

# Zum näherungsweise Bestimmen der optimalen Instandhaltungsmethode am Beispiel von Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion

Prof. Dr. sc. techn. Chr. Eichler, KDT\*  
Dr.-Ing. W. Schirosławski, KDT\*  
cand. Ing. H. Karpowsky\*

## Verwendete Formelzeichen

$K_{IH}$	Instandhaltungskosten in der Nutzungsdauer des Elements
$K_A$	Ausfallkosten in der Nutzungsdauer des Elements
$T$	Nutzungsdauer des Elements
$K_{UI}$	Gesamtkosten bei plötzlichem Ausfall
$K_E$	Preis der neuen oder instand gesetzten Elemente
$K_M$	Kosten für die De- und Montage eines Elements
$K_{AUI}$	Ausfallkosten bei plötzlichem Schadenseintritt
$K_N$	Kosten für die Beseitigung von Nachfolgeschäden
$K_{PI}$	Gesamtkosten für eine planmäßige Instandsetzung
$K_{API}$	Ausfallkosten bei einer planmäßigen Instandsetzung
$n$	Verhältnis der Anzahl der planmäßigen Instandsetzungen bei einer vorbeugenden Instandhaltungsmethode zur Anzahl der plötzlichen Ausfälle bei der Ausfallmethode
$w$	mittlere Anzahl der Überprüfungen für ein Element
$K_U$	Kosten für eine Überprüfung
$H_{UI}$	mittlere Anzahl der Ausfälle
$H_{PI}$	mittlere Anzahl der planmäßigen Instandsetzungen
$t_{QUI}$	mittlere Grenznutzungsdauer des Elements bei plötzlichem Ausfall
$t_{QPI}$	mittlere Grenznutzungsdauer des Elements bei planmäßiger Instandsetzung
$t_A$	optimales Instandsetzungsintervall bei starrem Zyklus
$K_d$	Verhältnis der Kosten für eine Überprüfung zu den Kosten für eine planmäßige Instandsetzung
IM I	Ausfallmethode
IM II	Instandsetzungsmethode nach starrem Zyklus
IM III	Instandhaltungsmethode nach periodischen Überprüfungen

## 1. Problemstellung

Die unterschiedlichen Einsatzbedingungen der technischen Arbeitsmittel in den verschiedenartigsten Einsatzbereichen, insbesondere in den Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion, erfordern das Anwenden spezifischer, den jeweiligen Bedingungen entsprechenden Instandhaltungsmethoden /1/ /2/ /3/ /4/. Das Bestimmen der spezifisch richtigen Instandhaltungsmethode ist für Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion von besonderer Bedeutung, weil der Entwicklungsstand der in recht kleinen Stückzahlen vorkommenden Anlagen unterschiedlich und in ständigem Fluß ist und die Vielfalt dieser Anlagen groß ist.

Untersuchungen der Bedingungen von Anlagen der Tierproduktion ergaben, daß es keine spezifischen Instandhaltungsmethoden für Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion gibt. Es kommen vielmehr die für das Instandhalten technischer Arbeitsmittel allgemein bekannten Methoden zur Anwendung. Spezifische Besonderheiten, insbesondere die

- Unmöglichkeit, ein Arbeitsmittel in der verfügbaren technologisch bedingten Stillstandszeit komplett auszuwechseln
- hohen Verluste bei Ausfall von funktionswichtigen Arbeitsmitteln
- Schwarz-Weiß-Trennung
- Problematik des Dauerbetriebs und der technologischen Pausen

haben zum Entwickeln einiger organisatorischer Besonderheiten geführt, z. B. das abschnittsweise Durchführen von größeren Instandsetzungen innerhalb kurzer technologischer Pausen.

Das exakte Ermitteln der entsprechend der örtlichen Gegebenheiten anzuwendenden Instandhaltungsmethode ist sehr aufwendig hinsichtlich der erforderlichen Primärdaten einerseits und dem hohen Rechenaufwand andererseits /5/ /6/. Deshalb kommt dem näherungsweise Bestimmen der anzuwendenden Instandhaltungsmethode besondere Bedeu-

tung zu. Ein einfaches, auf Alternativfragen aufgebautes Programm, daß keiner Optimierungsrechnung bedarf und mit einem Minimum an abschätzbaren Primärdaten auskommt, wird nachfolgend vorgestellt.

## 2. Ausgangspunkt und Anforderungen

Die Methode zum näherungsweise Bestimmen der optimalen Instandhaltungsmethode geht aus von den

- Ergebnissen exakter Optimierungen über die anzuwendenden Instandhaltungsmethoden /5/ /6/ /7/ /8/
- Kennzeichen, Eigenschaften und Anwendungsbereichen der Instandhaltungsmethoden
- speziellen Bedingungen für die Instandhaltung in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion (z. B. Redundanzgrad, Kenntnisse über das Schädigungsverhalten)
- technologischen Prozessen in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion und ihrem zeitlichen Charakter
- Erfahrungen der praktischen Instandhaltung in den Anlagen.

Das vorgelegte Programm verzichtet völlig auf Rechnungen und versucht damit, den gegenwärtig in den Anlagen gegebenen Bedingungen gerecht zu werden.

Für die Instandhaltung nach Überprüfungen wird nicht ausschließlich das Vorhandensein von Verfahren der Technischen Diagnostik vorausgesetzt, sondern es kommen in der Mehrzahl subjektive Diagnosemethoden zur Anwendung (Sicht-, Gehör- und Tastkontrollen). In vielen Fällen ist es auf diese Weise möglich, den Schädigungszustand von Maschinen und Elementen einzuschätzen.

Die im Programm zur Auswahl stehende Ausfallmethode weist eine Besonderheit auf. Bei einigen Maschinen in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion führt der Ausfall bestimmter Elemente nicht zum Ausfall der Maschine bzw. des gesamten Systems (z. B. Tragrollstationen an Gurtbandförderern, Lüfter im Belüftungssystem). Da das System erst bei Ausfall einer größeren Elementenanzahl zusammenbrechen würde, ist der Ausfall dieser Elemente ohne Inspektion nicht erkennbar. Es ist festzustellen, daß in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion die Ausfallmethode nur in Verbindung mit regelmäßigen Inspektionen anwendbar ist. Dies wird bei den folgenden Ausführungen vorausgesetzt.

## 3. Grundlagen

Bei gegebenen Herstellungskosten und gegebenen Einsatzkosten wird die optimale Instandhaltungsmethode über die Zielfunktion

$$\frac{K_{IH} + K_A}{T} \rightarrow \min! \quad (1)$$

bestimmt /5/. Bei plötzlichem Ausfall eines Elements können neben dem Preis für ein neues oder instand gesetztes Element, den Demontage- und Montagekosten und den Ausfallkosten noch Kosten für die Beseitigung von Nachfolgeschäden auftreten.

$$K_{UI} = K_E + K_M + K_{AUI} + K_N \quad (2)$$

Wenn eine planmäßige Instandsetzung nicht in der technologisch bedingten Stillstandszeit bewältigt werden kann, ergeben sich die Gesamtkosten für eine planmäßige Instandsetzung zu

$$K_{PI} = K_E + K_M + K_{API} \quad (3)$$

Planmäßig vorbeugende Instandsetzungsmaßnahmen sind im wesentlichen dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente

\* Universität Rostock, Sektion Landtechnik (Direktor: Prof. Dr. sc. techn. Chr. Eichler)

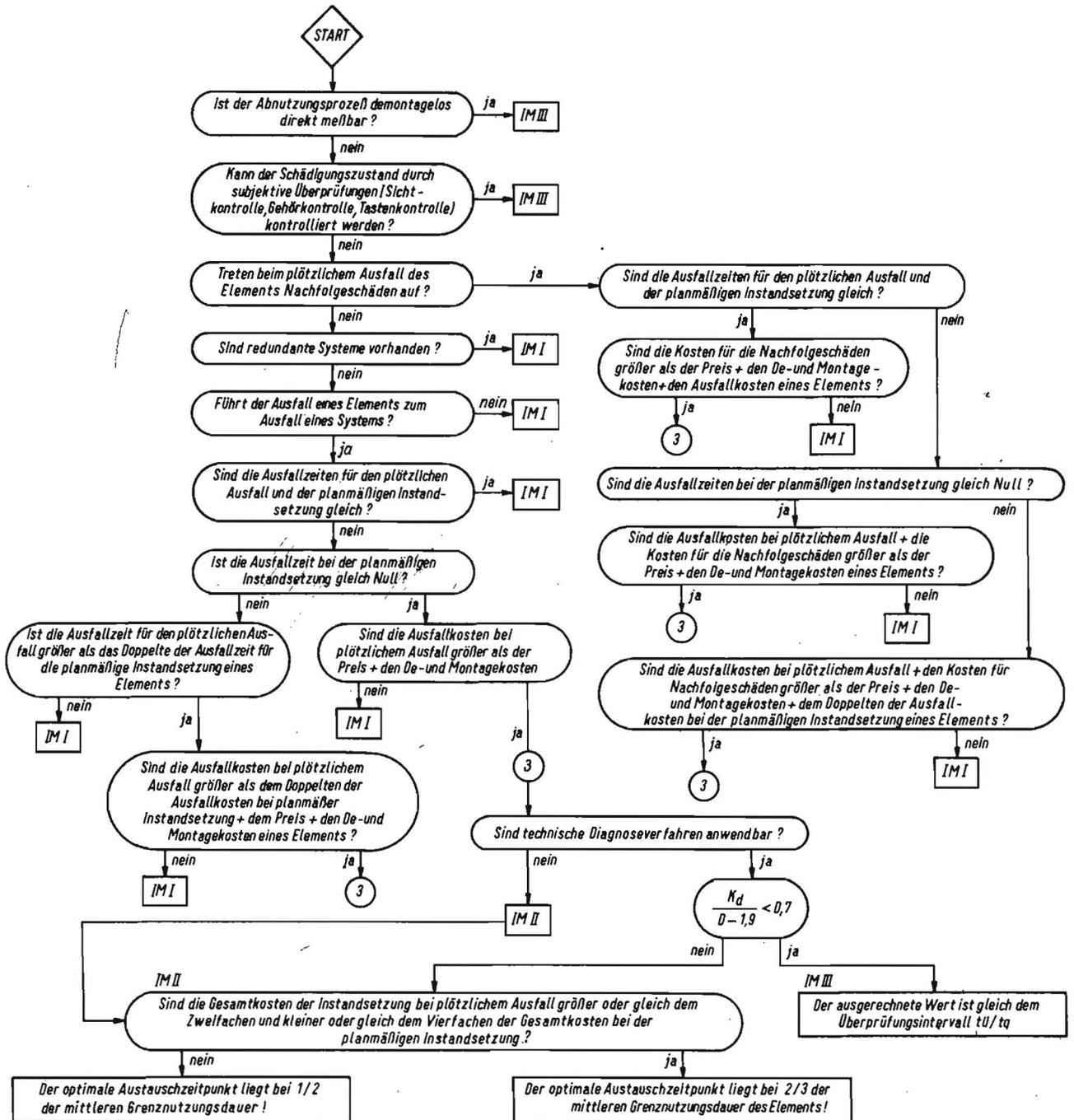


Bild 1. Alternativfragenprogramm

vor Schadenseintritt instand gesetzt werden. Das hat zur Folge, daß eine bestimmte Restnutzungsdauer nicht ausgeschöpft werden kann. Aus diesem Grund treten planmäßige Instandsetzungen bezogen auf einen bestimmten Zeitraum häufiger auf, als plötzliche Ausfälle bei der Ausfallmethode. Diese Differenz wird durch den Faktor  $n$  gekennzeichnet.

Bei der Instandhaltung nach Überprüfungen ist ein Element in einem Zeitraum mehrmals zu überprüfen. Die Häufigkeit wird durch  $w$  angegeben.

Durch planmäßig-vorbeugende Instandhaltungsmethoden lassen sich aus verschiedenen Gründen plötzliche Ausfälle nicht völlig vermeiden (z. B. infolge Diagnosefehler, Primärdatenfehler usw.). Es kann lediglich eine bestimmte Zuverlässigkeit gesichert werden. Die Häufigkeit des Auftretens von operativen Instandsetzungen wird mit  $1 - R(t)$  angegeben.

Aus diesen Fakten ist folgendes Entscheidungskriterium ableitbar:

$$K_{UI} > n \cdot K_{PI} + (1 - R(t)) \cdot K_{UI} + w \cdot K_0 \quad (4)$$

Sind die Kosten  $K_{UI}$  größer als die Summe der Kosten bei Anwendung von planmäßig-vorbeugenden Instandhaltungsmaßnahmen, so ist eine vorbeugende Instandhaltungsmethode zweckmäßig, sonst ist die Ausfallmethode als optimal anzusehen.

Für eine einfache Abschätzung der Verhältnisse wird der Instandsetzungsprozeß als stationär betrachtet. Mit dieser Einschränkung ergibt sich die mittlere Zahl der Ausfälle bei der Ausfallmethode zu

$$H_{UI}(t) = t/t_{qUI} \quad (5)$$

und die mittlere Zahl der planmäßigen Instandsetzungen bei einer vorbeugenden Instandhaltungsmethode zu

$$H_{PI}(t) = t/t_{qPI} \quad (6)$$

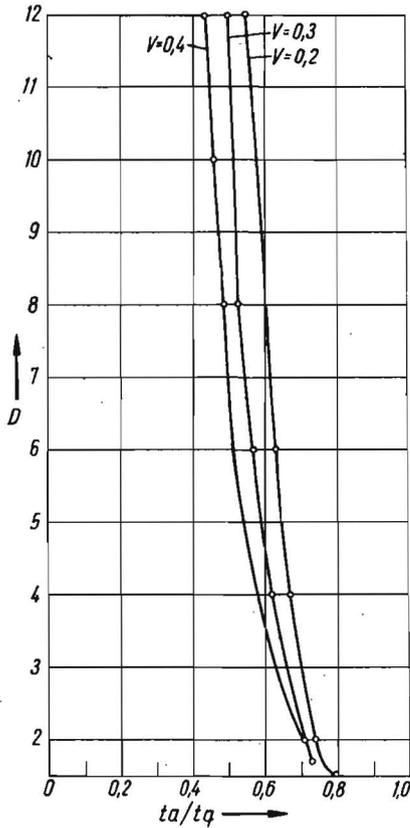


Bild 2. Abhängigkeit des optimalen Instandsetzungszeitpunkts vom Variationskoeffizienten  $v$  und von der Verhältniszahl  $D$

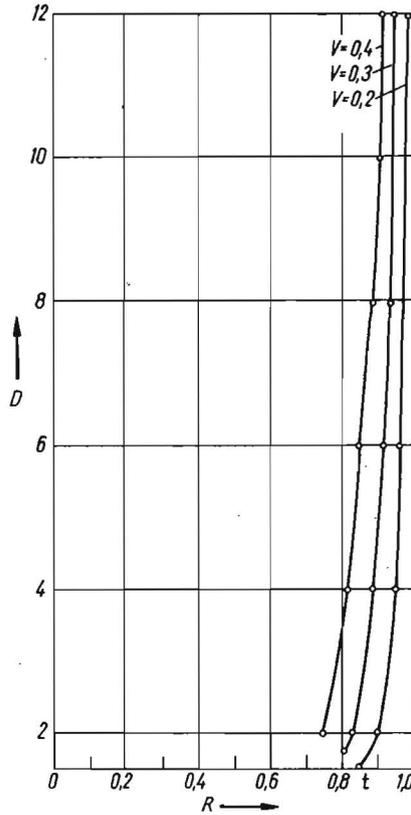


Bild 3. Abhängigkeit der optimalen Zuverlässigkeit vom Variationskoeffizienten  $v$  und von der Verhältniszahl  $D$

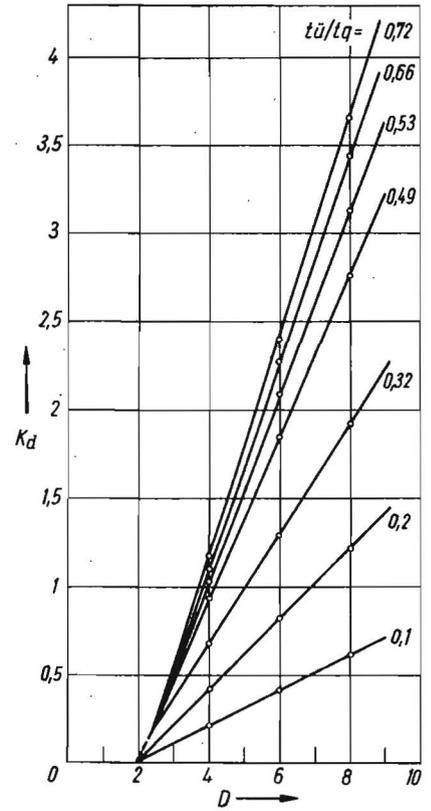


Bild 4. Verhältniszahl  $K_d$  in Abhängigkeit von der Verhältniszahl  $D$  und dem Überprüfungszeitpunkt  $t_A/t_q$ ; Diagnosefehler  $f = 30$  Prozent

Daraus wird der Faktor  $n$ , als Verhältnis der Anzahl der planmäßigen Instandsetzungen zur Anzahl der plötzlichen Ausfälle, gebildet:

$$n = \frac{H_{PI}(t)}{H_{UI}(t)} = \frac{tq_{UI}}{tq_{PI}} = \frac{\int_0^{\infty} R(t) dt}{\int_0^{\infty} R(t) dt} \quad (7)$$

Die mittlere Anzahl der Überprüfungen  $w$  für ein Element wird näherungsweise zu

$$w = tq/tü \quad (8)$$

bestimmt.

Um die nachfolgenden Aussagen allgemeingültig zu halten, werden alle Kostenteile auf den Kostensatz für eine planmäßige Instandsetzung bezogen:

$$D = K_{UI}/K_{PI} \quad (9)$$

$$K_d = K_U/K_{PI} \quad (10)$$

Damit erhält Gl. (4) die Form

$$D > n + (1 - R(t)) \cdot D + w \cdot K_d \quad (11)$$

#### 4. Kostenverhältnisse bei vorbeugenden Instandhaltungsmethoden

##### 4.1. Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus

Da die Überprüfungs-kosten entfallen, vereinfacht sich Gleichung (11) zu

$$D > n + (1 - R(t)) \cdot D \quad (12)$$

Um optimale Kosten und damit den optimalen Instandsetzungszeitpunkt zu erhalten, muß das Minimum der Summe  $n + F(t) \cdot D$  ermittelt werden. Die Untersuchungen

wurden, Normalverteilung des Schädigungsverhaltens vorausgesetzt, für Variationskoeffizienten von 0,2 bis 0,4 durchgeführt /9/. Danach ist die Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus erst zweckmäßig, wenn  $D$  größer als zwei wird.

Dieses Ergebnis führt mit Gleichung (2), (3) und (9) zur Aussage

$$\frac{K_E + K_M + K_{AUI} + K_N}{K_E + K_M + K_{API}} \geq 2, \quad (13)$$

die als fundamentale Grundlage für das Erarbeiten der Alternativfragen des Programms (Bild 1) verwendet wird. Zum Beispiel: Es treten keine Nachfolgeschäden auf; bei planmäßiger Instandsetzung sind die Ausfallkosten Null! Dann muß für die Anwendbarkeit des starren Zyklus die Bedingung

$$K_{AUI} > K_E + K_M$$

erfüllt sein.

##### 4.2. Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen

Die Untersuchung der Kostenverhältnisse führte auf die einfache Gleichung /9/

$$K_d = tü/tq \cdot D - 1,9 tü/tq. \quad (14)$$

Daraus ergibt sich als Entscheidungskriterium für die Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen

$$tü/tq = \frac{K_d}{D - 1,9}. \quad (15)$$

Viele Kostensätze können in der Praxis nur überschlägig bestimmt werden, wodurch die Rundung von 1,9 auf 2 gerechtfertigt ist. Mit Gleichung (2), (3), (9) und (10) folgt

$$tü/tq = \frac{K_U}{K_N + K_{AUI} - (K_E + K_M + 2 K_{API})}. \quad (16)$$

Der Nenner muß positiv sein, womit das Entscheidungskriterium identisch zu dem des starren Zyklus wird

$$K_N + K_{AUI} > K_E + K_M + 2 K_{API} \quad (17)$$

Das größte Instandsetzungsintervall bei der Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus beträgt  $t_A/t_q = 0,72/9$ . Danach wird die Ausfallmethode optimal. Dieses Ergebnis kann auch auf die Überprüfungs-methode übertragen werden, indem  $t_u/t_q = 0,7$  als der größtmögliche Überprüfungszeitpunkt angesehen wird. Die erreichbare Zuverlässigkeit beträgt dann ohnehin nur noch 75 Prozent.

Mit diesen Grundlagen ist das Alternativfrageprogramm vervollständigt.

## 5. Hilfsmittel zur Anwendung der Instandhaltungsmethoden

Für die Anwendung der Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus wurden die Bilder 2 und 3 erarbeitet. Aus Bild 2 kann bei bekanntem Kostenverhältnis D das optimale Instandsetzungsintervall ermittelt werden. Der Variationskoeffizient V liegt in den meisten Fällen um 0,3 bis 0,4. Bild 3 gibt dazu die optimale Zuverlässigkeit an.

Für die Anwendung der Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen kann aus Bild 4 für verschiedene Verhältnisse von D und  $K_d$  der optimale Überprüfungszeitpunkt  $t_u$  ermittelt werden. Dem Bild wurde ein Diagnosefehler von 30 Prozent zugrunde gelegt.

Für die Anwendung der Bilder 2 und 4 ist die Kenntnis der mittleren Grenznutzungsdauer erforderlich. Falls sie nicht aus Untersuchungen bekannt ist /10/, muß sie geschätzt werden.

## 6. Anwendungsbeispiele

### 6.1. Gurtbänder

Der Schädigungszustand und der Geradlauf ist durch Sichtkontrolle einschätzbar. Bild 1 führt auf die Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen.

### 6.2. Gurttrommelmotoren im Fütterungsabschnitt einer 2000er Milchviehanlage (MVA) (z. B. Zentralförderer, keine Redundanz oder Havarielösung)

- Für Überprüfungen stehen keine Mittel zur Verfügung. Die Instandsetzung ist in der technologischen Stillstandszeit zu bewältigen.
- Die Ausfallzeit ist bei planmäßiger Instandsetzung gleich Null.
- Die Verluste sind bei plötzlichem Ausfall größer als der Preis mit Demontage- und Montagekosten.

Als optimale Instandhaltungsmethode ergibt sich der starre Zyklus!

### 6.3. Lüfter in einer 2000er MVA

- Überprüfungs-mittel sind nicht vorhanden, durch Gehörkontrolle ist der Schädigungszustand nur in einzelnen Fällen ermittelbar.
- Es sind redundante Systeme vorhanden!

Als optimale Instandhaltungsmethode ergibt sich die Ausfallmethode mit Inspektionen!

## 7. Zusammenfassung

Mit Hilfe der erarbeiteten Kriterien und Alternativfragen ist es möglich, für eine Vielzahl von Baugruppen und Elementen landtechnischer Arbeitsmittel, insbesondere in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion, die optimale Instandhaltungsmethode abzuleiten. Die Untersuchungen ergaben, daß es aus ökonomischen Gesichtspunkten zweckmäßig ist, vorbeugende Instandhaltungsmethoden erst dann anzuwenden, wenn die Gesamtkosten bei plötzlichem Aus-

fall mindestens das Doppelte der Gesamtkosten bei vergleichbarer planmäßiger Instandsetzung betragen. Für das Ermitteln der optimalen Instandhaltungsmethode sind als Primärdaten nur

- das Verhältnis der Kosten bei plötzlichem Ausfall und planmäßiger Instandsetzung
- das Verhältnis der Kosten für eine Überprüfung zu den Kosten bei planmäßiger Instandsetzung erforderlich.

Kann die mittlere Grenznutzungsdauer ermittelt oder geschätzt werden, sind weitere Kennwerte vorhanden

- die optimale Zuverlässigkeit
- das optimale Überprüfungsintervall (periodische Überprüfungen)
- der optimale, starre Zyklus.

Vorbeugende Instandsetzungen sind grundsätzlich als Austausch-instandsetzungen zu organisieren. Für die Anwendung der Ausfallmethode sind Inspektionen erforderlich. Auch hier ist in der Mehrzahl aller Fälle die Austausch-instandsetzung anzuwenden. In Servicepausen ist eine Kampagne-festüberholung zweckmäßig (z. B. Silobeschickungs- und Entnahmeanlagen, Standausrüstungen in Schweinemastanlagen).

## Literatur

- /1/ Eichler, Chr./W. Schiroslawski/D. Hahrt: Probleme der Instandhaltung von Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. agrartechnik (1973) H. 9, S. 391
- /2/ Eichler, Chr.: Probleme der Modellierung von Instandhaltungsprozessen. Dt. Agrartechnik 21 (1971) H. 9, S. 391
- /3/ Eichler, Chr.: Grundlagen der Instandhaltung am Beispiel landtechnischer Arbeitsmittel. Berlin: VEB Verlag Technik 1970
- /4/ Ihle, G.: Hinweise für die Instandhaltung der technischen Ausrüstungen von Großanlagen der Rinderhaltung. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 9, S. 404
- /5/ Schiroslawski, W.: Vergleichende Untersuchungen über individuelle und komplexe Instandhaltungsmethoden am Beispiel der Traktorinstandhaltung. Universität Rostock, Dissertation 1972
- /6/ Köhler, L.: Beitrag zur Klärung der Beziehungen zwischen dem Ausfallverhalten und der Instandsetzungsstrategie bei landtechnischen Arbeitsmitteln. TU Dresden, Dissertation 1972
- /7/ Gäbler, K.: Optimierung des Aufwandes für die technische Diagnose. TU Dresden, Teilabschlußbericht 1973 (unveröffentlicht)
- /8/ Karpowsky, H.: Untersuchung der Instandhaltungsmethode nach periodischen Überprüfungen. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Großer Beleg 1973 (unveröffentlicht)
- /9/ Karpowsky, H.: Das System der Instandhaltungsmethoden und eine einfache Methodik zum näherungsweise Bestimmen der optimalen Instandhaltungsmethode, insbesondere für Anlagen der Tierproduktion. Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Diplomarbeit 1973 (unveröffentlicht)
- /10/ Lau, W.: Ermittlung des Instandsetzungsanfalls in landwirtschaftlichen Produktionsanlagen der Rinder- und Schweinezucht. PVB Charlottenthal, Abschlußbericht 1973 (unveröffentlicht), A 9243

## Walzenkränze

für Transportgeräte  
Förderanlagen usw.

- Geringe Einbauhöhe
- Zeitsparende Montage
- Hohe Belastungsfähigkeit

**VEB**

**Wälzlagerzubehör Schmalkalden**

**608 Schmalkalden**

Telefon: 28 06

