Prof. Dr.-Ing. habil. CHR. EICHLER, KDT,
Direktor der Sektion Landtechnik der Universität Rostock

Instandhaltung und Mathematik[1]

1. Mathematische Modelle in der Instandhaltung

In der Instandhaltung ist ein Komplex von technischen, technologischen, organisatorischen und ökonomischen Aufgaben zu lösen [1]. Diese Maßnahmen bilden ein mit dem Hauptprozeß verflochtenes Teilsystem. Die auftretenden Probleme sind ihrem Charakter nach oft recht kompliziert, da eine Vielzahl von Einflußfaktoren darauf einwirken. Technische, technologische, organisatorische und ökonomische Aspekte berühren sich in vielfältiger Weise gegenseitig. Es ist beim heutigen Entwicklungsstand nicht mehr möglich, diese Aspekte in den gegenseitigen Wechselbeziehungen empirisch zu erfassen.

In diesem Zusammenhang seien nur die Kapazitätsplanung und die Ersatzteilversorgung genannt, bei denen mit der einfachen Mittelwertsrechnung keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden können, weil die Streuung und damit die Einflußfaktoren nicht berücksichtigt werden.

Ein Umschlag in eine neue Qualität wird nur erreicht, wenn moderne wissenschaftliche Methoden angewandt werden. Wege dazu bietet die Zuverlässigkeitstheorie [2], [3], die mathematische Statistik, die Wahrscheinlichkeitsrechnung und die Operationsforschung. Dabei wird die elektronische Datenverarbeitung ein wichtiges Hilfsmittel sein. Bislang wurden mathematische Methoden im landtechnischen Instandhaltungswesen nur zögernd angewendet. Als Beispiele können Spezialisierungsprobleme, das Bestimmen der wirtschaftlichen Nutzungsdauer und die Vorbereitungsarbeiten zum Einführen der elektronischen Datenverarbeitung genannt werden. Dabei wurden Anfangsstadien, wie das Schaffen des Modells und das probeweise Anwenden bzw. Projektieren der Methoden, kaum überschritten.

Diese Ausführungen sollen eine kurze Übersicht über die Problematik geben und das Verständnis dafür wecken, daß viele bislang unbefriedigend gelöste Fragen in der Instandhaltung mit mathematischen Methoden einer brauchbaren Lösung zugeführt werden können. Es sei darauf hingewiesen, daß wir bei dieser Entwicklung erst am Anfang stehen. Bei der Vielfalt der Probleme wird es kaum möglich sein, für alle möglichen Fälle fertige Rezepte vorzulegen. Man muß in jedem Falle, aufbauend auf den Grundlagen, unter Berücksichtigung der jeweils wirkenden Faktoren, spezielle Modelle erarbeiten. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Anwendung mathematischer Modelle zwar gute Ergebnisse ermöglicht, der dafür erforderliche Aufwand in vielen Fällen jedoch erheblich sein wird, so daß man genau entscheiden muß, wo das Anwenden mathematischer Modelle sinnvoll ist.

Im folgenden soll anhand einiger Beispiele versucht werden, Möglichkeiten für das Anwenden mathematischer Modelle im landtechnischen Instandhaltungswesen zu umreißen.

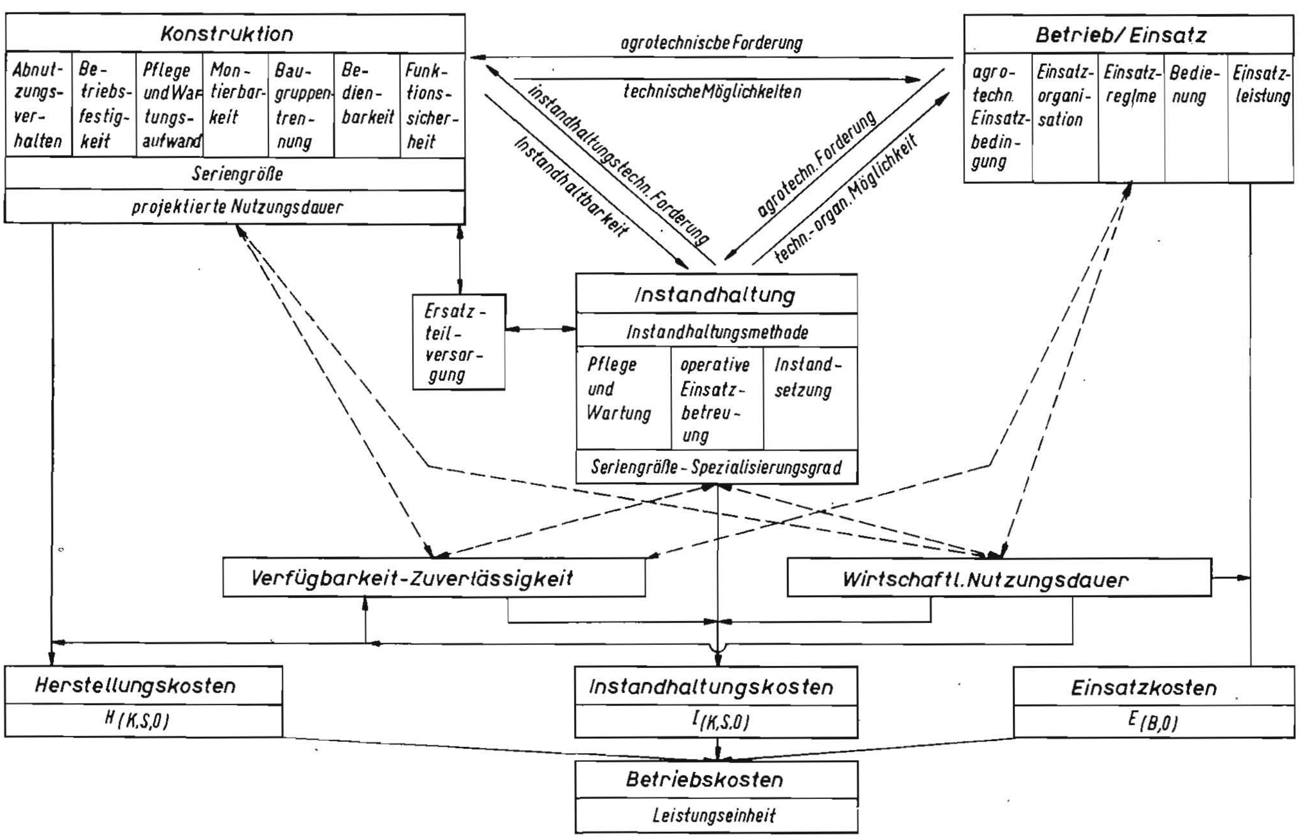
2. Das mathematische Grundmodell der Instandhaltung

Ziel der Instandhaltung ist es, die Betriebstauglichkeit eines Arbeitsmittels unter Einhalten der für den Hauptprozeß erforderlichen Verfügbarkeit mit minimalem Aufwand vergegenständlichter und lebendiger Arbeit zu erhalten.

Der Aufwand für die Instandhaltung läßt sich in Form der Kosten darstellen. Dabei müssen alle Kosten, unabhängig

[1] Gekürzte Fassung des Vortrags zur 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

Bild 1. Mathematisches Grundmodell der Instandhaltung



vom Ort und Zeitpunkt ihres Auftretens, bezogen auf die Leistungseinheit im Hauptprozeß betrachtet werden.

Die Instandhaltung ist ein Komplex von technischen, technologischen, organisatorischen und ökonomischen Maßnahmen, die sich gegenseitig beeinflussen. So werden beispielsweise die Pflegekosten vom Pflegeregime, den verwendeten Arbeitsmitteln und von der Organisation beeinflußt. Die Pflege wiederum hat Einfluß auf Abnutzungsgeschwindigkeit und damit auf die Instandsetzungskosten.

In Bild 1 werden Einflußgrößen und Wechselbeziehungen dargestellt. Es zeigt vielseitige Wechselbeziehungen zwischen Betrieb, Konstruktion-Herstellung und Instandhaltung, die komplex die Verfügbarkeit-Zuverlässigkeit sowie die wirtschaftliche Nutzungsdauer beeinflussen. Daraus ist ersichtlich, daß diese — zusammen mit Parametern des Betriebes, der Konstruktion und der Instandhaltung — die Herstellungskosten, die Instandhaltungskosten und die Einsatzkosten bestimmen, die als Summe die auf die Leistungseinheit bezogenen Betriebskosten ergeben. Wird vorausgesetzt, daß zwischen diesen Teilkosten und ihren Bestimmungsgrößen determinierte Beziehungen bestehen, so kann das Grundmodell der Instandhaltung formuliert werden:

$$[H(K, S, D) + I(K, S, O) + E(B, O)]$$

$$(V, N) \Big|_{t=0}^{t=t_1} = B(T) \rightarrow \text{Minimum}$$

Darin sind:

$H(K, S, D)$ Herstellungskosten in Abhängigkeit von Konstruktion, Seriengröße, projektierte Nutzungsdauer
$I(K, S, O)$ Instandhaltungskosten in Abhängigkeit von Konstruktion, Seriengröße und Instandhaltungsorganisation
$E(B, O)$ Einsatzkosten in Abhängigkeit von Einsatzbedingungen und Organisation
V Verfügbarkeit
N wirtschaftliche Nutzungsdauer
$B(T)$ Betriebskosten in Abhängigkeit von der Zeit

Vereinfacht dargestellt, muß die Summe aus Herstellungskosten, Instandhaltungskosten und Einsatzkosten bezogen auf die Leistungseinheit ein Minimum werden. Zu beachten ist, daß die Teilfunktionen nicht stetig sind und daß die Teilkosten zu verschiedenen Zeitpunkten und als Funktion des Maschinenalters auftreten, so daß das Optimierungsproblem dynamischen Charakter bekommt.

Die Teilfunktionen sind so zu formulieren, daß die dazu benötigten Primärdaten im praktischen Betrieb bestimmbar sind und daß sie sich zu einem praktisch anwendbaren Modell zusammenfassen lassen. An dieser Problematik wird gearbeitet, die Lösung wird es ermöglichen, für die verschiedenen Arbeiten der landtechnischen Instandhaltung die optimalen Organisationsprinzipien, die optimalen Konstruktionsparameter u. a. m. über eine Optimierungsrechnung zu bestimmen.

Einige Beispiele sollen mögliche Wege andeuten.

SELIVANOV [4] hat die Gesamtkosten für ein Arbeitsmittel vereinfacht (unter Vernachlässigen des dynamischen Kosteneinflusses) dargestellt in der Form:

$$\frac{K}{t} = \frac{A}{t} + B + C \cdot t^{n-1}$$

Es bedeuten:

$\frac{K}{t}$ Betriebskosten, bezogen auf die Nutzungsdauereinheit
A Anschaffungskosten (Herstellungskosten)
B zeitunabhängige Kosten (Betriebskosten — Lohn für Bedienung, Aufwand für Energie, Aufwand für regelmäßig durchzuführende Instandhaltungsmaßnahmen)

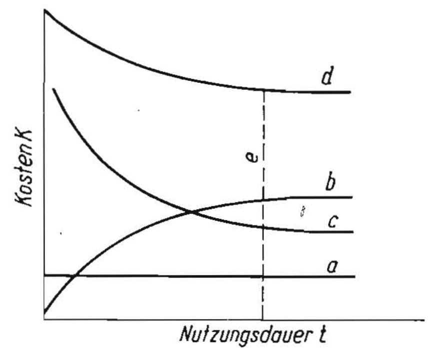


Bild 2. Kostenverlauf für Arbeitsmittel nach SELIVANOV; *a* Betriebskosten, *b* Instandsetzungskosten, *c* Abschreibungen, *d* Gesamtkosten, *e* Mindestnutzungsdauer

$C \cdot t^{n-1}$ nutzungsdauerabhängige Kosten (Instandsetzungskosten)

Während die Anschaffungskosten A durch Konstruktion und Herstellung bestimmt werden, sind B, C und n von allen drei Einflußsphären (Konstruktion–Herstellung, Instandhaltung und Einsatz) abhängig. LISTNER [5], THURM [6] u. a. stellten fest, daß unter den Bedingungen der Landwirtschaft der DDR fast in allen Fällen $n < 2$ ist. Damit ergibt sich der in Bild 2 dargestellte Verlauf, aus dem man keine wirtschaftliche Nutzungsdauer im klassischen Sinn, sondern eine sogenannte Mindestnutzungsdauer ableiten kann.

Setzt man die Mindestnutzungsdauer gleich dem Zeitraum der Veraltung, lassen sich aus

$$t_{\text{alt}} = t_{\text{mind}} \leqq \sqrt[n]{\frac{A}{(n-1)\,C}} \tag{3}$$

die mit der Konstruktion und der Instandhaltung einzuhaltenden Parameter bestimmen. Über Vergleich mit aus vorliegenden Konstruktionen bekannten Parametern kann die anzuwendende Konstruktion und Instandhaltungsorganisation abgeleitet werden.

Als zweites Beispiel sei der Zusammenhang zwischen Instandsetzungskosten, Konstruktion und Instandhaltungsorganisation erwähnt. Bekannt ist der Zusammenhang zwischen Instandsetzungskosten und Seriengröße N:

$$K = aN^{-b} + c \tag{4}$$

Diese Gleichung gilt, wenn die Technologie den Seriengrößen technisch richtig angepaßt wird. Da die Seriengröße bei der Instandsetzung aber nur über ein Vergrößern des Einzugsbereiches erhöht werden kann, fallen zusätzlich Transportkosten an, die sich nach [7] wie folgt errechnen:

$$T_{\text{m}} = \frac{2 \cdot M \cdot t}{3} \sqrt{\frac{N}{d \cdot \pi \cdot k}} \tag{5}$$

Nimmt man vereinfachend einen kreisförmigen Einzugsbereich, gilt

$$N = R^2 \cdot \pi \cdot d \cdot k \tag{6}$$

und die Gesamtkosten ergeben sich zu

$$K_{\text{ges}} = a(R^2 d\, \pi\, k)^{-b} + c + \frac{2\, M\, t\, R}{3} \tag{7}$$

Hierin bedeuten:

T_{m} mittlere Transportkosten für den Einzugsbereich in M/St.
M Masse der Maschine bzw. Baugruppe in kg
t spezifische Transportkosten in M/km · kg
N Seriengröße der Instandsetzung in St./Jahr
d Maschinendichte in St./km²
k Anfallfaktor je Jahr
R Radius des Einzugsbereichs

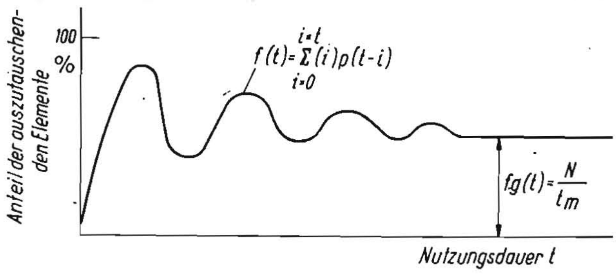


Bild 3. Verlauf des Anteils auszutauschender Elemente nach der Ersatztheorie

Damit haben wir ein Modell, daß die Instandsetzungskosten in Abhängigkeit von mathematisch definierten Größen für die Organisation der Instandhaltung (R, t, k), für den Mechanisierungsgrad (d), für die konstruktive Gestaltung (M, k) sowie für das Einsatzregime (k — bei kampagneweisem Einsatz $k = 1$ oder ein Bruch mit ganzzahligem Nenner) darstellt. Es ist möglich, für die Instandsetzung eines Arbeitsmittels den optimalen Einzugsbereich unter Einhalten minimaler Kosten zu bestimmen.

Zusammenfassend zum Grundmodell der Instandhaltung ist festzustellen, daß Einsatz, Konstruktion und Instandhaltung komplex betrachtet werden müssen, um zu einem Gesamtoptimum zu kommen, und daß sich bei Kenntnis der Teilfunktionen die optimalen Einflußfaktoren bestimmen lassen.

3. Beispiele für mathematische Methoden und Anwendungsbereiche[2]

3.1. Ersatztheorie

Ein bislang in weitem Maße ungelöstes Problem in der Instandhaltung ist das Vorausberechnen der im Verlauf der Gesamtnutzungsdauer eines Arbeitsmittels auszutauschenden Einzelteile und Baugruppen.

Die Ersatztheorie [8] geht vom Schädigungsverhalten aus und zeigt Möglichkeiten, dieses Problem mit Hilfe der Wahrscheinlichkeitsrechnung zu lösen. Es sei der Fall plötzlich versagender Elemente betrachtet, für den die Ersatztheorie Modelle bereithält. Die vorbeugende Instandhaltung sondert an einem planmäßig festgelegten Termin bewußt die Elemente bei Erreichen der Schadensgrenzen oder unbeschadet ihres Abnutzungszustandes nach einer bestimmten Nutzungsdauer aus. Beim Aussondern dieser Elemente ist die Betriebstauglichkeit in unzulässigem Maße gemindert. Diese Tatsache kann dem in der Ersatztheorie betrachteten Ausfall gleichgesetzt werden.

Für den vereinfachten Fall, daß alle Elemente gleicher Art zum Zeitpunkt $t = 0$ installiert werden und daß das Schädigungsverhalten über die gesamte Nutzungsdauer konstant bleibt, kann von der Ausfallwahrscheinlichkeit

$$p(t) = \frac{s(t-1) - s(t)}{N} \tag{8}$$

mit $s(t)$ Anzahl der betriebstauglichen Elemente zum Zeitpunkt t

N Grundgesamtheit

ausgegangen werden.

Man setzt weiter voraus, daß der Zeitraum zwischen Einbau eines neuen Elements und Austausch nicht konstant ist und einer Häufigkeitsverteilung folgt. Man berechnet den Anteil an Elementen, der in einem Intervall in Abhängigkeit von der Nutzungsdauer auszutauschen ist. Sind zum Zeitpunkt $t = 0$ alle Elemente neu und betriebstauglich, so dürften mit zunehmender Nutzungsdauer entsprechend dem Verlauf der Ausfallwahrscheinlichkeit in wachsendem Maße Austausche notwendig werden. Zu diesen Austauschen der ursprünglich installierten Elemente kommen im Verlaufe der Zeit auch Austausche von bereits einmal ausgetauschten Elementen, sogenannte Ersatzelemente hinzu. Diese Austausche nehmen in dem Maße zu, wie der Anteil der ursprünglich neu installierten Elemente am Gesamtbestand abnimmt.

Die Anzahl der während eines Zeitintervalls t auszutauschenden Elemente ist nach dieser Überlegung

$$f(t) = \sum_{i=0}^{i=t} f(i)\, p(t-i) \tag{9}$$

Dabei ist $f(o)$ die Anzahl N der ursprünglich neu installierten Elemente. $p(t)$ ist die Ausfallwahrscheinlichkeit zum Zeitpunkt t.

Werden die Anteile der auszutauschenden Elemente über der Nutzungsdauer aufgetragen, so ergibt sich der in Bild 3 dargestellte Verlauf. Der Anteil der in einem Zeitintervall auszutauschenden Elemente unterliegt vorerst erheblichen Schwankungen, strebt jedoch mit größerer Nutzungsdauer t einem Konvergenzwert

$$f_g(t) = \frac{N}{t_m} \tag{10}$$

zu.

3.2. Pflegesysteme

An Pflegevorschriften muß die Bedingung gestellt werden, daß die Zahl der die einzelnen Pflegemaßnahmen enthaltenden Pflegegruppen möglichst klein ist. Außerdem zeigt die Erfahrung, daß der Einfachheit halber die Pflegegruppen zeitlich so gestaffelt sein müssen, daß jede höhere Pflegegruppe alle niederen Pflegegruppen einschließt.

Diese Forderung wird erfüllt, wenn die Pflegegruppen nach einer geometrischen Reihe gestuft sind:

$$t_n = t_{min} 2^{(n-1)} \tag{11}$$

Darin sind:

t_n Intervall zwischen zwei Pflegegruppen n

t_{min} kürzestes Intervall zwischen zwei Pflegegruppen (nicht tägliche Pflege)

Hiernach kann das Pflegeintervall bestimmt werden, das für ein optimales Zuordnen einer Pflegemaßnahme zu einer Pflegegruppe durch die Konstruktion ermöglicht werden muß. Damit läßt sich auch die Ordnungsnummer der Pflegegruppe bestimmen, der eine bestimmte Pflegemaßnahme zuzuordnen ist, wenn das Pflegeintervall konstruktiv festliegt. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die vom Traktorenwerk Schönebeck herausgegebene Pflegevorschrift für den Traktor ZT 300, so zeigt sich, daß zu verschiedenen Zeitpunkten sehr unterschiedliche Pflegegruppen durchzuführen sind. Die Pflegegruppe 2 ist zu verschiedenen Zeitpunkten mit anderen Gruppen kombiniert. Werden die Pflegemaßnahmen nach einer geometrischen Reihe gestuft, läßt sich die Zahl der Pflegegruppen erheblich reduzieren. Die Hälfte der vom Hersteller vorgeschriebenen 40 Pflegemaßnahmen ist aber nach den vorgeschriebenen Intervallen nicht in die geometrische Reihe einzugliedern.

3.3. Optimale Instandhaltungsstrategie

Ein strategisches Problem der Instandhaltung tritt bei der Traktoreninstandsetzung auf. Beispielsweise habe die Baugruppe Motor die Grenznutzungsdauer erreicht, das Getriebe besitze aber noch eine in der Größe abschätzbare Restnutzungsdauer. Es steht nun die Frage, ob das Getriebe zum Zeitpunkt des Motorenaustausches ebenfalls ausgetauscht werden soll, oder ob der Austausch zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen sollte, an dem die Restnutzungsdauer des

[2] Der im Vortrag enthaltene Abschnitt „Bestimmen des Schädigungsverhaltens" wurde hier ausgelassen, zu diesem Thema erscheint in einem der nächsten Hefte ein gesonderter Beitrag

Getriebes gegen null geht. Die Antwort auf diese Frage gibt eine mathematische Optimierung. Man kann dabei von der Überlegung ausgehen, daß bei gleichzeitigem Austausch beider Baugruppen am Getriebe die Restnutzungsdauer nicht ausgenutzt wird, aber zusätzliche instandhaltungsbedingte Stillstandszeiten für den gesonderten Austausch des Getriebes vermieden werden.

Die Gesamtkosten für diese Maßnahmen betragen im Falle des getrennten Austausches beider Baugruppen zum Zeitpunkt der erreichten Grenznutzungsdauer des Getriebes

$$K_g = K_G + K_M \frac{t_{gG}}{t_{gM}} + M_G + M_M \frac{t_{gG}}{t_{gM}} + T_M k \frac{t_{gG}}{t_{gM}} + T_G k \tag{12}$$

mit

K_G Kosten für Austauschgetriebe

K_M Kosten für Austauschmotor

t_{gG} Grenznutzungsdauer des Getriebes

t_{gM} Grenznutzungsdauer des Motors

M_G Montagekosten für Getriebetausch

M_M Montagekosten für Motoraustausch

T_M instandhaltungsbedingte Stillstandszeit für Motorenaustausch

T_G instandhaltungsbedingte Stillstandszeit für Getriebeaustausch

k Kostenfaktor für instandhaltungsbedingte Stillstandszeit

Für den gleichzeitigen Austausch vor Erreichen der Grenznutzungsdauer des Getriebes ergibt sich analog

$$K_g = K_M \frac{t_{gG}}{t_{gM}} + K_G + K_G \frac{t_{gG} - t_{gM}}{t_{gG}} + M_{M+G} \frac{t_{gG}}{t_{gM}} + T_{M-G} k \frac{t_{gG}}{t_{gM}}^{3} \tag{13}$$

Dabei bedeuten:

M_{M+G} Montagekosten für gleichzeitigen Austausch von Motor und Getriebe

T_{M+G} instandhaltungsbedingte Stillstandszeit für gleichzeitigen Austausch von Motor und Getriebe

$$t_{gG} - t_{gM} = t_R \quad \text{Restnutzungsdauer des Getriebes} \tag{14}$$

Durch Gleichsetzen der Beziehungen (12) und (13) läßt sich die Grenznutzungsdauer bestimmen, oberhalb derer ein getrennter Austausch sinnvoll ist.

$$t_{grenz} = \frac{t_{gG} 2}{t_{gM}} \left(\frac{M_M + k (T_M + T_G) - (M_{G+M} - T_{G+M} k)}{K_G} \right) + \frac{t_{gG} M_G}{K_G} \tag{15}$$

4. Zusammenfassung und Ausblick

Das Anwenden mathematischer Modelle in der Instandhaltung wird es ermöglichen, neue, bislang unerschlossene Reserven aufzudecken und nutzbar zu machen, da mit Hilfe der mathematischen Modelle die Beziehungen der Einflußfaktoren untereinander exakter berücksichtigt werden können.

Welche Fragen treten nun auf, wenn sich die Instandhaltungspraktiker stärker als bisher mathematischer Methoden bedienen wollen? Dazu ist notwendig:

— Die innerhalb des landtechnischen Instandhaltungswesens und innerhalb des Komplexes Herstellung — Instandhaltung — Betrieb wirkenden Beziehungen und Gesetzmäßigkeiten näher zu untersuchen und mathematisch zu formulieren.

— Das Schädigungsverhalten der landtechnischen, Arbeitsmittel und deren wichtigster Element eexakt und kontinuierlich zu untersuchen. Die dabei gewonnenen statistischen Kennzahlen sind für die weitere Verwendung zentral zu speichern und allen Bedarfsträgern zur Verfügung zu stellen.

— Die gesamte Problematik der Mathematisierung der Instandhaltung mehr als bisher zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen zu machen und anwendungsbereite Modelle für wiederkehrende instandhaltungstechnische Fragen zu erarbeiten, zu erproben und der Praxis zur Verfügung zu stellen.

— Die Weiterbildung auf mathematischem Gebiet, insbesondere der mathematischen Modellierung, der Operationsforschung, der Systemtheorie, der Statistik und Wahrscheinlichkeitsrechnung zu verstärken.

Das Lösen instandhaltungstechnischer Fragen mit Hilfe der Mathematik erhöht zwar den Umfang der Vorbereitungsarbeiten für eine vorgesehene Maßnahme erheblich. Insbesondere bereitet die mathematische Formulierung der Gesetzmäßigkeiten oft Schwierigkeiten. Man sollte vor diesem Problem aber nicht zurückschrecken, denn ein gründliches Erarbeiten des Modells befreit die zu treffenden Entscheidungen in weitem Maße von subjektiven Einflüssen. Zu diesem unbestreitbaren Vorteil der Unbestechlichkeit der mathematischen Methoden kommt außerdem der Vorteil hinzu, daß damit Erprobungs- und Einführungszeiten wesentlich verkürzt werden.

Es soll noch darauf hingewiesen werden, daß ein mathematisiertes Betrachten instandhaltungstechnischer Fragen eine völlig neue Betrachtungsweise bringt und zwangsläufig zu völlig neuen Erkenntnissen führt, die eine wichtige Grundlage für die Weiterentwicklung des landtechnischen Instandhaltungswesens bilden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das Anwenden mathematischer Modelle aus einem modernen Instandhaltungswesen nicht mehr wegzudenken ist, und es kann nur empfohlen werden, in breitem Maße dazu überzugehen.

[3] Gleichung gilt für den Bereich $t_{gG} + t_{gM} < 2$

Literatur

[1] TROTZKI, G.: Wissenschaftl.-technische Revolution und das Instandhaltungswesen der Landwirtschaft bei der Gestaltung des entwickelten Systems des Sozialismus in der DDR. Vortrag zur 4. wissenschaftl.-technischen Tagung „Rationalisierung der Instandhaltung in der sozialistischen Landwirtschaft" 10. und 11. Dez. 1969

[2] MODRA: Zuverlässigkeit in der Instandhaltung. Vortrag zur 4. wissenschaftl.-technischen Tagung „Rationalisierung der Instandhaltung in der sozialistischen Landwirtschaft" 10. und 11. Dez. 1969

[3] BROZIO, G.: Vortrag zur 4. wissenschaftl.-technischen Tagung „Rationalisierung der Instandhaltung in der sozialistischen Landwirtschaft" 10. und 11. Dez. 1969

[4] SELIVANOV, A. J.: Teorii stavenija maschin (Theorie der Alterung von Maschinen). Maschgis, Moskau 1964

[5] LISTNER, G.: Untersuchungen über den zeitlichen Verlauf der Instandsetzungskosten bei Schleppern und Erntemaschinen. Deutsche Agrartechnik 13 (1963) H. 4, S. 168 bis 171

[6] THURM, R.: Der Einfluß der Nutzungsdauer und der Ausnutzung auf die Kosten beim Einsatz von Schleppern und Landmaschinen. Habilitationsschrift, Leipzig, 1966

[7] EICHLER, CHR.: Grundlagen der Spezialisierung von Instandsetzungsbetrieben. VEB Verlag Technik Berlin 1962

[8] ARNOLD / ACKHOFF / CHURCHMAN: Operations Research. Verlag Die Wirtschaft Berlin 1964

A 7834