzuwenden /5/:

$$V_b = V_a \frac{\bar{d}v}{dt} \left[l + X_1 S \left(\frac{\bar{d}v}{dt} \right) \right] \cdot Tk [l + X_2 S(\overline{Tk})] \quad (13)$$

Es sind:

$$\begin{aligned} X_1 & \text{ Faktor der statistischen Sicherheit bei der Berücksichtigung der Streuung der Verschleißgeschwindigkeit} \\ X_2 & \text{ Faktor der statistischen Sicherheit bei der Berücksichtigung der Streuung der Kampagneleistung} \end{aligned}$$

3. Schlußbemerkungen

Vorstehend wurden die ersten Ergebnisse der Untersuchung des Zusammenhangs Aussonderungsgrenze — Betriebsgrenze dargestellt.

Es kam nicht darauf an, den Zusammenhang bis ins Detail aufzuzeigen, sondern einen Überblick über diese Problematik zu geben.

Der Zusammenhang zwischen Aussonderungs- und Betriebsgrenze wurde unter Berücksichtigung der entsprechenden Instandhaltungsmethoden nachgewiesen. Für die weitere Aufbereitung dieser Erkenntnisse ist es erforderlich, sowohl das Schädigungsverhalten als auch die Probleme der Zuverlässigkeit von Maschinen, Baugruppen und Einzelteilen tiefgründiger zu erforschen.

Literatur

- /1/ EICHLER, CHR.: Grundlagen der Instandhaltung am Beispiel landtechnischer Arbeitsmittel. Berlin: VEB Verlag Technik 1969, S. 144 bis 164
- /2/ TGL 80-22278: Grundbegriffe der Landtechnischen Instandhaltung (1967)
- /3/ MAURITZ, P.: Zu Problemen: Schädigungsgrenzen-Zuverlässigkeit. Vortrag auf der wissenschaftlichen Tagung Landwirtschaftl. Anlagenbau der Universität Rostock am 16. und 17. Sept. 1971 (unveröffentlicht)
- /4/ EICHLER, CHR.: Grundlagen der Instandhaltung am Beispiel landtechnischer Arbeitsmittel. Berlin: VEB Verlag Technik 1969, Tafel 11
- /5/ MAURITZ, P.: Zum Bestimmen der Schadensgrenzen aus der Verschleißkurve. Deutsche Agrartechnik 20 (1970) H. 11, S. 511

A 8457