

# Näherungsweise Bestimmen der Instandsetzungstermine für die Instandsetzung nach starrem Zyklus, insbesondere für Anlagen der Tierproduktion

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

## 1. Problemstellung

Bei dem Einsatz neuer Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion und auch bei anderen technischen Arbeitsmitteln tritt oft das Problem auf, ohne statistisch gesicherte Daten über das Schädigungsverhalten der Elemente dieser Anlagen die Termine für das Durchführen von in der Regel vorbeugenden Instandsetzungsmaßnahmen festzulegen. Bei Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion ist dies insofern von besonderer Bedeutung, als die Anzahl der vorhandenen Maschinen oder ihrer Elemente nur in etwa 10 bis 15 Prozent der Fälle hinreichend groß für eine exakte statistische Grenznutzungsdaueruntersuchung ist [1/2].

Es ist bei Fehlen dieser exakten Unterlagen notwendig, den Termin der vorbeugenden Instandsetzung vorerst näherungsweise festzulegen, um ihn danach im Verlaufe der Nutzung der Anlage zu präzisieren. Dieses Präzisieren kann durch im Verlauf der Nutzung ermittelte statistisch gesicherte Daten über das Schädigungsverhalten oder adaptiv erfolgen. Weil diese Näherung auf empirischem Wege nur bei sehr reichem Erfahrungsschatz der diesen Prozeß leitenden Kader hinreichende Ergebnisse bringt, sollte angestrebt werden, den Praktikern Methoden in die Hand zu geben, die es ihnen gestatten, ihre umfangreichen Erfahrungen treffsicher einzusetzen. Dies gilt besonders für junge Kader und im Anlaufstadium neuer Anlagen. In der vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren für die adaptive Präzisierung geschätzter Instandsetzungstermine nach starrem Zyklus entsprechend den tatsächlich vorliegenden Werten vorgeschlagen.

## 2. Auswahl der Instandhaltungsmethode

Wenn keine Unterlagen über das Schädigungsverhalten vorliegen und es sich um Neuentwicklungen handelt, dann sind auch meist exakte Verfahren der Technischen Diagnostik [1] nicht anwendbar. Es bleibt nur die praktische Möglichkeit, die Ausfallmethode oder die Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus einzusetzen. Für die näherungsweise Auswahl einer dieser Varianten wurden bereits früher praktische Wege vorgeschlagen [3].

Nach Fischer [4] liegt der kostenoptimale Anwendungsbereich für die Instandhaltung nach starrem Zyklus bei einem Ausfallverlustverhältnis von

$$D = \frac{c}{c_p} = \frac{c_a + c_f}{c_p} > 2$$

- $c_a$  Ausfallverluste infolge plötzlicher Ausfälle
- $c_f$  Instandsetzungskosten für plötzliche Ausfälle
- $c_p$  Kosten für vorbeugende Instandsetzungen

Bei  $D < 2$  ist die Ausfallmethode ökonomisch. Fischer gibt in Übereinstimmung mit anderen Autoren [3/4/5] an, daß diesem kostenoptimalen starren Zyklus vorbeugende Instandsetzungstermine  $t_{inst}$  von

$$0,4 t_q < t_{inst} < 0,7 t_q$$

$t_q$  mittlere Grenznutzungsdauer bei Variationskoeffizienten der Grenznutzungsdauer von  $0,2 < v < 0,4$  zugeordnet sind.

Bild 1 gibt die Verhältnisse für  $v = 0,3$  wieder. Es zeigt, daß sich für den kostenoptimalen starren Zyklus Zuverlässigkeiten von 84 Prozent  $< R < 97$  Prozent ( $R =$  Zuverlässig-

keit) ergeben. Für  $v = 0,2$  als untere und  $v = 0,4$  als obere Grenze des gegenwärtig für das Schädigungsverhalten zu erwartenden Variationskoeffizienten ergeben sich die im Bild 2 dargestellten Zuverlässigkeitsbereiche als kostenoptimal. Diese entsprechen den Forderungen von Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. Für die zu bearbeitende Aufgabenstellung ergibt sich damit:

Werden vom Instandhaltungsobjekt während des Betriebes Zuverlässigkeiten innerhalb des starren Zyklus um 90 Pro-

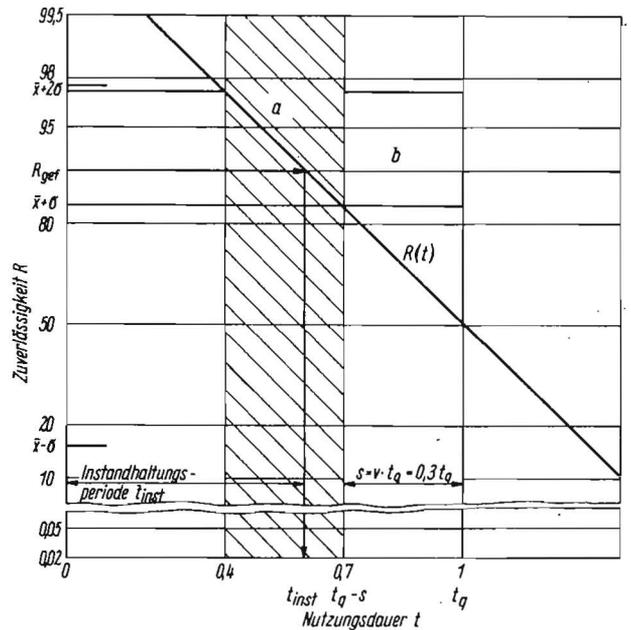


Bild 1. Optimaler Anwendungsbereich der Instandhaltung nach starrem Zyklus und Bestimmen des Instandsetzungstermins bei geforderter Zuverlässigkeit: a Bereich der Instandhaltung nach starrem Zyklus mit ökonomisch festgelegter Nutzungsdauer, b Bereich kostenoptimaler Zuverlässigkeit

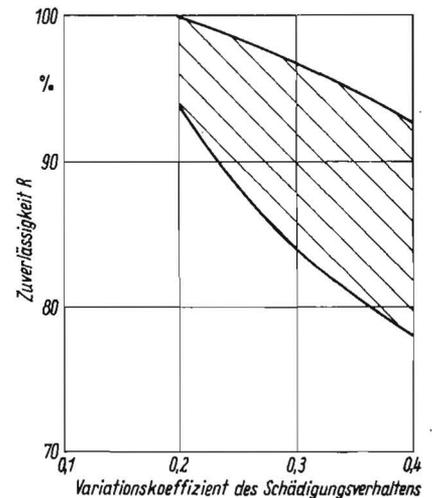


Bild 2. Bereiche kostenoptimaler Zuverlässigkeit bei der Instandhaltung nach starrem Zyklus

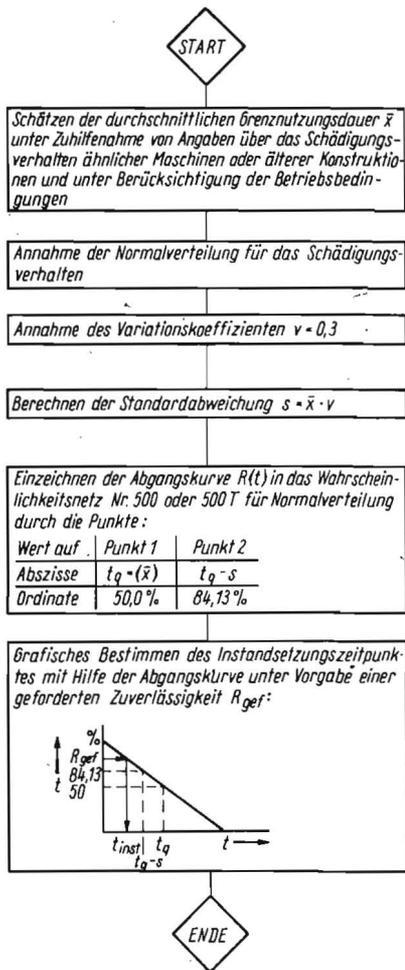


Bild 3. Programmablaufplan für das Schätzen von vorbeugenden Instandsetzungsterminen nach starrem Zyklus

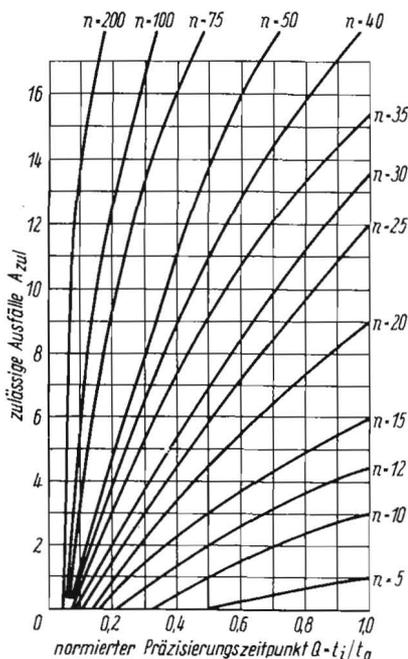


Bild 4. Zulässige plötzliche Ausfälle bis zum normierten Präzisionszeitpunkt  $t_i$ , wenn für die mittlere Grenznutzungsdauer  $t_q$  eine statistische Sicherheit von 90 Prozent gefordert ist, in Abhängigkeit von der untersuchten Stichprobengröße

zent gefordert, so wird etwa das Kostenoptimum mit der Instandhaltung nach starrem Zyklus erreicht. Die Instandsetzungstermine sind zwischen

$$0,4 t_q < t_{inst} < 0,7 t_q \text{ zu wählen.}$$

### 3. Adaptives Bestimmen des Instandsetzungstermins

Ausgehend von einer für das Instandhaltungsobjekt geschätzten mittleren Grenznutzungsdauer und einem angenommenen Variationskoeffizienten für die Streuung der Grenznutzungsdauer von  $v = 0,3$  (es sind damit mittlere Schädigungsbedingungen unterstellt, weil der Variationskoeffizient  $v = 0,3$  beim Schädigungsverhalten landtechnischer Arbeitsmittel oft auftritt) wird die geschätzte Abgangskurve gezeichnet.

Bild 1 zeigt ein Beispiel für  $t_q = 1$  und  $v = 0,3$  im Wahrscheinlichkeitsnetz mit den Punkten ( $t_q$ ; 50%) und ( $t_q - s$ ; 84,13%). Da sich in diesem Fall die Abgangskurve als Gerade darstellt und die Annahme der Normalverteilung für das Schädigungsverhalten (bei Mischschädigung) zulässig ist, wird die Benutzung des Wahrscheinlichkeitsnetzes empfohlen. Mit der geforderten Zuverlässigkeit  $R_{gef}$  wird graphisch einfach (Bild 1) der geschätzte vorbeugende Instandsetzungstermin  $t_{inst}$  bestimmt. Dieser Instandsetzungstermin findet vorerst in der Instandhaltungsvorschrift seinen Niederschlag. Das Verfahren ist im Bild 3 als Programmablaufplan dargestellt.

### 4. Präzisieren des Instandsetzungstermins

Der geschätzte vorbeugende Instandsetzungstermin ist infolge der Schätzung der mittleren Grenznutzungsdauer und ihres Variationskoeffizienten naturgemäß mit einem in seiner Größe nicht bekannten Fehler behaftet. Es muß außerdem damit gerechnet werden, daß sich die Schädigungsbedingungen über der Nutzungsdauer verändern.

Zum Einhalten der geforderten Zuverlässigkeit ist es deshalb eventuell erforderlich, im Verlauf der Nutzung den Instandsetzungstermin zu prüfen und im Bedarfsfall zu präzisieren. Es wird davon ausgegangen, daß jede Zuverlässigkeit  $R < 100$  Prozent innerhalb des zugrunde gelegten Nutzungsdauerintervalls plötzliche Ausfälle  $A_{pl} = 100 - R$  Prozent hervorruft.

Soll  $R_{gef}$  innerhalb der Instandsetzungsperiode  $T_{inst}$  ( $T_{inst}$  bei neuen Anlagen Nutzungsdauerintervall  $0 \dots t_{inst}$ ) gesichert werden, so sind maximal  $A_{pl} = 100 - R_{gef}$  plötzliche Ausfälle innerhalb dieses Intervalls zulässig ( $A_{pl} \rightarrow A_{zul}$ ).  $A_{zul}$  ist dabei die Zahl der zulässigen Ausfälle.

Es muß zum Prüfen und Präzisieren bei oder kurz vor  $t_{inst}$ , oder, wenn statistisch möglich, bei einem Zeitpunkt wesentlich kleiner  $t_{inst}$  die Zahl der bis zu diesem Zeitpunkt tatsächlich eingetretenen plötzlichen Ausfälle  $A_{pl}$  mit  $A_{zul}$  verglichen werden. Bei  $A_{pl} > A_{zul}$  ist beispielsweise ein operatives Verkleinern von  $t_{inst}$ , ein frühzeitigeres vorbeugendes Instandsetzen notwendig. Das Überprüfen der Zahl der plötzlichen Ausfälle zu einem Termin kleiner  $t_{inst}$  hat den Vorteil, daß bereits im ersten Instandsetzungsintervall die geforderte Zuverlässigkeit durch Korrektur des Instandsetzungstermins besser als im Schätzungsfall gesichert werden kann. Läuft dieser Prozeß mehrfach ab, so erfolgt ein stufenweises, adaptives Präzisieren des Termins der vorbeugenden Instandsetzung und damit die Annäherung an die geforderte Zuverlässigkeit.

Die Aufgabe läuft damit auf das Problem der Zuverlässigkeitskontrolle hinaus. Es wird nachfolgend ein verteilungsfreies Verfahren beschrieben. Dabei handelt es sich lediglich um eine rezeptartige Darstellung der Anwendung und einen Verzicht auf Ableitungen.

Unter Benützung von Tabellen aus der Zuverlässigkeitsprüfung [6] läßt sich ein einfaches, statistisch exaktes Verfahren ableiten. Die Zuverlässigkeitsprüfung benutzt aus der Wahrscheinlichkeitsrechnung abgeleitete Tabellen, in denen für ein

Untersuchungsintervall und vorgegebene Stichprobengrößen die Zahl der Ausfälle dargestellt ist, die maximal zugelassen werden darf, um die mittlere Grenznutzungsdauer  $t_q$  zu sichern. Diese Zusammenhänge zeigt Bild 4 in Auswertung von /6/.

Zu einem beliebigen Präzisionszeitpunkt  $t_i \leq t_{inst}$  wird die Zahl der bis zu diesem Zeitpunkt aufgetretenen plötzlichen Ausfälle  $A_{pl}$  festgestellt und mit der Zahl der zulässigen Ausfälle aus Bild 4 verglichen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit wird  $A_{pl} \neq A_{zul}$  sein. Bei Gleichheit könnte  $t_{inst}$  beibehalten werden. Im ersten Fall wird aus Bild 4 der Wert  $Q_{pl}$  für  $A_{pl}$  entnommen und über die Beziehung

$$t_{qneu} = t_i / Q_{pl}$$

die mindestens vorhandene mittlere Grenznutzungsdauer  $t_{qneu}$  bestimmt. Nach Bild 3 kann dann auf dem vorbeschriebenen Weg der präzisierte Instandsetzungstermin bestimmt werden.

Berücksichtigt man, daß die optimalen Instandsetzungstermine im Bereich  $0,4 t_q < t_{inst} < 0,7 t_q$  liegen, so ergibt sich aus Bild 4, daß die Präzisierung praktisch nur für untersuchbare Stichproben (Maschinenbestand) größer 7 möglich ist, da sonst der Präzisionszeitpunkt nach dem Instandsetzungszeitpunkt liegt oder weniger als 1 Ausfall bis zu diesem Zeitpunkt zulässig ist. Bei kleineren Maschinenbeständen kann praktisch nur mit geschätzten Terminen der vorbeugenden Instandsetzung zwischen  $0,4$  und  $0,7 t_q$  oder der Ausfallmethode gearbeitet werden.

### 5. Beispiel

- geschätzte mittlere Grenznutzungsdauer  $t_q = 3500$  h
- angenommener Variationskoeffizient  $v = 0,3$
- geforderte Zuverlässigkeit  $R_{gef} = 90$  Prozent

Die Standardabweichung ergibt sich zu  $s = 0,3 \cdot 3500 = 1050$  h. Mit den Werten  $(3500; 50\%$  und  $3500 - 1050; 84,13\%$ ) wird die Abgangskurve im Wahrscheinlichkeitsnetz gezeichnet (Bild 5).

Aus dem Wahrscheinlichkeitsnetz ergibt sich mit  $R_{gef}$  der geschätzte Instandsetzungstermin zu  $t_{inst} = 2160$  h.

Die Anzahl der vorhandenen und für die Überprüfung und Präzisierung des Instandsetzungstermins nutzbare Zahl der Instandsetzungsobjekte beträgt  $n = 15$ .

Eine erste Überprüfung soll bei  $t_i = 0,4 t_q = 1400$  h erfolgen. Nach Bild 4 sind bei  $n = 15$  zwei plötzliche Ausfälle ( $A_{zul} = 2$ ) zulässig.

Im Nutzungsdauerintervall bis  $t_i$  wurden an den 15 Maschinen effektiv 3 plötzliche Ausfälle registriert. Für  $A_{pl} = 3$  ergibt sich der Wert  $Q_{pl}$  aus Bild 4 zu  $0,5 t_q$ . Die mindestens vorhandene mittlere Grenznutzungsdauer ergibt sich zu  $t_{qneu} = 2800$  h.

Die Instandsetzungsvorschrift muß geändert werden. Der neue Instandsetzungstermin ergibt sich zu  $t_{instneu} = 1760$  h. Würde bei der tatsächlichen mittleren Grenznutzungsdauer  $t_{qneu}$  der alte vorbeugende Instandsetzungstermin beibehalten werden, so könnte für das Nutzungsdauerintervall, wie Bild 5 zeigt, nur eine Zuverlässigkeit von 78 Prozent gesichert werden.

### 6. Zusammenfassung

Es wurden Möglichkeiten vorgestellt, den Instandsetzungszeitpunkt nach starrem Zyklus näherungsweise zu bestimmen und adaptiv zu präzisieren. Es ergibt sich, daß für technische Arbeitsmittel, die in überwachbaren Seriengrößen oberhalb 7 vorhanden sind, Möglichkeiten für diese Präzisierung bestehen. Damit ergeben sich bei industriemäßigen Anlagen einige Möglichkeiten, die Instandhaltung exakter zu gestalten. Bei mobilen Landmaschinen erscheinen die angegebenen Verfahren für das Ausarbeiten von Instandhaltungsvorschriften bereits im Entwicklungszeitraum anwendbar.

### Literatur

- 1/ Hahrt, D.: Möglichkeiten der Anwendung der technischen Diagnostik bei der Instandhaltung der technischen Ausrüstungen in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. Forschungsstudie 1972 der Sektion Landtechnik Universität Rostock (unveröffentlicht)
- 2/ Eichler, Chr./W. Schiroslawski/D. Hahrt: Probleme der Instandhaltung in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. agrartechnik 23 (1973) H. 9, S. 391
- 3/ Eichler, Chr./W. Schiroslawski/H. Karpowski: Zum näherungsweisen Bestimmen der optimalen Instandhaltungsperiode am Beispiel von Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. agrartechnik 23 (1973) H. 9, S. 396
- 4/ Fischer, H. J.: Untersuchung der Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus. Dipl.-Arbeit an der Universität Rostock, Sektion Landtechnik 1973 (unveröffentlicht)
- 5/ Köhler, L.: Beitrag zur Klärung der Beziehungen zwischen dem Ausfallverhalten und der Instandsetzungsstrategie bei landtechnischen Arbeitsmitteln. Dissertation TU Dresden 1972
- 6/ Lloyd, D. R./M. Lipow: Reliability: Managements Methods and Mathematics. Engelwood Cliffs, N. J. 1962 A 9378

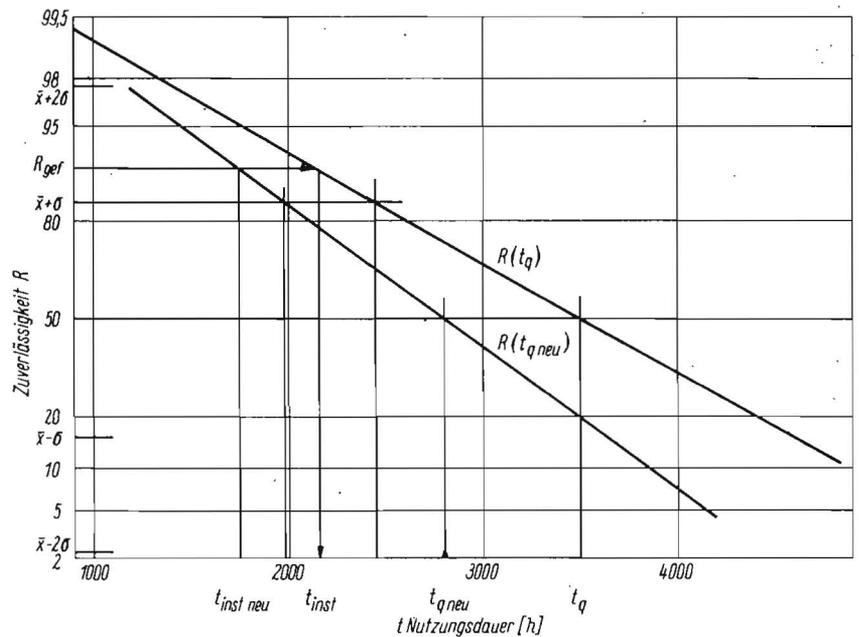


Bild 5. Beispiel für die Präzisierung eines geschätzten Instandhaltungstermins (Erläuterung im Text)