

## 1. Instandhaltungsmethoden

Es besteht die Aufgabe, Instandhaltungsmethoden<sup>1</sup> zu entwickeln, die es ermöglichen, die Betriebstauglichkeit von Arbeitsmitteln entsprechend den Produktionsbedingungen mit minimalem Aufwand zu erhalten.

Das Lösen dieser Aufgabe ist problematisch, weil die Schädigungsvorgänge an Arbeitsmitteln und ihren Einzelteilen meist stochastische Vorgänge sind. Sie unterliegen einer Vielzahl von Einflüssen, die ihren Ursprung in Parametern der Konstruktion und des Einsatzes haben. Die vielfältigen, meist nicht exakt erfassbaren Einflüsse lassen die Grenznutzungsdauer [1] in weiten Grenzen streuen [2] [3]. Eine Vorstellung von der Größe dieser Streuungen vermitteln Angaben von WOILLEBE [4], wonach bei Traktorenbaugruppen die Standardabweichung der Grenznutzungsdauer 0,3 bis 0,8 des Mittelwertes (durchschnittliche Grenznutzungsdauer) beträgt.

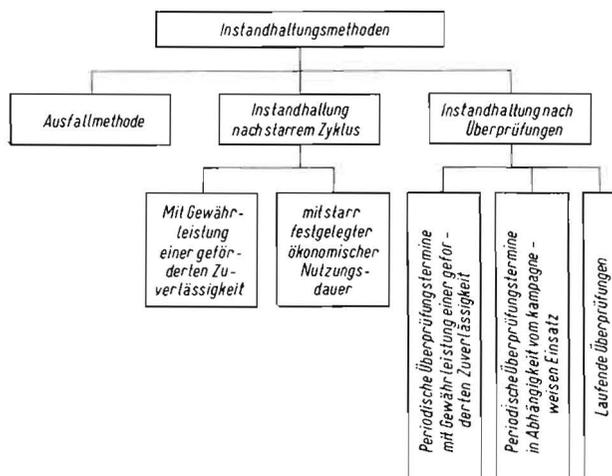
Ein anderes Problem beim Lösen dieser Aufgabe liegt in den vielfältigen Produktions- und Einsatzbedingungen, die besonders in der Landwirtschaft vom Einsatzregime (kontinuierlicher oder kampagneweiser Einsatz) und von den Boden- und Ertragsverhältnissen abhängig in einer breiten Palette streuen. Ausgehend von diesen Einsatzbedingungen werden an die Instandhaltung unterschiedliche Forderungen gestellt. Während beispielsweise für bestimmte Baugruppen in Milchgewinnungsanlagen eine sehr hohe Zuverlässigkeit gefordert wird, dürfte bei Getreideerntemaschinen die maximale Verfügbarkeit die zu erfüllende Forderung sein. In anderen Fällen wird die Forderung nach maximalen Kosten vorrangig sein.

Der Schädigungsprozeß und die vielfältigen Produktionsbedingungen haben zum Herausbilden verschiedener Instandhaltungsmethoden geführt (Bild 1).

Die für den speziellen Fall anzuwendende Instandhaltungsmethode ergibt sich aus einer Optimierung, die entsprechend den aus dem Produktionsprozeß resultierenden Forderungen nach maximaler oder optimaler Zuverlässigkeit, nach minimalen oder optimalen Instandhaltungskosten oder nach minimaler instandhaltungsbedingter Stillstandszeit (maximaler Verfügbarkeit) erfolgen muß [5] [6].

<sup>1</sup> Unter einer Instandhaltungsmethode wird die Organisationsform aller der Erhaltung und Wiederherstellung von Arbeitsmitteln dienenden Maßnahmen verstanden.

Bild 1. Instandhaltungsmethoden



Es soll gezeigt werden, wie die Instandhaltungsmethoden in der Abgangskurve dargestellt werden können. Eine modellmäßige Darstellung ist eine wichtige Voraussetzung für die Optimierung.

## 2. Abgangskurve

Maschinen und deren Einzelteile zeigen nach einer Wahrscheinlichkeitsverteilung streuende Grenznutzungsdauern. Die für das Darstellen derartiger Verteilungen meist benutzte Häufigkeitsverteilung (z. B. die Glockenkurve) ist für Instandhaltungsprobleme oft ungünstig. Instandhaltungsvorgänge lassen sich besser in der Abgangskurve darstellen. Die Abgangskurve stellt den prozentualen Anteil der zu einem beliebigen Zeitpunkt betriebstauglichen Elemente aus einer Grundgesamtheit in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer dar (Bild 2).

Sie ist mit der Zuverlässigkeitsfunktion oder der Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion der Zuverlässigkeitstheorie [7] [8] identisch. Da sie den Anteil der betriebstauglichen Elemente in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer darstellt, entspricht sie auch der um  $\nu = t_m$  gespiegelten Summenhäufigkeitskurve der mathematischen Statistik.

Die Abgangskurve ist das Komplement der Ausfallwahrscheinlichkeit  $F(t)$

$$b(t) = 100 - F(t) \quad (1)$$

Da sich die Ausfallwahrscheinlichkeit  $F(t)$  aus der Häufigkeitsverteilung  $f(t)$  zu

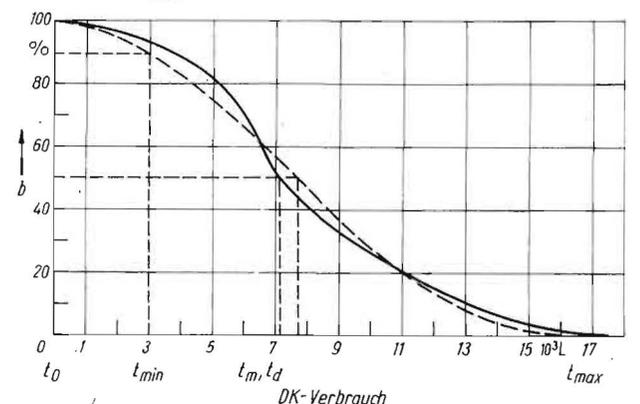
$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2)$$

ermittelt, ist die Abgangskurve

$$b(t) = 100 - \int_0^t f(t) dt \quad (3)$$

Die Verteilung der Grenznutzungsdauern folgt für Maschinen und deren Einzelteile der Gauß'schen Normalverteilung, wenn die Ermüdung überwiegt, und der Weibullverteilung, wenn der Verschleiß überwiegt [9] [10] [11].

Bild 2. Abgangskurve des Kurbeltriebs im Motor RS 14/36 L; — statistisch bei 136 Motoren ermittelt, - - - - mit Monte-Carlo-Methode einer Normalverteilung angenähert.  $t_m$  mittlere Grenznutzungsdauer,  $t_d$  durchschnittliche Nutzungsdauer,  $t_{min}$  Mindestgrenznutzungsdauer



Die aus einer Normalverteilung resultierende Abgangskurve ist nicht als geschlossene Funktion darstellbar. Als Polynom dargestellt gilt

$$b(t) = 50 - \frac{100}{\sqrt{\sigma}} \sum_{n=0}^{n=6} (-1)^n \frac{(t - t_m)^{(2n+1)}}{n! (2n+1) (s\sqrt{2})^{(2n+1)}} \quad (4)$$

Hierin bedeuten:

Grenznutzungsdauer

$b$  Anteil der betriebsstauglichen Elemente

$t_m$  durchschnittliche Grenznutzungsdauer

$s$  Standardabweichung der durchschn. Grenznutzungsdauer

Für  $n = 6$  gilt die Reihe für  $t_m - 2s < t < t_m + 2s$  oder für  $5 < b(t) < 95$ . Dieser Bereich erscheint ausreichend, da für landtechnische Arbeitsmittel kaum eine Zuverlässigkeit  $> 95\%$  erforderlich sein dürfte.

Die aus der Weibulverteilung abgeleitete Abgangskurve hat die Form

$$b(t) = 100 - \exp \frac{-(t - \gamma) \beta}{\alpha} \quad (5)$$

mit

$\alpha$  Maßstabfaktor

$\beta$  Formfaktor

$\gamma$  Ortsfaktor

Obwohl die Normalverteilung streng genommen im Bereich  $-\infty < t < +\infty$  gilt, hat sie gegenüber der Weibulverteilung den für praktische Instandhaltungsfälle erheblichen Vorteil, daß sie aus der durchschnittlichen Grenznutzungsdauer  $t_m$  und deren Standardabweichung  $s$  aufgebaut werden kann, während die Faktoren  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  der Weibulverteilung nur aus einer recht großen Stichprobe ermittelt werden können und direkt nicht so aussagekräftig wie die durchschnittliche Grenznutzungsdauer sind.

Die Fläche unter der Abgangskurve

$$F = \int_{t=0}^{t=t_{max}} b(t) dt \quad (6)$$

wird als die Abnutzungsreserve der Grundgesamtheit bezeichnet.

In der Abgangskurve lassen sich auch in einfacher Weise wichtige Kennzahlen für das Schädigungsverhalten, wie sie in der TGL 80-22278 [1] definiert sind, darstellen. Eine davon ist die Mindestgrenznutzungsdauer  $t_{min}$  (Bild 2), bei der noch 90% der Elemente der Grundgesamtheit betriebsstauglich sind.

Aus der Abgangskurve können Schlußfolgerungen für das Gestalten von Instandhaltungsprozessen gezogen werden. Solche sind:

- Elemente gleicher Art haben eine unterschiedlich große Grenznutzungsdauer. Es gibt keinen Zeitpunkt, zu dem die Schädigung an allen Elementen einer Grundgesamtheit gleich weit fortgeschritten ist.
- Die Grenznutzungsdauer eines Elementes hängt stark von den inneren und äußeren Schädigungsbedingungen ab.
- Da bereits nach kurzer Nutzungsdauer die ersten Elemente ausfallen, kann es kein vollkommenes System der vorbeugenden Instandhaltung geben, bei dem Ausfälle völlig vermieden werden, wenn von der Möglichkeit der Redundanz kein Gebrauch gemacht werden soll.

### 3. Instandhaltungsvorgänge in der Abgangskurve

#### 3.1. Planmäßig vorbeugende Instandhaltung nach starrem Zyklus mit Gewährleistung einer geforderten Zuverlässigkeit

Der Einsatz der Technik, d. h. die Produktion als Hauptprozeß, erfordert für den Zeitraum  $t_0 \dots t_i$  die Zuverlässigkeit

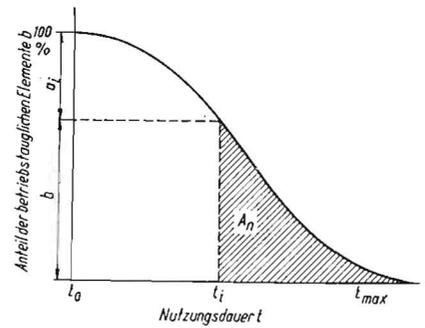


Bild 3. Instandhaltung nach starrem Zyklus mit Gewährleistung einer geforderten Zuverlässigkeit in der Abgangskurve

keit  $b_g$ . Aus der Abgangskurve (Bild 3) ist ersichtlich, daß der geforderten Zuverlässigkeit  $b_g$  der Nutzungsdauerzeitpunkt  $t_i$  zugeordnet ist. Da für jedes  $t > t_i$  die Zuverlässigkeit kleiner  $b_g$  wird, müssen zum Zeitpunkt  $t_i$  die noch betriebsstauglichen Elemente  $b_g$  ohne Rücksicht auf ihren Schädigungszustand gegen neue oder instand gesetzte ausgetauscht werden. Während bis zum Zeitpunkt  $t_i$ , bereits  $a_i$  ( $a_i = 100 - b_g$ ) Elemente, ohne von der vorbeugenden Instandhaltung erfaßt zu werden, plötzlich während des Einsatzes ausgefallen sind, weisen die zum Zeitpunkt  $t_i$  ohne Berücksichtigung des Schädigungszustandes ausgetauschten  $b_g$  Elemente eine Grenznutzungsdauer größer  $t_i$  auf, die nicht voll genutzt wird.

Der Ausnutzungsgrad  $\eta$  der in der Grundgesamtheit enthaltenen Abnutzungsreserve ist

$$\eta = \frac{\int_{t=0}^{t=t_i} b(t) dt}{\int_{t=0}^{t=t_{max}} b(t) dt} \quad (7)$$

Damit steigt der Ausnutzungsgrad der Abnutzungsreserve mit  $t_i$ , wobei aber die erreichbare Zuverlässigkeit absinkt. Bei nach diesem System instand gehaltenen Traktorenmotoren ist der Ausnutzungsgrad bei einer gewährleisteten Zuverlässigkeit von  $b_g = 90\%$   $\eta = 0,4 \dots 0,6$ .

Es ist aus der Abgangskurve ersichtlich, daß bei dieser Methode eine hohe Zuverlässigkeit nur über Verluste infolge Nichtausnutzens der Abnutzungsreserve erkauft werden kann.

Im Falle eines normalverteilten Schädigungsverhaltens kann der Instandsetzungszeitpunkt analytisch aus der geforderten Zuverlässigkeit ermittelt werden, indem im Polynom  $b = f(t, t_m, s)$  (Gleichung 4)  $t = t_i$  und  $b = b_g$  gesetzt wird und nach  $t_i$  umgestellt wird. Es gilt

$$t_i = t_m + 2,507 \cdot 10^{-2} s [(50 - b_g) + 1,047 \cdot 10^{-4} (50 - b_g)^3 + 4,276 \cdot 10^{-8} (50 - b_g)^5] \quad (8)$$

Das Durchrechnen praktischer Beispiele zeigte, daß Gleichung 8 mit 3 Gliedern einen zulässigen Fehler bringt. Damit ist es möglich, ohne Kenntnis der Abgangskurve aus  $t_m$  und  $s$  den Instandsetzungstermin zu bestimmen. Bei anderen Verteilungen ist sinngemäß der gleiche Weg möglich.

Aus einem solchen Betrachten dieser Instandhaltungsmethode in der Abgangskurve lassen sich Schlußfolgerungen auf den Anwendungsbereich ziehen. Dazu gehören:

- Wegen des Zusammenhangs zwischen Zuverlässigkeit und nicht genutzter Abnutzungsreserve sollte die Methode nur für relativ billige Elemente angewendet werden.
- Die Methode wird um so wirtschaftlicher, je geringer die Anforderungen hinsichtlich der Zuverlässigkeit sind.

### 3.2. Planmäßig vorbeugende Instandhaltung mit starr festgelegter ökonomischer Nutzungsdauer

Die Instandhaltung nach starr festgelegter ökonomischer Nutzungsdauer will den Nachteil der starren Methode mit Gewährleistung einer geforderten Zuverlässigkeit vermeiden, der darin besteht, daß die Forderung nach minimalen Kosten nicht erfüllt werden kann. Sie geht dabei davon aus, daß vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen zu einem Zeitpunkt durchgeführt werden, bei dem die Summe der durch plötzliche Ausfälle von Elementen und durch Nichtausnutzen der Abnutzungsreserve entstehenden Kosten ein Minimum wird. Auch bei diesem starren System werden die Elemente zum Instandsetzungszeitpunkt ohne Berücksichtigung des Schädigungszustandes obligatorisch ausgetauscht.

Der Instandsetzungstermin kann, in der Abgangskurve dargestellt, näherungsweise bestimmt werden.

Bis zum Instandsetzungstermin fallen  $a_i$  Elemente plötzlich, ohne von der vorbeugenden Instandhaltung erfaßt zu werden, aus (Bild 3).

Für Normalverteilung gilt:

$$a_i = 100 - b_g \quad (9)$$

$$a_i = 50 + \frac{100}{\sqrt{\sigma}} \sum_{n=0}^{n=8} (-1)^n \frac{(t_i - t_m)^{(2n+1)}}{n!(2n+1)(s\sqrt{2})^{(2n+1)}} \quad (10)$$

Der Kostenaufwand für diese Ausfälle  $K_a$  kann unter Vernachlässigen des dynamischen Einflusses näherungsweise unter Berücksichtigung der auftretenden instandhaltungsbedingten Stillstandzeiten zu

$$K_a = \frac{a_i T_a k_1 + a_1 (T_a + T_b) k_2}{100} \quad (11)$$

bestimmt werden.

Darin sind:

$T_a$  Zeitaufwand für einmaliges Auswechseln des Elements  
 $k_1$  spezifischer Montagekostensatz (bezogen auf die Zeiteinheit)

$T_b$  Zeitaufwand für die Beschaffung des Ersatzelements  
 $k_2$  Kostensatz für Stillstand der Maschine (Produktionsausfall), bezogen auf die Zeiteinheit.

Da zum Instandsetzungszeitpunkt  $t_i$   $b_g$  noch betriebstaugliche Elemente getauscht werden, ist die nichtausgenutzte Abnutzungsreserve der Grundgesamtheit  $A_n$ :

$$A_n = \int_{t=t_i}^{t=t_{\max}} b(t) dt \quad (12)$$

Der Wert der nicht genutzten Abnutzungsreserve ist annähernd

$$K_n = \eta P(1 + zt_i) \quad (13)$$

Darin bedeuten:

$P$  Preis des Elements bei  $t = 0$

$z$  Zinssatz (Produktionsfondsabgabe)

Die Gesamtkosten für vorzeitige Ausfälle und nichtgenutzte Abnutzungsreserve sind

$$K_g(t_i) = K_a(t_i) + K_n(t_i) \quad (14)$$

Der optimale Instandsetzungszeitpunkt kann über

$$\frac{dK(t_i)}{dt_i} = 0 \quad (15)$$

bestimmt werden.

Aus den Gleichungen 10, 11 und 13 ist ersichtlich, daß  $K_g$  nicht von  $b$  abhängt, der Instandsetzungstermin wird lediglich über die Kosten bestimmt, eine zu erreichende Zuverlässigkeit kann nicht vorgegeben werden. Das Sichern minimaler Kosten zieht eine bestimmte, aber doch wohl als optimal zu bezeichnende Zuverlässigkeit nach sich. Damit ist

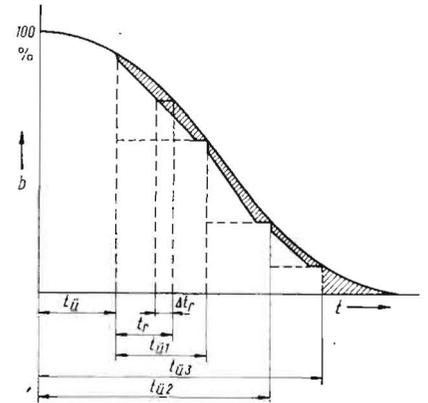


Bild 4. Instandhaltung nach periodischen Überprüfungen mit Gewährleistung einer geforderten Zuverlässigkeit in der Abgangskurve

das wichtigste Merkmal der planmäßig vorbeugenden Instandhaltung mit starr festgelegter ökonomischer Nutzungsdauer das Erreichen minimaler Kosten und optimaler Zuverlässigkeit.

### 3.3. Planmäßig vorbeugende Instandhaltung nach periodischen Überprüfungen bei Gewährleisten einer geforderten Zuverlässigkeit

Die Tatsache des stark streuenden Schädigungsverhaltens und der dadurch bei den starren Instandhaltungsmethoden infolge Nichtausnutzens der Abnutzungsreserve auftretenden Verluste hat zu Überlegungen geführt, mit Hilfe der Technischen Diagnostik [12] den Schädigungszustand zu bestimmen, die Restnutzungsdauer des Elements zu bewerten und Instandsetzungen nur dann durchzuführen, wenn das Element die Grenze der Betriebstauglichkeit erreicht hat oder wenn die Restnutzungsdauer unzulässig klein geworden ist [13]. Damit entsteht die planmäßig vorbeugende Instandhaltung nach periodischen Überprüfungen bei Gewährleisten einer geforderten Zuverlässigkeit. Diese Methode hat sich in der Landtechnik der DDR bei Traktoren bewährt [14]. Läßt sich der Schädigungszustand und die Restnutzungsdauer mit hinreichender Genauigkeit und tragbarem Aufwand möglichst demontagelos feststellen, so kann entsprechend der geforderten Zuverlässigkeit ein Überprüfungszeitpunkt festgelegt werden. Zu diesem Termin wird über den Schädigungszustand die Restnutzungsdauer bestimmt (Bild 4) und mit

$$t_3 = t_{\bar{u}} + t_r(1 - f) \quad (16)$$

für jedes Element der Instandsetzungstermin speziell festgelegt.

Darin bedeuten:

$t_{\bar{u}}$  Überprüfungszeitpunkt

$t_r$  Restnutzungsdauer

$f$  relativer Fehler der Restnutzungsdauer

Wird bei einer Überprüfung eine sehr große Restnutzungsdauer festgestellt, so empfiehlt es sich, den Instandhaltungstermin noch nicht festzulegen, sondern einen neuen Überprüfungszeitpunkt zu bestimmen.

Mit dieser Methode ist es möglich, die Abnutzungsreserve der Grundgesamtheit sehr weit auszunutzen. Lediglich die in Bild 4 schraffierte Fläche stellt die nichtausgenutzte Abnutzungsreserve dar. Der Abnutzungsgrad der Abnutzungsreserve ist abhängig von der Zahl der Überprüfungen und dem Fehler beim Bestimmen der Restnutzungsdauer. Es muß jedoch darauf verwiesen werden, daß dem verbesserten Ausnutzen der Abnutzungsreserve der zusätzliche Aufwand für die Überprüfung gegenübersteht. Es muß für das Anwenden des Verfahrens die Bedingung

$$K_{\bar{u}} t_{\bar{u}} < (A_{ns} - A_{n\bar{u}}) P \quad (17)$$

erfüllt sein.

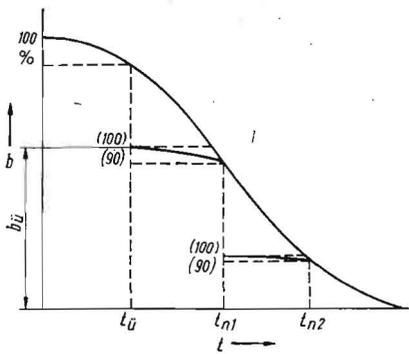


Bild 5. Darstellung der konstanten Zuverlässigkeit beim System nach periodischen Überprüfungen in der Abgangskurve

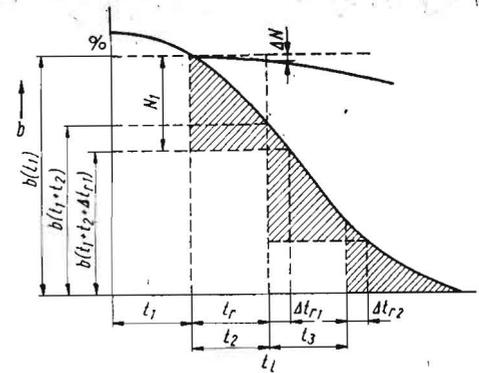


Bild 6. Instandhaltung mit periodischen Überprüfungen bei kampagneweisem Einsatz in der Abgangskurve

Hierin sind:

$K_{\bar{u}}$  Kosten für eine Überprüfung

$n_{\bar{u}}$  Anzahl der durchzuführenden Überprüfungen

$A_{ns}$  nicht ausgenutzte Abnutzungsreserve bei starrer Methode

$A_{n\bar{u}}$  nicht ausgenutzte Abnutzungsreserve bei Methoden nach Überprüfungen, wobei gleiche Zuverlässigkeit bei beiden Methoden vorausgesetzt wird.

Das Sichern einer geforderten Zuverlässigkeit über die ganze Nutzungsdauer  $t_0 < t < t_{max}$  hinweg ist in Bild 5 dargestellt. Es zeigt, wie die ursprünglich für den Zeitraum  $t_0$  bis  $t_{\bar{u}}$  vorhandene Zuverlässigkeit (in Bild 5 beispielsweise 90 %) gesichert werden kann. Bis  $t_{\bar{u}}$  sind bereits 10 % der Elemente ausgefallen, ohne von der vorbeugenden Instandhaltung erfaßt worden zu sein.

Bei normalverteiltem Schädigungsverhalten kann der Überprüfungstermin analog zu Gleichung 8 mit

$$t_{\bar{u}} = t_m + 2,507 \cdot 10^{-2s} [(50 - b_g) + 1,047 \cdot 10^{-4}(50 - b_g)^3 + 4,276 \cdot 10^{-8}(50 - b_g)^5] \quad (18)$$

aus der durchschnittlichen Grenznutzungsdauer, deren Standardabweichung und der geforderten Zuverlässigkeit bestimmt werden.

#### 3.4. Planmäßig vorbeugende Instandhaltung mit periodischen Überprüfungen bei kampagneweisem Einsatz

Die im Ergebnis der Überprüfungen notwendigen Instandsetzungsmaßnahmen erfordern oft eine während der Kampagne unzulässig hohe Instandhaltungsbedingte Stillstandzeit. Es ist in diesen Fällen notwendig, die Überprüfungen und die daraus resultierenden Instandsetzungen in die Zeit zwischen zwei Kampagnen zu verlegen (Kampagnefestüberholung). Damit entstehen, Bestimmbarkeit des Schädigungszustandes und der Restnutzungsdauer vorausgesetzt, festliegende, vom Kampagnerhythmus und von der Kampagneleistung abhängige Überprüfungsintervalle. Bei den Überprüfungen wird derart verfahren, daß man alle Elemente, deren Restnutzungsdauer kleiner als die zu erwartende Kampagneleistung ist, sofort austauscht, um der Maschine für die Kampagne eine optimale Zuverlässigkeit und eine maximale Verfügbarkeit zu geben [15].

Diese Methode ist in Bild 6 dargestellt. Es wurde dabei vereinfachend vorausgesetzt, daß die zu erwartenden Kampagneleistungen über  $t_0$  bis  $t_{max}$  konstant sind und daß für jede Maschine der Grundgesamtheit die gleiche Kampagneleistung zu erwarten ist.

Die Zahl der anlässlich der ersten Überprüfung auszutauschenden Elemente  $N_1$  kann aus Bild 6 abgelesen werden zu

$$N_1 = b(t_1) - b(t_1 + t_2 + \Delta t_{r1}) + \Delta N \quad (19)$$

Darin bedeuten:

$t_{1,2}$  Überprüfungstermin nach der Kampagne 1 bzw. 2

$\Delta t_r$  Restnutzungsdauerfehler

$\Delta N$  Anzahl der Teile, die infolge plötzlicher Ausfälle bis  $t_1$  bereits ausgetauscht wurden und zum Zeitpunkt  $t_2 + \Delta t_{r1}$  eine Restnutzungsdauer kleiner  $t_2 + \Delta t_r - t_1$  aufweisen. Dieser Anteil beträgt nach der Ersatztheorie [15]  $\approx 0,01b(t_1)$ .

Ausfälle treten während der Nutzungsdauerperiode  $t_1 < t < t_2$  nur infolge zufälliger Ereignisse, wie Überlastungen, Bedienungsfehler u. a. m., auf.

Die Anzahl der anlässlich der zweiten Überprüfung auszutauschenden Elemente ist nach Bild 6

$$N_2 = b(t_1 + t_2 + \Delta t_{r1}) - b(t_1 + t_2 + t_3 + \Delta t_{r2}) + (100 - b)(t_1 + t_2 + t_3 + \Delta t_{r2} + t_1 + t_2) n_1 10^{-2} + \Delta N_2 \quad (20)$$

Der dritte Summand der Gleichung beinhaltet die Austauschungen, die hervorgerufen wurden, indem ein Teil der anlässlich der ersten Überprüfung ausgetauschten Elemente in der zweiten Kampagne die Grenznutzungsdauer erreichte. Das Glied  $\Delta N_2$  resultiert aus den bis zur ersten Überprüfung getauschten Elementen.

Die praktische Bedeutung der Gleichung 19 und 20 besteht darin, daß sie Möglichkeiten aufzeigen, den bei Kampagnefestüberholungen zu erwartenden Ersatzteilbedarf zu bestimmen.

Die Ausnutzung der Abnutzungsreserve ist geometrisch aus Bild 6 ersichtlich.

$$\eta = \frac{\int_{t=0}^{t=t} b(t) dt + t_2 b(t_2 + \Delta t_{r1}) + t_3 b(t_3 + \Delta t_{r2}) \dots t_n b(t_n + \Delta t_{r,n-1})}{\int_{t=0}^{t=t_{max}} b(t) dt} \quad (21)$$

Der Ausnutzungsgrad der Abnutzungsreserve ist bei dieser Methode größer als bei den starren Methoden, jedoch kleiner als bei der Überprüfungs-methode mit individuellen Instandsetzungsterminen.

Aus Bild 6 ist auch ersichtlich, daß bei dieser Methode, da der Überprüfungstermin durch den Kampagnerhythmus und die Kampagneleistung bestimmt wird, keine zu gewährleistende Zuverlässigkeit vorgegeben werden kann, da Kampagneleistung und Zuverlässigkeit in direkter Beziehung

Tafel 1. Instandhaltungsmethoden – Kennzeichen, Anwendungsbereiche

Kennzeichen Anwendungsbereich	Ausfallmethode	planmäßig vorbeugende Instandhaltung nach starkem Zyklus Variante I Gewährleistung einer bestimmten Zuverlässigkeit	planmäßig vorbeugende Instandhaltung nach starkem Zyklus Variante II nach starr festgelegter ökonomischer Nutzungsdauer	planmäßig vorbeugende Instandhaltung nach mit Gewährleistung einer geforderten Zuverlässigkeit	planmäßig vorbeugende Instandhaltung nach mit periodischen Überprüfungs- terminen bei kampagne- weisem Einsatz	Überprüfung mit laufenden Überprüfungen
Kennzeichen	Element wird bis zum Schadens- eintritt betrieben und dann durch neues oder in- standgesetztes ersetzt	Element wird zum starr festgelegten Zeitpunkt vor Schadenseintritt unabhängig vom Abnutzungszustand ausgewechselt	zum starr festgelegten Zeit- punkt, vor Schadenseintritt, wird das Element unabhän- gig von dem Abnutzungs- zustand ausgewechselt	zu individuell bei Überprü- fung festgelegtem Termin entsprechend der aus Ab- nutzungszustand resultie- renden Restnutzungsdauer wird der Instandsetzungs- termin individuell festgelegt	zu starr festgelegtem Über- prüfungstermin werden alle die Elemente ausgetauscht, deren Restnutzungsdauer kleiner als Nutzungsdauer bis nächster Überprüfung ist	unmittelbar vor Schadens- eintritt nach Signal der Überwachungseinrichtung wird das Element aus- getauscht
Instandsetzungszeitpunkt	nach Schadenseintritt	lange vor Schadenseintritt, abhängig von geforderter Zuverlässigkeit	lange vor Schadenseintritt, abhängig vom Wert der nicht genutzten Abnutzungs- reserve und den Kosten für instandhaltungsbedingte Stillstandszeiten	nahe Schadenseintritt, ab- hängig von Genauigkeit der Überprüfung	maximal eine Kampagne vor Schadenseintritt	unmittelbar vor Schadens- eintritt
Gesichtspunkt für Fest- legung des Instandsetzungs- zeitpunktes	Schadenseintritt	geforderte Zuverlässigkeit	ökonomische Nutzungsdauer	Restnutzungsdauer	Kampagneleistung und Schadensgrenze	Schadensgrenze
Anteil der plötzlichen Schadensfälle in %	100	<100 abhängig von geforderter Zuverlässigkeit	<100 abhängig von Instandset- zungstermin	≪100 abhängig von Überprü- fungsgenauigkeit	<100 abhängig von Überprüfungs- genauigkeit und Streuung der Kampagneleistung	≪100 abhängig von Qualität der Überwachung
Ausnutzung der Abnut- zungsreserve	voll	sehr gering mit wachsender Zuverlässigkeit abnehmend	sehr gering, mit wachsenden Kosten für instandhaltungs- bedingte Stillstandszeiten abnehmend	groß, mit zunehmender Ge- nauigkeit der Bestimmung der Restnutzungsdauer ge- gen $\infty$ tendierend	groß, mit zunehmender Ge- nauigkeit der Bestimmung der Restnutzungsdauer zu- nehmend	sehr hoch, mit zunehmender Qualität der Überwachung steigend
Zuverlässigkeit	kann nicht gesichert werden	kann in gefordertem Maße gesichert werden	kann nicht gesichert werden, ergibt sich aus ökonomischer Nutzungsdauer	kann mit zunehmender Ge- nauigkeit der Überprüfung gesichert werden	kann nicht vorgegeben wer- den. Der sich aus Kampagne- leistung ergebende Wert kann gesichert werden	kann mit zunehmender Qua- lität der Überwachung ge- sichert werden
Überprüfungsaufwand	entfällt	entfällt	entfällt	vorhanden (demontagelos)	vorhanden, aber außerhalb Kampagne (demontagearm)	entfällt, aber Aufwand für Überwachungseinrichtung
Anforderung hinsichtlich Kenntnis der Schadensgrenze	keine	keine	keine	Schadensgrenze muß be- kannt sein	Schadensgrenze muß be- kannt sein	Schadensgrenze muß be- kannt sein
Anforderung hinsichtlich Kenntnis des Abnutzungs- verhaltens	keine	keine	bekannt	bekannt	bekannt	bekannt
Anforderung hinsichtlich Kenntnis des Schädigungs- verhaltens	keine	keine	keine	hoch	hoch	hoch
Planbarkeit des Instandhal- tungsaufwandes	schlecht	bei bekannter Abgangskurve gut	bei bekannter Abgangskurve gut	global	global	global
ökonomische Anwendungs- bedingungen	durch plötzliche Schadens- fälle entstehende Kosten müssen kleiner sein als für Überprüfungen, prophylak- tischen Austausch u. a. m. erforderlich wären	die durch Nichtausnutzung der Grenznutzungsdauer entstehenden Verluste müs- sen kleiner sein als Aufwand für Überprüfung, Überwa- chung und Ermittlung der Schadensgrenzen bzw. der Restnutzungsdauer	Summe der durch plötzliche Ausfälle und Nichtausnut- zung der Grenzausnutzungs- dauer auftretenden Kosten muß Minimum bilden und kleiner sein als Aufwand für Überprüfung, Überwachung usw.	Kostenaufwand für Über- prüfungen und Bestimmen der Schadensgrenzen bzw. Restnutzungsdauer muß kleiner sein als die durch bessere Ausnutzung der Grenznutzungsdauern erziel- baren Einsparungen	Kostenaufwand für Über- prüfungen und Bestimmung der Schadensgrenze muß kleiner sein als Kosten durch plötzliche Schadensfälle während Kampagne	Kostenaufwand für Über- wachung und Schadens- grenzenbestimmung muß kleiner sein als die durch bessere Ausnutzung der Grenznutzungsdauer erziel- bare Einsparung
sonstige technische Anwen- dungsbedingungen	Ausfälle müssen sofort er- kennbar sein und dürfen keine Folgeschäden nach sich ziehen		geforderte Zuverlässigkeit darf nicht höher sein als die sich aus Berechnung des Austauschzeitpunktes erge- bende	Schädigungszustand, Scha- densgrenze und Restnut- zungsdauer müssen mit hin- reichender Genauigkeit tech- nisch bestimmbar sein	Schädigungszustand, Scha- densgrenze und Restnut- zungsdauer müssen mit hin- reichender Genauigkeit be- stimmbar sein. Kampagne- leistung darf nicht in unzu- lässig hohen Grenzen streuen	Schädigungszustand muß mit tragbarem Aufwand bei hinreichender Genauigkeit automatisch, hfd. überwach- bar sein. Schadensgrenze muß mit hinreichender Ge- nauigkeit bestimmbar sein
Anwendungsbereich	von Bedienungspersonal schnell austauschbare Ele- mente (Glühlampen, Keil- riemen u. ä.) oder schnell auswechselbare Baugruppen geringen Wertes (Hydraulik- zylinder) sowie schnell aus- wechselbare Baugruppen, deren Ausfall durch BMSR- Technik angezeigt wird. Wenn Schadensgrenze, Schädigungszustand und Restnutzungsdauer nicht be- stimmbar sind oder noch nicht bekannt sind	bei hoher geforderter Zuver- lässigkeit und wenn Scha- densgrenze, Schädigungs- zustand und Restnutzungs- dauer nicht oder mit untrag- barem Aufwand bestimmbar ist (Ermüdungs- und Alterungsteile)	wenn minimale Kosten ge- fordert werden, wenn Scha- densgrenze, Schädigungs- zustand und Restnutzungs- dauer nicht oder mit untrag- barem Aufwand bestimmbar ist und die sich aus dem Kostenminimum ergebende Zuverlässigkeit ausreichend ist	bei geforderter bestimmter Zuverlässigkeit und demon- tageloser Bestimmbarkeit des Schädigungszustandes und der Restnutzungsdauer	Bestimmbarkeit des Schäd- igungszustandes und der Restnutzungsdauer bei kam- pagneweisem Einsatz und hohem Überprüfungsauf- wand und Instandsetzungs- aufwand	bei geforderter hoher Zuver- lässigkeit, Bestimmbarkeit der Schadensgrenze und automatischer Überwach- barkeit des Schädigungs- zustandes

stehen. Hohe Kampagneleistung senkt die erreichbare Zuverlässigkeit. Auch bringt hohe Kampagneleistung eine größere nicht ausgenutzte Abnutzungsreserve mit sich.

#### 4. Anwendungsbereiche der Instandhaltungsmethoden

Aus dem Darstellen der wichtigsten Instandhaltungsmethoden können Erkenntnisse über die Anwendungsbereiche der Instandhaltungsmethoden abgeleitet werden. Die Kennzeichen und Anwendungsbereiche sind systematisiert in Tafel 1 zusammengestellt.

#### 5. Zusammenfassung

Es wurde unter bewußtem Vernachlässigen von Feinheiten versucht, Instandhaltungsvorgänge in der Abgangskurve anschaulich darzustellen.

Aus den Betrachtungen können nachfolgende Schlußfolgerungen für die weitere Entwicklung des Instandhaltungswesens abgeleitet werden:

- a) Mehrere Instandhaltungsmethoden haben in Abhängigkeit von den Einsatzbedingungen und den Möglichkeiten der Instandhaltung selbst ihre Existenzberechtigung.
- b) Die Wahl der Instandhaltungsmethode ist ein Optimierungsproblem.
- c) Das Darstellen von Instandhaltungsvorgängen in der Abgangskurve ermöglicht das Lösen der Optimierungsaufgabe.
- d) Es ist für ein weiteres Rationalisieren des Instandhaltungswesens unter anderem erforderlich, Daten über das Schädigungsverhalten der Arbeitsmittel und ihrer Elemente zu ermitteln.
- e) Es kann, von der Möglichkeit der Redundanz abgesehen, keine „vollkommene Instandhaltungsmethode“, die Ausfälle völlig vermeidet, geben.
- f) Maximale Zuverlässigkeit ist nur über erhöhten Kostenaufwand zu erreichen.

- g) Optimale Zuverlässigkeit und minimale Instandhaltungskosten sind anzustreben.
- h) Es sind Untersuchungen über die für den Hauptprozeß erforderliche Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit notwendig.

#### Literatur

- [1] TGL 80-22278: Landtechnisches Instandhaltungswesen — Grundbegriffe —
- [2] NITSCHKE, K.: Über das Abnutzungsverhalten und die Instandhaltungseignung von Landmaschinen und Traktoren. Deutsche Agrartechnik, Berlin 14 (1964) H. 10, S. 445 bis 448
- [3] SELIVANOV, A. I.: Osnovi Teorii starenija maschin. (Theorie der Alterung von Maschinen). Isdatjeltswo Maschinstrojenije, Moskau 1964
- [4] WOHLLEBE, H.: Methode und erste Ergebnisse der Erfassung von Grenznutzungsdauern. Deutsche Agrartechnik, Berlin 18 (1964) H. 4, S. 183 bis 185
- [5] NITSCHKE, K.: Über die künftige Entwicklung der planmäßigen Instandhaltung der technischen Arbeitsmittel der Landwirtschaft. Vortrag zum 3. RGW-Seminar „Instandhaltung“ vom 16. bis 21. Nov. 1967 in Friesack/Mark (unveröffentlicht)
- [6] GROTHUS, H.: Der wirtschaftlichste Reparaturzeitpunkt. Industrieblatt 54 (1959) S. 137 bis 144
- [7] GNEDENKO, B. W.: Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie. Akademie-Verlag, Berlin 1968
- [8] HUMMITSCH, P.: Zuverlässigkeit von Systemen. VEB Verlag Technik, Berlin 1968
- [9] GNEDENKO, B. W.: Grundlagen der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Akademie-Verlag, Berlin 1968
- [10] SAOHS, E.: Statistische Auswertungsmethoden. Springer-Verlag Berlin 1968
- [11] PROST, G.: Zuverlässigkeit. Bergbautechnik, Berlin 19 (1969) H. 3, S. 127 bis 140
- [12] PAWLOW, A. I.: Theorie der Technischen Diagnostik. SIBVIM, Nowosibirsk 1966
- [13] NITSCHKE, K.: Was ist progressive Pflegeordnung? Deutsche Agrartechnik, Berlin 12 (1962) H. 9, S. 397 bis 399
- [14] TGL 80-20773: Pflegeordnung Traktoren — Ausgabe 1965
- [15] EICHLER, C.: Zu einigen Fragen der Kampagnenfestüberholung von Landmaschinen. Deutsche Agrartechnik, Berlin 17 (1967) H. 9, S. 402 und 403
- [16] EICHLER, C.: Grundlagen der Instandhaltung. VEB Verlag Technik, Berlin (in Vorbereitung) A 7810

## Mechanisierungs- und Automatisierungsmittel im Instandsetzungsprozeß<sup>1</sup>

Dipl.-Ing. W. TIMM\*

Wenn wir unseren verschmutzten PKW nach einer Stunde mühevoller Reinigungs- und Konservierungsarbeit wieder glänzend vor uns haben, sind wir zwar erfreut, aber abgekämpft; nach einer halben Stunde Wartezeit in mechanischer Waschanlage sind wir hoch erfreut, jedoch des Wartens überdrüssig; nach 5 Minuten Wartezeit in einer vollautomatisierten Anlage gerade wieder bereit, in den fertig gewaschenen und konservierten PKW zu steigen.

Das ist technische Revolution — Steigerung der Arbeitsproduktivität auf 600 Prozent, so geschehen im September 1969 in einer vollautomatisierten Waschanlage in Berlin.

Genau wie im täglichen Leben, so sind auch in der Sphäre der materiellen Produktion die Mechanisierungs- und Automatisierungsmittel die wesentlichen Quellen zur komplexen sozialistischen Rationalisierung.

\* Leiter des Ingenieurbüros für Rationalisierung der VVB Landtechnische Instandsetzung Berlin

<sup>1</sup> Aus einem Referat auf der 4. Wissenschaftlich-technischen Tagung „Rationalisierung der Instandhaltung in der sozialistischen Landwirtschaft“ des SKL und des FV „Land- und Forsttechnik“ der KDT am 10. und 11. Dezember 1969 in Leipzig.

Betrachten wir die Mechanisierung und Automatisierung im Instandsetzungsprozeß der Baugruppenrundüberholungen, so sind dabei gegenüber der Neufertigung einige Besonderheiten zu berücksichtigen.

1. Der Instandsetzungsprozeß erfolgt z. Z. in Wechselfleißreihen, bei denen durch die verschiedenen Typen und Baumustervarianten innerhalb der Typen Störfaktoren auftreten können.
2. Ein gleiches wird versucht durch streuenden Anfall der Arbeitsgänge und unterschiedlichen Aufwand zur Durchführung der einzelnen Arbeitsgänge (je nach Korrosions- und Schadenszustand).
3. Es treten Maschinenelementpaarungen mit unterschiedlichen Verschleißstufen oder individuellen Paarungen auf.
4. Eine weitere Besonderheit ist der unkontinuierliche Anfall über den Produktionszeitraum eines Jahres.

Der gegenwärtige Stand und die Entwicklungstendenzen der Mechanisierung und Automatisierung im Instandsetzungsablauf sind je nach den Erzeugnissen der Betriebe (Motore, Getriebe, Vorderachsen, Kleinbaugruppen) und den Produk-