

Eigenschaften, Anwendungsbereiche und Anwendungsgrenzen von Instandhaltungsmethoden

Dr.-Ing. W. Schiroslawski, KDT, Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Problematik

Die unterschiedlichen Einsatzbedingungen, die Vielfalt der konstruktiv bedingten Parameter und die verschiedenen instandsetzungstechnologischen Möglichkeiten der technischen Arbeitsmittel erfordern das Anwenden spezifischer, den jeweiligen Bedingungen entsprechender Instandhaltungsmethoden /1/ /2/ /3/ /4/. Das exakte Ermitteln der entsprechend den örtlichen Gegebenheiten anzuwendenden Instandhaltungsmethode stößt hinsichtlich der Möglichkeit des Ermitteln der erforderlichen Primärdaten in verschiedenen Bereichen, insbesondere in Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion, auf nur mit sehr hohem Aufwand überwindliche Schwierigkeiten. Aus diesem Grund kommt dem näherungsweise Bestimmen der optimalen Instandhaltungsmethode und der Instandsetzungsintervalle besondere Bedeutung zu /5/.

Voraussetzung für das näherungsweise Bestimmen der anzuwendenden Instandhaltungsmethode ist die Kenntnis der Eigenschaften, Anwendungsbereiche und Anwendungsgrenzen der Instandhaltungsmethoden. Diese Kenntnis ermöglicht es auch, die anzuwendende Instandsetzungsmethode mit exakten Optimierungsrechnungen rationaler zu ermitteln. Nachfolgend wird ein Überblick über die Instandhaltungsmethoden gegeben, und für ausgewählte Instandhaltungsmethoden werden die Anwendungsbereiche und Anwendungsgrenzen in Form von Kennfeldern charakterisiert.

2. Übersicht zu Instandhaltungsmethoden

Bei der Systematisierung der Instandhaltungsmethoden ist zwischen Methoden für Elemente und Methoden für Systeme zu unterscheiden (Bild 1). Fundamentale Bedeutung haben die Instandhaltungsmethoden

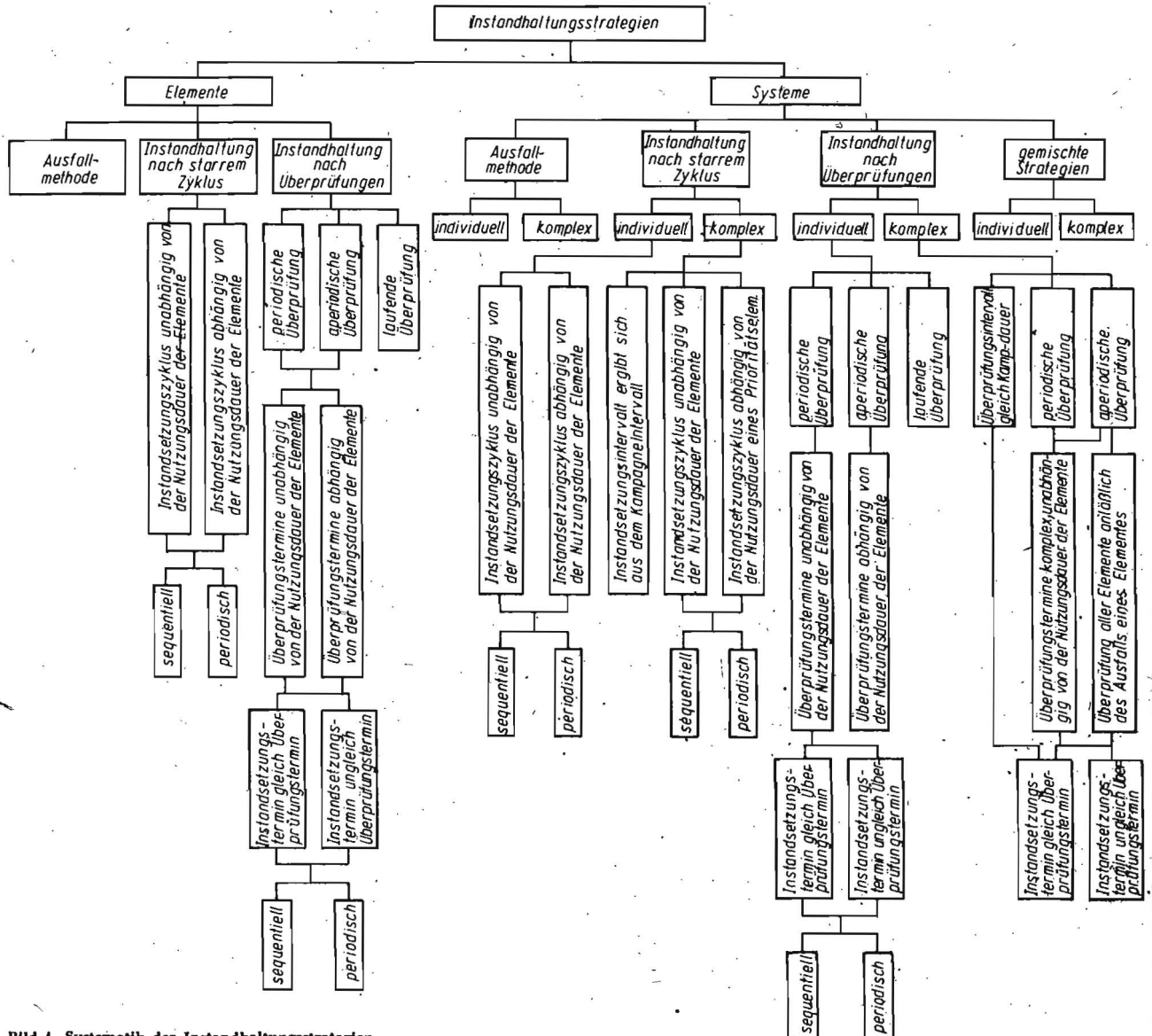


Bild 1. Systematik der Instandhaltungsstrategien

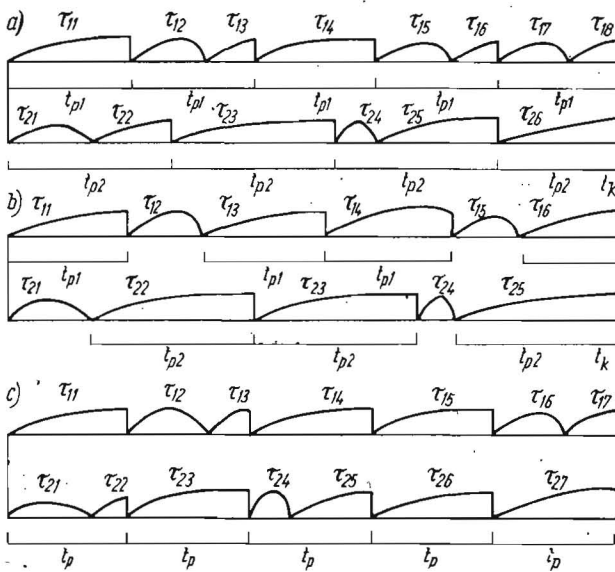


Bild 2. Prozessabläufe für die Instandhaltung nach starrem Zyklus;
 a) individuell, unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente,
 b) individuell, abhängig von der Nutzungsdauer der Elemente,
 c) komplex, unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente

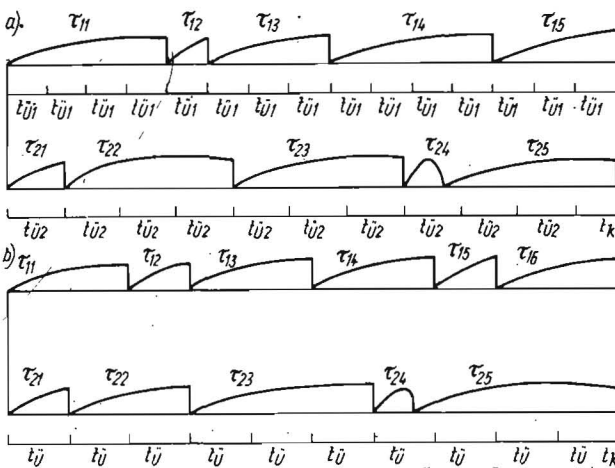


Bild 3. Prozessabläufe für die Instandhaltung nach Überprüfungen;
 a) individuell, unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente, Instandsetzungszeitpunkt gleich Überprüfungszeitpunkt,
 b) komplex, unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente, Instandsetzungszeitpunkt gleich Überprüfungszeitpunkt

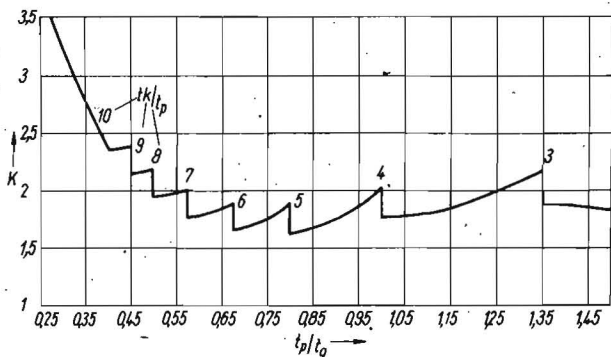


Bild 4. Kostenfunktion K der Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus bei Berücksichtigung der Konstruktionsnutzungsdauer;
 $t_q = 1, V = 0,3, D = 2, t_k = 4$

— Ausfallmethode

— Instandhaltung nach starrem Zyklus

— Instandhaltung nach Überprüfungen.

Unter komplexer Instandhaltung werden zwei oder mehrere Instandhaltungsmaßnahmen verstanden, die an einem Arbeitsmittel zum gleichen Zeitpunkt ausgeführt werden. Bei individueller Instandhaltung wird zu einem bestimmten Zeitpunkt nur eine Instandhaltungsmaßnahme durchgeführt. Die beiden Formen unterscheiden sich im wesentlichen dadurch, daß bei individueller Instandhaltung jedes Element ein anderes Instandsetzungs- bzw. Überprüfungsintervall hat und bei komplexer Instandhaltung zwei oder mehrere Elemente ein gemeinsames Instandsetzungs- bzw. Überprüfungsintervall haben. Die komplexe Instandsetzung aller Elemente entspricht der Grundinstandsetzung. Ordnen der Gesichtspunkt der Systematisierung der Instandhaltungsmethoden im Bild 1 ist der praktisch ablaufende Instandhaltungsprozeß.

Bei der *Ausfallmethode* werden die Elemente des Systems erst nach ihrem Ausfall instand gesetzt. Es ergeben sich relativ viele Instandsetzungszeitpunkte, da die Elemente nie zum gleichen Zeitpunkt ausfallen, mit der Ausnahme von Nachfolgeschäden. Bei der *Ausfallmethode komplex* werden bei Ausfall eines bestimmten Prioritätselements oder eines beliebigen Elements des Systems ein anderes oder mehrere Elemente mit instand gesetzt.

Die *Instandhaltung nach starrem Zyklus* ist dadurch gekennzeichnet, daß die Elemente nach Ablauf des Instandsetzungsintervalls unabhängig von ihrem Schädigungszustand instand gesetzt werden. Bei individueller Instandhaltung kann dieses Intervall unabhängig oder abhängig von der Nutzungsdauer der Elemente sein (Bild 2). Bei periodischer Methode bleiben die einmal optimierten Instandsetzungsintervalle erhalten, bei sequentieller Methode wird nach Ablauf jedes Instandsetzungsintervalls in Abhängigkeit von der noch verbleibenden Nutzungsdauer des Systems ein neues Instandsetzungsintervall berechnet.

Bei komplexer Instandhaltung kann das Instandsetzungsintervall gleich dem Kampagneintervall (Kampagnefestüberholung), unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente (Bild 2), oder abhängig von der Nutzungsdauer eines ganz bestimmten Elements (Prioritätselement) sein.

Bei der *Instandhaltung nach Überprüfungen* wird in bestimmten Zeitintervallen der Schädigungszustand der Elemente demontagelos ermittelt und — verglichen mit der Aussonderungsgrenze — entschieden, ob die Elemente zum Zeitpunkt der Überprüfung instand gesetzt werden oder bis zur nächsten Überprüfung im System verbleiben bzw. wann sie individuell oder komplex instand gesetzt werden (Bild 3). Bei individueller Instandhaltung können die Überprüfungen periodisch, aperiodisch (wenn z. B. das erste Intervall größer als die übrigen ist) oder laufend erfolgen. Die Überprüfungsstermine können abhängig oder unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente festgelegt werden, wobei sequentielle Verfahrensweise auch möglich ist.

Bei komplexer Instandhaltung kann das Überprüfungsintervall gleich dem Kampagneintervall, periodisch oder aperiodisch (und nur unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente) oder gleich der Zeit zwischen zwei Ausfällen (aperiodisch bzw. stochastisch) sein.

3. Ermitteln der optimalen Instandhaltungsmethode

Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf die Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus. Ergebnisse zur Instandhaltungsmethode nach Überprüfungen werden in einer späteren Arbeit vorgestellt.

3.1. Zielfunktion

Die Instandhaltung muß im wesentlichen drei Zielfunktionen Rechnung tragen:

- minimale Kosten
- maximale Verfügbarkeit
- geforderte Zuverlässigkeit bzw. Verfügbarkeit $4/6/$.

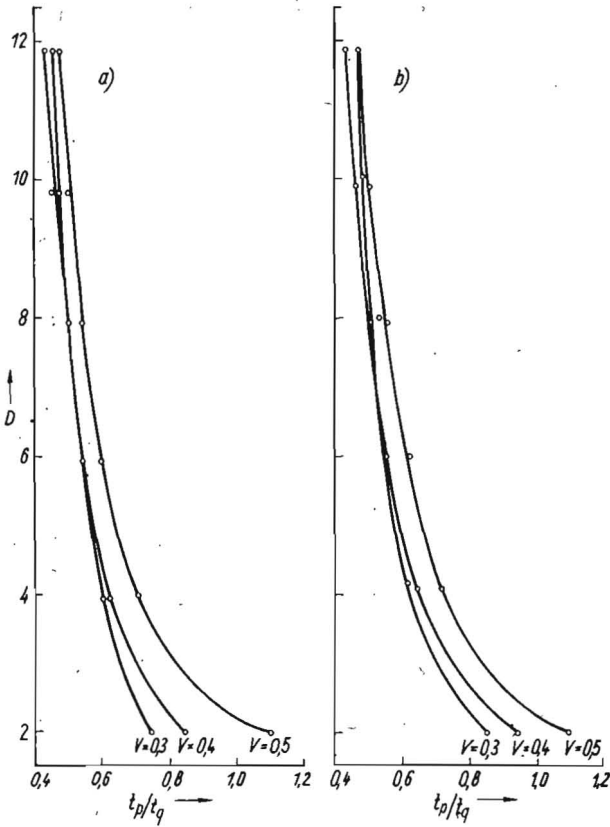


Bild 6. Kennlinien zum Ermitteln des optimalen Instandsetzungsintervalls ($n = 5, V = 0,4$); K_{AM} spez. Kosten bei Ausfallmethode, K_{SZ} spez. Kosten bei Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus, 1 Kennlinie für optimales Instandsetzungsintervall

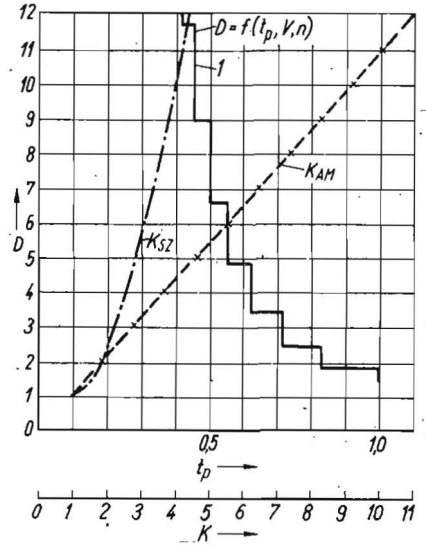


Bild 5. Kennlinie für die Instandhaltung nach starrem Zyklus; a) unabhängig von der Nutzungsdauer, b) abhängig von der Nutzungsdauer der Elemente

Dabei ist diejenige Methode zu ermitteln, die die zugrunde gelegte Zielfunktion am besten erfüllt — die optimale Instandhaltungsmethode. Bei gegebenen Herstellungskosten und Einsatzkosten wird die optimale Instandhaltungsmethode durch Minimieren der Summe aus den Instandhaltungskosten K_{IH} und den durch Ausfall verursachten Produktionsverlusten K_A (Ausfallkosten), bezogen auf die Arbeitsmenge in der Nutzungsdauer T , bestimmt.

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

Die Kosten für die Instandsetzung ergeben sich bei plötzlichem Ausfall aus der Summe von Preis für ein neues oder instand gesetztes Element K_E , Demontage- und Montagekosten K_M , Ausfallkosten K_{APA} und Kosten infolge Nachfolgeschäden K_N .

Die Kosten für eine planmäßige Instandsetzung beschränken sich auf die Summe von Preis für ein neues oder instand gesetztes Element, Demontage- und Montagekosten und Ausfallkosten infolge instandsetzungsbedingter Stillstandszeit K_{ApI} .

3.2. Modelle

3.2.1. Starrer Zyklus unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente

Entsprechend dem praktisch ablaufenden Prozeß ergeben sich die Gesamtkosten aus der Summe der Kosten für plötzliche Ausfälle innerhalb des Instandsetzungsintervalls t_p und für die planmäßige Instandsetzung nach Ablauf des Intervalls zu

$$\frac{H(t_p) (K_E + K_M + K_{APA} + K_N) + (K_E + K_M + K_{ApI})}{t_p} \rightarrow \text{Min!} \quad (2)$$

Die mittlere Anzahl der Ausfälle im Intervall t_p wird aus der Erneuerungsfunktion $H(t)$ für den jeweiligen Verteilungstyp bestimmt. Werden die Kosten für den plötzlichen Ausfall auf die Kosten für die planmäßige Instandsetzung bezogen, vereinfacht sich Gl. (2) mit

$$\frac{K_E + K_M + K_N + K_{APA}}{K_E + K_M + K_{ApI}} = D \quad (3)$$

zu

$$\frac{H(t_p) D + 1}{t_p} \rightarrow \text{Min!} \quad (4)$$

3.2.2. Starrer Zyklus abhängig von der Nutzungsdauer der Elemente

Nach /6/ lautet das Kostenmodell

$$\frac{F(t_p) D + 1}{\int_0^{t_p} R(t) dt} \rightarrow \text{Min!} \quad (5)$$

Das Integral gibt die mittlere Grenznutzungsdauer der Elemente an.

3.2.3. Starrer Zyklus unabhängig von der Nutzungsdauer der Elemente durch Einfluß der Konstruktionsnutzungsdauer

Innerhalb der Konstruktionsnutzungsdauer t_k tritt der starre Zyklus n_p mal auf. Am Ende der Konstruktionsnutzungsdauer sind noch plötzliche Ausfälle zu berücksichtigen. Damit ergibt sich das Kostenmodell zu

$$K = \frac{[H(t_p) (K_E + K_M + K_N + K_{APA}) + K_E + K_M + K_{ApI}] n_p}{t_k} + \frac{H(t_k - n_p t_p) (K_E + K_M + K_N + K_{APA})}{t_k} \quad (6)$$

und mit D zu

$$K = \frac{[H(t_p) D + 1] n_p + H(tk - n_p t_p) D}{tk} \rightarrow \text{Min!} \quad (7)$$

Diese Kostenfunktion (Bild 4) ist nicht stetig, sondern weist Sprungstellen auf. Diese Sprungstellen treten immer dann auf, wenn das Verhältnis tk/t_p ganzzahlig ist. In diesem Fall werden die Elemente nach Ablauf des letzten Instandsetzungsintervalls nicht mehr instand gesetzt, da das System verschrottet wird. Ist die Konstruktionsnutzungsdauer ein differentielles dt größer, so muß das System nochmals instand gesetzt werden, und es kommt zum sprunghaften Kostenanstieg.

Aus dieser Erkenntnis ist abzuleiten, daß das Kostenoptimum nur bei einem ganzzahligen Verhältnis tk/t_p liegen kann. Es genügt, die Kostenfunktion nur für diese Stellen zu berechnen. Das Modell vereinfacht sich mit $n_p = tk/t_p$ ganzzahlig zu

$$\frac{[H(t_p) D + 1] n_p - 1}{tk} \rightarrow \text{Min!} \quad (8)$$

4. Kennfelder

Die Bilder 5 und 6 zeigen die Kennfelder für die betrachteten Varianten. Bild 6 stellt nur eine Auswahl dar. Die Kennfelder liegen für Variationskoeffizienten von $V = 0,3, 0,4$ und $0,5$ für Verhältnisse $n = 2, 5, 8, 11$ und 14 ($n = tk/t_q$) vor. Bei bekanntem Kostenverhältnis D läßt sich aus den Kennfeldern das optimale Instandsetzungsintervall ermitteln.

Die Kosten für plötzlichen Ausfall seien 4mal so hoch wie für die planmäßige Instandsetzung. Die mittlere Grenznutzungsdauer t_q betrage 2000 Betriebsstunden. Mit $D = 4$ ergibt sich nach Bild 5a ein $t_p/t_q = 0,6$. Demzufolge ergibt sich das optimale Instandsetzungsintervall zu 1200 Bh. In Verbindung mit dem in /5/ veröffentlichten Zuverlässigkeitskennfeld läßt sich das Ergebnis zum adaptiven Bestimmen des optimalen Instandsetzungsintervalls verwenden, wenn die mittlere Grenznutzungsdauer geschätzt war.

Folgende Eigenschaften und Anwendungsgrenzen sind aus den Kennfeldern ableitbar:

- Für praktische Kostenverhältnisse D liegt das optimale Instandsetzungsintervall im Bereich von $0,45 \leq t_p/t_q \leq 0,8$.
- Die Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus wird gegenüber der Ausfallmethode erst bei einem Kostenverhältnis D größer als 2 optimal. Diese Grenze ist abhängig vom Variationskoeffizient V und liegt im Bereich von $1,75 \leq D \leq 2,4$. Da in diesem Bereich die Kosteneinsparung relativ gering ist, kann man diese Grenze als unkritisch bezeichnen und mit durchschnittlich $D = 2$ angeben.
- Der kostenmäßige Vorteil des starren Zyklus, abhängig von der Nutzungsdauer der Elemente, geht mit steigendem Kostenverhältnis D verloren. Die Grenze liegt bei $D \approx 6$. Da diese Methode erhöhten Organisationsaufwand beinhaltet (für alle Elemente sind die Nutzungsdauer und die Ausfallzeitpunkte ständig zu erfassen), liegt für den starren Zyklus abhängig von der Nutzungsdauer der Elemente hier die Anwendungsgrenze.
- Bei Berücksichtigung der Konstruktionsnutzungsdauer ist das optimale Instandsetzungsintervall immer ein ganzzahliger Teil der Konstruktionsnutzungsdauer.
- Die Abhängigkeit des optimalen Instandsetzungsintervalls vom Kostenverhältnis D ist bei kleinem n relativ unempfindlich. Diese Tatsache und die ganzzahlige Eigenschaft erleichtern das Bestimmen des optimalen Instandsetzungsintervalls, da an das Kostenverhältnis D nur geringe Genauigkeitsanforderungen gestellt werden.

— Die ganzzahlige Eigenschaft geht mit wachsendem $n = tk/t_q$ verloren, wobei die Grenze mit etwa $n = 14$ angegeben werden kann.

— Die Kosten für die Ausfallmethode sind von der Nutzungsdauer linear abhängig (Bild 6).

5. Zusammenfassung

Neben einer Systematik der Instandhaltungsmethoden, die den Bereich der erforderlichen Arbeiten auf diesem Gebiet absteckt, wurden für die Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus Kennfelder, Eigenschaften und Anwendungsbereiche angegeben.

Der Geltungsbereich der Ergebnisse reicht vom starren Zyklus für ein Element bis zur individuellen Instandsetzung eines Systems. Im letzteren Fall ist die Ermittlung für jedes Element getrennt durchzuführen. Die Gesamtkosten ergeben sich aus der Summe der Einzelkosten.

Es wurde ein Lösungsweg aufgezeigt, wie auf effektive Weise das optimale Instandsetzungsintervall ermittelt werden kann. Bedingt durch die Eigenschaften der Instandhaltungsmethode nach starrem Zyklus ist eine exakte Optimierungsrechnung nicht erforderlich. Die Diagrammgenauigkeit ist ausreichend. Bei Unkenntnis der mittleren Grenznutzungsdauer sind die Anwendungsbereiche Ausgangspunkt für das adaptive Bestimmen des optimalen Instandsetzungsintervalls. Die Kennfelder, Eigenschaften und Anwendungsbereiche sind eine geeignete Form, um das Ermitteln der optimalen Instandhaltungsmethode und des optimalen Instandsetzungsintervalls unter den praktischen Bedingungen des Maschineneinsatzes durchzusetzen. Sie sind eine der wesentlichen Voraussetzungen für die breite Anwendung und Durchsetzung der planmäßig vorbeugenden Instandsetzung.

Literatur

- /1/ Eichler, C.; Schiroslawski, W.; Hahrt, D.: Probleme der Instandhaltung von Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. agrartechnik 23 (1973) H. 9, S. 391.
- /2/ Eichler, C.: Probleme der Modellierung von Instandhaltungsprozessen. Dt. Agrartechnik 21 (1971) H. 9, S. 391.
- /3/ Ihle, G.: Hinweise für die Instandhaltung der technischen Ausrüstung von Großanlagen der Rinderhaltung. Dt. Agrartechnik 22 (1972) H. 9, S. 404.
- /4/ Schiroslawski, W.: Methoden der Vorausbestimmung von Instandhaltungsformen einschließlich Probleme der Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit landtechnischer Arbeitsmittel. Übersichtsinformation für leitende Funktionäre der Land- und Nahrungsgüterwirtschaft, Berlin 1974.
- /5/ Eichler, C.; Schiroslawski, W.; Karpowsky, H.: Zum näherungsweise Bestimmen der optimalen Instandhaltungsmethode am Beispiel von Anlagen der industriemäßigen Tierproduktion. agrartechnik 23 (1973) H. 9, S. 396.
- /6/ Wolff, M.: Optimale Instandhaltungspolitiken in einfachen Systemen. Berlin - Heidelberg - New York: Springer-Verlag 1970.

A 9974

Neuer Termin für ACZ-Tagung

Die in unserem Heft 7 auf S. 345 angekündigte Tagung zum Thema

„Aufgaben der Agrochemischen Zentren bei der Intensivierung der Pflanzenproduktion“

findet nicht am 22. und 23. Okt. 1975 statt, sondern wurde auf

September 1976

verschoben.