

Optimale Gestaltung von Instandhaltungsprozessen

Prof. Dr. sc. techn. G. Ihle, KDT, Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik
 Prof. Dr. sc. techn. C. Eichler, KDT, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

1. Instandhaltungsoptimierung – notwendige Arbeitsmethode zur Verbesserung der Effektivität der Instandhaltung

Die maximale und stabile Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse bei ständig verbessertem Verhältnis von Aufwand und Ergebnis sowie die schrittweise verbesserten Arbeits- und Lebensbedingungen erfordern die optimale Instandhaltung aller technischen Arbeitsmittel der sozialistischen Landwirtschaft.

Für das Erreichen dieser Ziele hat neben der weiteren Festigung des Bündnisses der Arbeiterklasse mit der Klasse der Genossenschaftsbauern, dem Engagement jedes Einzelnen für höchste Produktivität und Effektivität, um mit den verfügbaren Fonds maximale Ergebnisse zu erzielen, die Schaffung und Nutzung des wissenschaftlich-technischen Fortschritts, verbunden mit breiter Anwendung der Erfahrungen der Besten, wachsende Bedeutung [1, 2, 3].

Vorliegender Beitrag soll an ausgewählten Beispielen zeigen, wie wissenschaftlich fundierte Optimierungen bei der Vorbereitung von Instandhaltungsmaßnahmen, bei der Entscheidungsfindung zu Instandhaltungsstrategischen Fragestellungen schnell und sicher zur Erfüllung der eingangs umrissenen Grundaufgabe des landtechnischen Instandhaltungswesens beitragen und wie die wissenschaftlich-technische Optimierung in Einheit mit der Anwendung praktischer Erfahrungen zu einer wichtigen Arbeitsmethode des Instandhaltungsingenieurs wird.

Anzahl, Wirkung, Determiniertheit und Dynamik der Einflüsse auf Instandhaltungspro-

zesse sind vielfältig. Bild 1 gibt einen groben Überblick. Selbst die dabei nötige Gruppierung der Einflüsse deutet auf deren Vielfalt hin. Es sind gesellschaftliche, naturwissenschaftlich-technische und ökonomische Prozesse, die diese Einflüsse hervorbringen. Die Einflußkomplexe unterliegen deterministischen oder stochastischen Gesetzmäßigkeiten. Einige dieser Einflüsse lassen sich nicht in für Optimierungsverfahren notwendigem quantitativen Maß fassen. Sie können nur qualitativ berücksichtigt werden. Gleiche Einflußkomplexe wirken zeitlich und territorial nach Betrag und Qualität unterschiedlich. Einige Einflüsse müssen wegen der Vielzahl ihrer Wurzeln stochastisch betrachtet werden, obwohl sie einzeln naturwissenschaftlich-technisch erklärbar sind.

Diese Situation hat zur Folge, daß Instandhaltungsprozesse an gleichen technischen Arbeitsmitteln in verschiedenen Territorien zu verschiedenen Zeitpunkten in unterschiedlichen Varianten zum Optimum führen. Die Instandhaltung landwirtschaftlicher Großmaschinen führt z. B. für verschiedene Kampagneleistungen, unterschiedliche Ernte-, Pflege- und Bedienungsbedingungen zu anderen optimalen Instandhaltungsmaßnahmen. Jedes Instandhaltungstechnische Problem wird zum Optimierungsproblem, wenn es gilt, eine volkswirtschaftlich optimale Lösung zu finden. Das Problem wird dadurch kompliziert, da ein optimaler Instandhaltungsprozeß über den gesamten Nutzungsprozeß von der Herstellung bis zur Verschrottung dieses Optimum gewährleisten muß. Der bloße Vergleich zweier Instandhaltungsmaßnahmen ohne die Betrachtung der

zeitlichen Dynamik kann zu unzulässig hohen Fehlern führen.

Die abstrahierte, optimalen Instandhaltungsprozessen zugrunde zu legende Zielfunktion des Maschinenverhaltens [Gl. (1)] charakterisiert diese Zusammenhänge zwar, ist aber für praktische Lösungen oft nicht direkt brauchbar:

$$K_{ges} = \frac{K_h + K_b + K_i + A_v}{t}$$

$$= \frac{1}{t} \int_0^{t_v} [K_h(t) + K_b(t) + K_i(t) + A_v(t)] dt; \quad (1)$$

- K_{ges} Gesamtaufwendungen (Kosten, lebendige Arbeit, Material oder Energie) in der Konstruktionsnutzungsdauer
- t Betriebsdauer (in Zeit-, Produkten- oder anderen für vorliegenden Zweck geeigneten Einheiten)
- t_v Konstruktionsnutzungsdauer, Betriebsdauer bis zur Verschrottung
- K_h Aufwendungen für Herstellung
- K_b Aufwendungen für Betrieb (Lohn, Energie, Hilfsstoffe u. a.)
- K_i Aufwendungen für Instandhaltung
- A_v Ausfallverluste (zusätzliche Kosten, entgangene Erlöse u. ä. infolge nicht optimal durchgeführter Instandhaltung).

Für die praktische Anwendung ist es nötig, die in der Zielfunktion enthaltenen Funktionen einzeln zu quantifizieren. Dabei ist zu berücksichtigen, daß diese nicht nur von der Betriebsdauer abhängen, sondern auch von anderen Einflüssen bestimmt werden.

Die das Gesamtpblem darstellende theoretische Zielfunktion muß für praktische An-

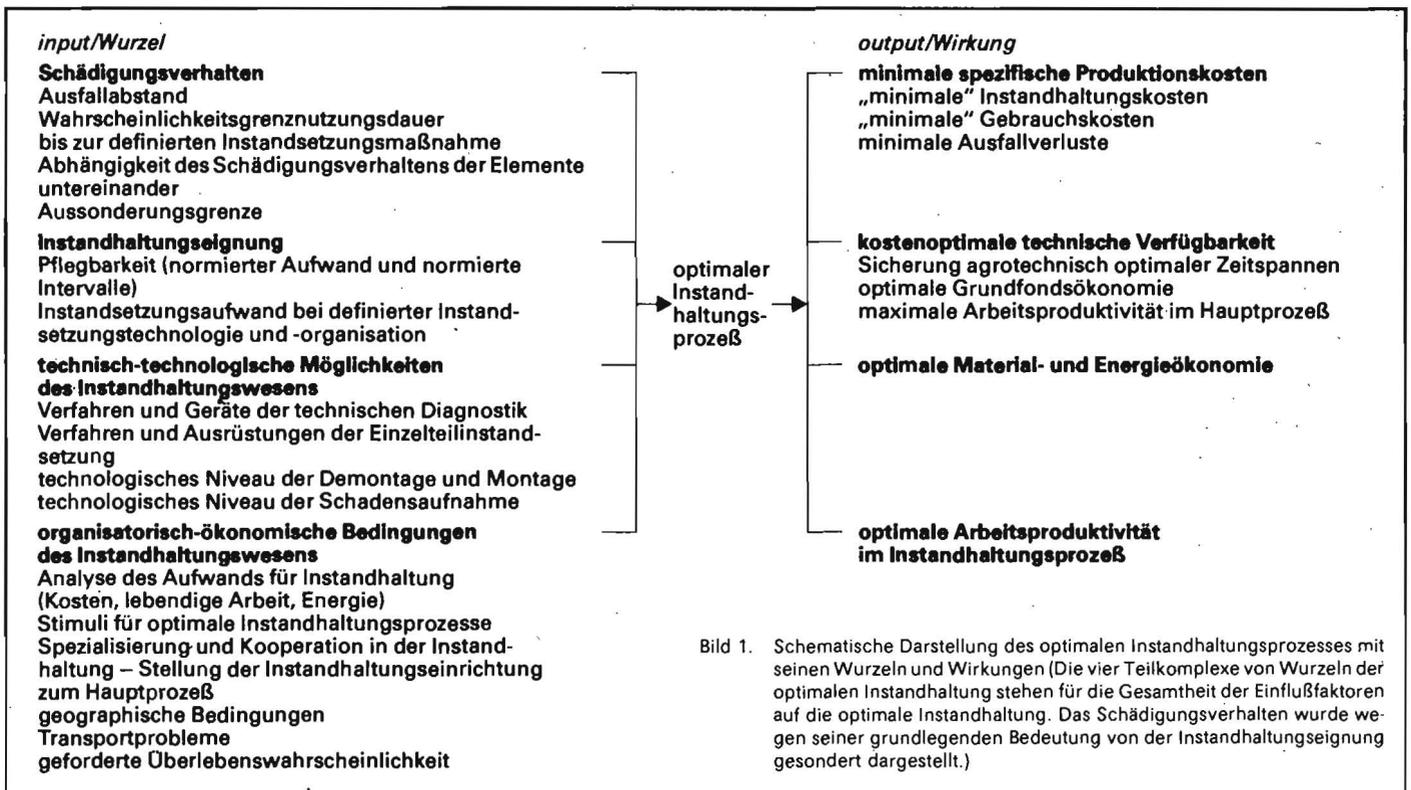


Bild 1. Schematische Darstellung des optimalen Instandhaltungsprozesses mit seinen Wurzeln und Wirkungen (Die vier Teilkomplexe von Wurzeln der optimalen Instandhaltung stehen für die Gesamtheit der Einflußfaktoren auf die optimale Instandhaltung. Das Schädigungsverhalten wurde wegen seiner grundlegenden Bedeutung von der Instandhaltungsseignung gesondert dargestellt.)

wendungen durch folgende reduzierte Optimierungsziele näherungsweise ersetzt werden:

- minimale Gebrauchskosten ($K_{ges} = K_i + A_v$) nach [4], u. U. mit Vorgabe einer Mindestverfügbarkeit zur Begrenzung der Ausfallverluste
- maximale Verfügbarkeit unter Berücksichtigung maximal zulässiger Instandhaltungskosten
- minimaler Material- und/oder Energieaufwand aus volkswirtschaftlicher Sicht.

Für die praktische Arbeit ist es nötig, spezielle Modelle zu erarbeiten oder einzelne Einflüsse spezifisch zu berücksichtigen. Damit wird die optimale Gestaltung von Instandhaltungsprozessen für jeden Maschinentyp, für jedes Territorium zu einem spezifischen Problem, das eine individuelle Lösung erfordert. Es wird damit für jeden Hersteller landtechnischer Arbeitsmittel und für jede Erzeugnisgruppe in der Instandhaltung zu einer wissenschaftlich-technischen, individuell gelagerten Routineaufgabe, die optimalen Instandhaltungsprozesse zu ermitteln. Diese Aufgabe wird insofern zu einer Daueraufgabe, als die zeitliche Dynamik eine ständige Anpassung der Instandhaltungsprozesse an veränderte Bedingungen erfordert. Außerdem muß eine Prognose der zeitlichen Dynamik der Einflüsse erarbeitet werden, um die optimalen Instandhaltungsprozesse in die Planung eingehen lassen zu können.

Für die optimale und proportionale Entwicklung des landtechnischen Instandhaltungswesens zum Vorteil der landwirtschaftlichen Primärproduktion müssen die Optimierungsprobleme in Kooperation aller an Vorbereitung und Durchführung von Instandhaltungsprozessen Beteiligten mit minimalem Aufwand, aber hinreichender Genauigkeit gelöst werden. Es handelt sich dabei um vier Aufgabenbereiche:

- Anwendung von Optimierungsunterlagen (Nomogramme, Tabellenwerke), die in Forschungs- und Entwicklungsbetrieben entstanden sind, durch die Praxisbetriebe, evtl. mit Anpassung an örtliche Bedingungen (z. B. Auswahl optimaler Varianten der operativen Einsatzbetreuung landwirtschaftlicher Großmaschinen, Bestimmung optimaler Austauschstücke) [5 bis 8]
- Lösung spezieller, sich wiederholender Optimierungsprobleme im praktischen Instandhaltungsprozeß (z. B. Festlegen der Betriebe zur Durchführung der schadbezogenen Instandsetzungen an landwirtschaftlichen Großmaschinen einer LPG oder eines VEG; Pflegeplanung, Restbetriebsdauerprognose, Kapazitätsberechnungen für Diagnosestationen) mit zentral im landtechnischen Instandhaltungswesen ausgearbeiteten, multivalent anwendbaren Programmen auf betriebseigenen Rechnern oder im Auftragsdienst durch zentral stationierte EDVA [9]
- Lösung spezieller Optimierungsprobleme mit umfangreichen Rechenprogrammen für größere Aufgabenstellungen (z. B. bezirkliche Spezialisierungs- und Kooperationsprogramme) durch Spezialisten in Ingenieurbüros der VEB Kombinat für Landtechnik (KLT) oder der Erzeugnisgruppenleitbetriebe
- wissenschaftliche Optimierungen grundlegender Instandhaltungsprobleme zum Ableiten grundsätzlicher, langfristiger Instandhaltungsstrategischer Entscheidungen [10].

2. Methodik der Optimierung von Instandhaltungsprozessen

Zum Optimieren von Instandhaltungsprozessen werden zwei Gruppen von Methoden angewendet:

- analytisch-experimentelle Methoden
- synthetisch-projektierende Methoden.

Analytisch-experimentelle Methoden gehen von der Analyse abgelaufener Instandhaltungsprozesse aus und nähern diese durch schrittweise Veränderung einzelner Parameter empirisch oder rechnerisch adaptiv dem Optimum an.

Synthetisch-projektierende Methoden beruhen auf mathematischen Modellen. Diese berücksichtigen die Regelgrößen des Instandhaltungsprozesses (z. B. Schädigungsverhalten, geforderte Überlebenswahrscheinlichkeit, geforderte technisch-organisatorische Möglichkeiten der Instandhaltungseinrichtungen, Aufwandsdaten für Instandhaltungsmaßnahmen).

Für eine geeignete Zielfunktion werden spezielle Fälle optimiert oder über das Rechnen von Parameterbereichen multivalent verwendete Unterlagen zur Verfügung gestellt. Die Schwierigkeiten synthetisch-projektierender Methoden bestehen darin, daß die einzelnen Einflußgrößen hinreichend genau quantifiziert werden müssen und daß die Anwendung der entstandenen Tabellen, Nomogramme u. a. Grundkenntnisse über den betreffenden Instandhaltungsprozeß und seine Widerspiegelung im Modell erfordern.

Viele Praktiker schrecken noch vor der statistisch hinreichend sicheren Ermittlung der Primärdaten zurück. Diese Befürchtungen sollten nicht überbewertet werden, weil

- die verfügbaren exakten und näherungsweise Verfahren nicht kompliziert sind
- für erste Optimierungen oft Grobschätzungen nach den Teileklassen zuzuordnender Überlebenswahrscheinlichkeiten sowie Variationskoeffizienten (Tafel 1) hinreichend genaue Ergebnisse bringen
- eine spätere Konkretisierung der Primärdaten und der Optimierungsergebnisse ohnehin von Zeit zu Zeit nötig ist.

3. Ausgewählte Beispiele für das Optimieren von Instandhaltungsprozessen

3.1. Optimale operative Einsatzbetreuung von Maschinenkomplexen

Die Notwendigkeit einer hohen Verfügbarkeit bei Erntemaschinen und das Auftreten echter Zufallschäden sowie das infolge noch zu geringer Instandsetzungsqualität vermeidbare Auftreten von Abnutzungsausfällen er-

fordern Kapazitäten für die operative Einsatzbetreuung. Diese müssen so bemessen sein, daß eine geforderte Verfügbarkeit mit minimalem Instandsetzungspersonal gesichert wird. Mit der Bedienungstheorie können, ausgehend von Schädigungsverhalten, Instandsetzungsaufwendungen u. a., Modelle erarbeitet werden, mit denen die mit verschiedenen Instandhaltungskapazitäten erreichbare Verfügbarkeit berechnet werden kann. Für die wichtigsten Maschinenarten und Organisationsformen der Betreuung sowie für praktisch auftretende Komplexgrößen wurden Diagramme berechnet und veröffentlicht [5]. Aus diesen Diagrammen kann bei geforderter Verfügbarkeit und gegebener Komplexgröße die Anzahl der erforderlichen Instandsetzungsarbeiter abgelesen werden. Aus anderen Diagrammen kann für gegebene Komplexgrößen die gebrauchskostenoptimale Betreuungsvariante erkannt werden. Die Anwendung dieser Optimierungsergebnisse ist eine Möglichkeit, eine hohe Verfügbarkeit der Erntemaschinen zu sichern und Arbeitskräfte aus der Instandhaltung für die Deckung des Fehlbedarfs an qualifizierten Mechanisatoren in der landwirtschaftlichen Hauptkampagne bereitzustellen.

3.2. Optimierung der Betriebsgrenze

Eine bedeutsame Voraussetzung für die qualitätsgerechte Instandsetzung ist eine qualifizierte Schadensaufnahme. Dazu ist die Kenntnis optimaler Betriebsgrenzen eine notwendige Bedingung.

Für Einzelteile kann die optimale Betriebsgrenze aus einer Minimierung der in der Konstruktionsnutzungsdauer auftretenden Gebrauchskosten abgeleitet werden:

$$K_g = K_n + K_i = K_n + k_p(N - 1)A_v + k_u N A_s; \quad (2)$$

- K_g Gebrauchskosten für das betreffende Einzelteil in der Konstruktionsnutzungsdauer t_v
- K_n Preis des Teils in der neuen Maschine
- K_i Kosten für die Erneuerung (Austausch oder Instandsetzung) des Teils in N Einsatzintervallen (Instandsetzungsintervalle)
- k_p Kosten für eine planmäßige/vorbeugende Erneuerung eines Teils in der Kampagnefeststandsetzung
- k_u mittlere Kosten (einschließlich Ausfallverluste) für eine Schadensbeseitigung im Einsatzintervall
- N Anzahl der betrachteten Einsatzintervalle (Kampagnen, Instandsetzungsperioden)

Tafel 1. Einzelteilklassen von Landmaschinen mit Niveau der Überlebenswahrscheinlichkeit und Variationskoeffizient

Einzelteilkategorie	Bezugsintervall der Überlebenswahrscheinlichkeit	Schädigungsart Variationskoeffizient V der effektiven Lebensdauer	
		Verschleiß ($V = 0,4$)	Mischschädigung Verschleiß/Er-müdung ($V = 0,7$)
Dauerteil	t_v	0,90 ... 0,95	0,90 ... 0,95
Abnutzungsteil I	$t_v/2$	0,90 ... 0,95	0,90 ... 0,95
Abnutzungsteil II	$t_v/4$... $t_v/5$	0,90 ... 0,95	0,90 ... 0,95
Schnellverschleißteil	$t_v/8$... $t_v/10$	0,50 ... 0,95	0,50 ... 0,95

Für echte Zufallschäden ist $V = 1$. Mit steigenden Ausfallverlusten sind die höheren Werte der Überlebenswahrscheinlichkeit anzustreben.

- A_v mittlere Häufigkeit des vorbeugenden Austausches in den $N - 1$ vorbeugenden Instandsetzungen (mittlere Häufigkeit von Erneuerungen) zwischen zwei Einsatzkampagnen
- A_a mittlere Häufigkeit des wiederherstellenden und vorbeugenden Austausches in den N betrachteten Einsatzintervallen.

Gl. (2) wird für die Verallgemeinerung zweckmäßig auf k_p normiert. Die Gebrauchskosten k_g für ein Einzelteil ergeben sich dann nach Gl. (3):

$$k_g = \frac{K_g}{k_p} = C + (N - 1)A_v + \frac{k_u}{k_p} N A_a \rightarrow \text{Min.} \quad (3)$$

Für einen Variationskoeffizienten der effektiven Lebensdauer des Elements $V = 0,7$ und eine Überlebenswahrscheinlichkeit in der Instandhaltungsperiode t_k von $R(t_k) = 0,90$ ist der Zusammenhang zwischen den Größen A_v und A_a sowie der normierten Betriebs-

Tafel 2. Häufigkeit von Erneuerungen (VKZ) in Abhängigkeit von der normierten Betriebsgrenze für $V = 0,7$ und $R(t_k) = 0,9$

normierte Betriebsgrenze h_b	mittlere Ausfallhäufigkeit in der Kampagne A_a	mittlere Häufigkeit vorbeugender Austausche A_v
0,50	0,142	0,352
0,60	0,160	0,286
0,70	0,186	0,244
0,80	0,224	0,159
1,00	0,358	0,000

grenze h_b nach Gl. (4) in Tafel 2 dargestellt [10]:

$$h_b = \frac{H_b}{H_a} \quad (4)$$

H_b absolute Betriebsgrenze
 H_a absolute Aussonderungsgrenze.
 Mit dieser Tafel können bei vorgegebener Betriebsgrenze die für vorbeugende Instandsetzung und operative Einsatzbetreuung erforderlichen Ersatzteilmengen bestimmt werden. Die Anwendung dieser Zusammenhänge trägt sowohl zur Sicherung einer bestimmten Instandsetzungsqualität als auch zur Verbesserung der Ersatzteilplanung bei.

3.3. Optimale Spezialisierung und Kooperation in der Instandhaltung

Das landtechnische Instandhaltungswesen der DDR hat bewiesen, daß eine volkswirtschaftlich richtige, auf eine optimale landwirtschaftliche Produktion gerichtete, die dynamische Entwicklung der gesellschaftlichen Bedingungen in der sozialistischen Landwirtschaft beachtend Kooperation und Spezialisierung in der Instandhaltung bedeutende Vorteile bringt. Das kommt darin zum Ausdruck, daß rd. 40 % des gesamten Instandhaltungsaufwands von den Werkstätten spezialisierter Instandsetzungseinrichtungen, also von rd. 30 % aller im landtechnischen Instandhaltungswesen tätigen Personen, erbracht werden. Das kommt auch darin zum Ausdruck, daß die Verwendung instandgesetzter Einzelteile in der spezialisierter Instandsetzung zu Kostensenkungen bis zu 40 % gegenüber der in der dezentralisierten Instandsetzung noch vornehmlich vorhande-

nen Verwendung von Neuteilen führt. Trotz dieser positiven Ergebnisse wird erkannt, daß aus subjektiven und teilweise auch aus objektiven Gründen einige spezialisierte Instandsetzungseinrichtungen des landtechnischen Instandhaltungswesens der DDR nicht die technisch-ökonomisch erreichbare Qualität in ihre Instandsetzungsobjekte installieren.

Es ist im landtechnischen Instandhaltungswesen der DDR eine volkswirtschaftlich optimale Spezialisierung und Kooperation zu organisieren, die auf beiden Ebenen (zwischen landwirtschaftlichem Betrieb und VEB Kreisbetrieb für Landtechnik-KfL sowie zwischen nichtspezialisierten, vorwiegend auf operative Instandsetzung und Arbeit an Einzelobjekten orientierten Instandsetzungseinrichtungen und spezialisierten, in größeren Serien arbeitenden Instandsetzungseinrichtungen) ein Gesamtoptimum erreicht.

Bekannt ist, daß die Betreuungsbereiche von spezialisierten Instandhaltungseinrichtungen so zu gestalten sind, daß alle im Zusammenhang mit der Arbeit dieser Instandhaltungseinrichtungen auftretenden Aufwendungen ein Minimum erreichen. Als Aufwendungen werden dabei sowohl die unmittelbaren Instandhaltungsaufwendungen als auch die in deren Folge im Hauptprozeß auftretenden Kosten, Aufwendungen, Erlösminderungen und Ertragsminderungen summiert.

Bei der Bestimmung des optimalen Betreuungsbereichs einer spezialisierten Instandhaltungseinrichtung müssen folgende Einflußkomplexe berücksichtigt werden:

- Instandhaltungskosten in Abhängigkeit von der Seriengröße
- Instandsetzungsqualität in Abhängigkeit von der seriengrößenbedingten Instandsetzungstechnologie
- Transportaufwand nach Kosten- und Energiebedarf
- transportbedingte Schädigungen an den Instandsetzungsobjekten
- seriengrößenabhängige Nutzungsmöglichkeit des wissenschaftlich-technischen Fortschritts
- seriengrößenabhängiges Niveau und Umfang der technologischen Vorbereitung, Leitung und Realisierung der Instandhaltungsprozesse
- Ausnutzung vorhandener oder zu schaffender Grundfonds
- Lagerhaltung/Ersatzteilwirtschaft in Abhängigkeit von der Seriengröße
- vorhandene Arbeitskräfteressourcen
- Einzelteilinstandsetzung
- ökonomische Stimuli
- Einsatzbetreuung der Instandhaltungsobjekte
- hinreichende Seriengröße für Analyse des Instandhaltungsprozesses zu seiner weiteren Optimierung.

Es ist eine gesicherte Erfahrung, daß bei hö-

herem Spezialisierungsgrad Möglichkeiten höherer Instandsetzungsqualität bestehen. Wenn in einer vorbeugenden, spezialisierten Instandsetzung die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Elements von 0,90 auf 0,95 gesteigert wird, so geht die Anzahl der plötzlichen Ausfälle in der nachfolgenden Kampagne auf fast 50 % zurück.

Berücksichtigt man den durch weniger plötzliche Ausfälle eingesparten Aufwand für die operative Instandsetzung, so ergibt sich damit auch aus dieser Sicht eine zulässige Konzentration in der spezialisierten Instandsetzung. Nach ähnlichen Berechnungen, wie im Abschn. 3.2., können Beziehungen zwischen der durch spezialisierte Instandsetzung möglichen Verbesserung der Instandsetzungsqualität, den Transportkosten und der Größe des Betreuungsbereichs des spezialisierten Instandsetzungsbetriebs abgeleitet werden. Tafel 3 zeigt die mögliche Vergrößerung des Einzugsbereichs eines kreisförmigen Betreuungsbereichs einer spezialisierten Instandsetzungseinrichtung bei durch spezialisierte Instandsetzung verbesserter Überlebenswahrscheinlichkeit. Es ist ersichtlich, daß dieser Vorteil besonders bei leicht transportierbaren Instandsetzungsobjekten (kleiner Anteil der Transportkosten an den Instandsetzungskosten) wirksam wird. Die Werte der Tafel 3 sind für die Instandsetzung nach Überprüfungen gültig. Werden diese Erkenntnisse auf die spezialisierte Kampagnenfestüberholung von Mähreschern angewendet, so bedeutet das, daß die Kraftstoffeinsparungen für den Mähreschertransport zum spezialisierten Instandsetzungsbetrieb beim Rückgang der Seriengrößen je Instandsetzungsbetrieb von 800 bis 1 000 Stück/Jahr auf 400 bis 500 Stück/Jahr etwa der Größenordnung entsprechen, die in der operativen Instandsetzung durch die Qualitätsverbesserung bei großen Serien eingespart werden können.

3.4. Qualität von Instandhaltungsprozessen
 Qualität ist die Gesamtheit der Eigenschaften eines Erzeugnisses, die seine Eignung für einen bestimmten Verwendungszweck bestimmen. Solche Eigenschaften sind die unter definierten Bedingungen vorhandene Zuverlässigkeit, Produktivität, Arbeitsgüte, ergonomische Eigenschaften, spezifischer Energiebedarf u. v. a. m.

Die Qualität von Instandhaltungsprozessen ist gegenwärtig die größte Reserve für die Instandhalter bei ihrer Mitwirkung zur Erhöhung der Effektivität der landwirtschaftlichen Produktion. Die Auswirkungen der Instandhaltungsqualität auf den Landmaschineneinsatz sind zwar nicht in einer Kennzahl faßbar, haben aber große Bedeutung.

Es ist ein Problem der optimalen Gestaltung von Instandhaltungsprozessen, die Instandhaltungsqualität auf ein gebrauchskostenop-

Tafel 3. Mögliche Vergrößerung des Einzugsbereichs spezialisierter Instandsetzungsbetriebe bei Verbesserung der Instandsetzungsqualität (dargestellt als Vergrößerung der Radien kreisförmiger Einzugsbereiche bei einer mit der Instandsetzung erreichten Erhöhung der Überlebenswahrscheinlichkeit in der Kampagne von 0,80 auf 0,95)

Einzelteilklasse	Anteil der Transportkosten an den Instandhaltungskosten	mögliche Vergrößerung des Radius des Einzugsbereichs um den Faktor
Schnellverschleißteil betrachtet	0,03	9 ... 16
	0,05	6 ... 10
über 8 Kampagnen	0,10	4 ... 6

Tafel 4. Einflußkomplexe auf die Instandsetzungsqualität

Qualität der Instandsetzungsmaterialien	Qualität der Arbeitsmittel für die Instandsetzung	Niveau der Instandsetzungstechnologie
Neuersatzteile instand gesetzte Ersatzteile Austauschbaugruppen Schmierstoffe Hilfsstoffe u. a. m.	Niveau der Fertigungsverfahren Genauigkeit der Arbeitsmittel u. a. m.	Niveau der technologischen Unterlagen technologische Disziplin

timales Niveau zu heben. Tafel 4 gibt Hinweise für die Arbeitsgebiete, auf die technische und technologische Maßnahmen konzentriert werden müssen.

Die Instandsetzungsqualität zeigt sich auch in der Überlebenswahrscheinlichkeit in nachfolgender Einsatzperiode. Dadurch eingesparte Aufwendungen für die operative Instandsetzung und nicht aufgetretene Ausfallverluste können für die Erhöhung der Instandsetzungsqualität eingesetzt werden. Selbst bei landtechnischen Arbeitsmitteln, bei denen die Ausfallverluste je Beseitigung eines plötzlichen Schadens nicht größer als die Kosten für die wiederherstellende Instandsetzung werden, ergeben sich erhebliche zulässige Kostenerhöhungen. In Tafel 5 sind ausgewählte Beispiele wiedergegeben [10].

Aus den Betrachtungen zur optimalen Instandsetzungsqualität müssen zwei wichtige Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Jeder Instandsetzungsbetrieb, besonders jeder spezialisierte Instandsetzungsobjekte durch Messungen des Einsatzverhaltens überwachen und die technischen Ursachen auftretender Mängel analysieren.
- Im Ergebnis dieser Analyse sind zielgerichtete, ökonomisch begründete technologische Maßnahmen vorzubereiten und zu realisieren.

3.5. Optimale schädigungsgerechte Instandsetzung

Eine schädigungsgerechte Instandsetzung soll im Sinne der Kampagnefestigkeit (als Kampagne wird hier die der Instandsetzung nachfolgende Instandsetzungsperiode betrachtet) nur soviel vorbeugend oder wiederherstellend instand setzen, als sich aus dem Schädigungszustand vor der Instandsetzung und der in der folgenden Instandsetzungsperiode geforderten Überlebenswahrscheinlichkeit als technisch-ökonomisch notwendig ergibt.

Die Schwierigkeiten einer schädigungsgerechten Instandsetzung liegen in der Schadensaufnahme, bei der

- der Schädigungszustand möglichst ohne größere Demontage bestimmt und
- über den Vergleich mit der Betriebsgrenze oder über eine Restbetriebsdauerprognose die Entscheidung über den Instandsetzungsumfang gefällt werden muß.

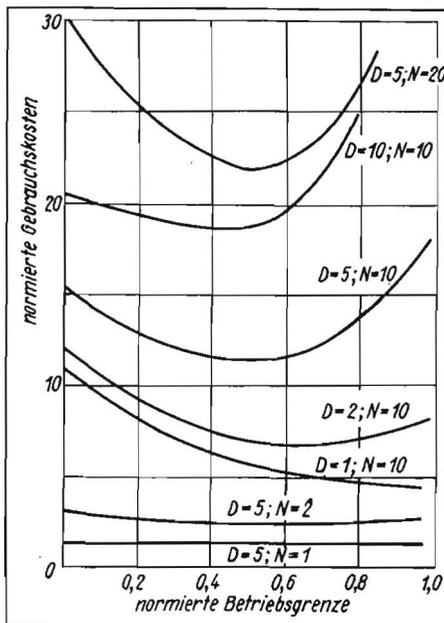
Schädigungsgerechte Instandsetzungen sollten immer, auch wenn ihr Anlaß eine Schadensbeseitigung ist, vorbeugenden Charakter haben. Mit jeder schädigungsgerechten Instandsetzung (Teilinstandsetzung oder Grundüberholung) ist die für die nachfolgende Instandsetzungsperiode (Kampagne) erforderliche Überlebenswahrscheinlichkeit herzustellen. Es darf keinesfalls bei schädigungsgerechten Instandsetzungen aus fal-

scher Sparsamkeit heraus dazu kommen, daß sich in der nachfolgenden Instandsetzungsperiode die Anzahl der operativen Instandsetzungen erhöht. Wenn der Aufwand für schädigungsgerechte Instandsetzungen betrachtet wird, so muß immer die Summe aller Aufwendungen für die schädigungsgerechten Instandsetzungen und für die operativen wiederherstellenden Instandsetzungen während des Einsatzes mit einbezogen werden. Dabei sind mehrere aufeinanderfolgende Instandsetzungsperioden zu analysieren.

Die schädigungsgerechte Instandsetzung soll über eine längere Nutzungsperiode die Summe aller Instandsetzungsaufwendungen auf das Maß reduzieren, das für die Sicherung der landwirtschaftlichen Produktion unbedingt erforderlich ist.

Der optimale Umfang einer schädigungsgerechten Instandsetzung ist nur mit Hilfe einer Optimierung über die Konstruktionsnutzungsdauer oder mehrere Instandsetzungsperioden bestimmbar. Das Bestimmen des Schädigungszustands, der geforderten Überlebenswahrscheinlichkeit und des sich daraus ergebenden Instandsetzungsumfangs erfolgen in planmäßigen oder operativen Überprüfungen mit Hilfe der technischen Diagnostik und/oder in der Schadensaufnahme der Instandsetzung. Damit erhält die Schadensaufnahme eine besondere Bedeutung beim

Bild 2. Normierte Gebrauchskosten für ein Einzelteil in Abhängigkeit von der normierten Betriebsgrenze, der Konstruktionsnutzungsdauer N sowie den Kosten D für die Beseitigung eines plötzlichen Schadens für $R(t_0) = 0,9$ und $V = 0,7$;
 $N = 10 \dots 20$: Schnellverschleißteile;
 $N = 2$: Abnutzungsteil I; $N = 1$: Dauerteil



Tafel 5. Maximal zulässige Erhöhung der Instandsetzungskosten einer vorbeugenden Instandsetzung nach Überprüfungen bei einer Vergrößerung der Überlebenswahrscheinlichkeit von 0,90 auf 0,95

Einzelteilklasse	maximal zulässige Kostenerhöhung in %
Abnutzungsteil I	190 ... 200
Abnutzungsteil II	120 ... 160
Schnellverschleißteil	120 ... 150

Schaffen optimaler Instandhaltungsprozesse. Sie darf sich bei der schädigungsgerechten Instandsetzung keineswegs nur auf die offensichtlich schadhafte Elemente beziehen. Dazu ist eine Betrachtung mindestens aller Abnutzungsteile und der Dauerteile erforderlich, deren plötzlicher Ausfall längere instandsetzungsbedingte Stillstandszeiten nach sich zieht.

Ein besonderes Problem für die optimale Schadensaufnahme ist das Festlegen der Betriebsgrenze. Sie kann bei bekannter Aussonderungsgrenze (sie ist in vielen Fällen mit der Schadensgrenze identisch) über das Minimieren der Gebrauchskosten bestimmt werden.

Im Bild 2 ist für die Überlebenswahrscheinlichkeit 0,90 und die Mischschädigung (Variationskoeffizient der effektiven Lebensdauer 0,7) der Verlauf der relativen Gebrauchskosten über der normierten Betriebsgrenze dargestellt. Folgende Erkenntnisse lassen sich ableiten:

- Für Abnutzungsteile ($N > 2$) ergibt sich eine gebrauchskostenoptimale Betriebsgrenze in relativ weiten Bereichen.
- Die gebrauchskostenoptimale Betriebsgrenze wird mit wachsenden Ausfallverlusten (D) kleiner.

Bereits bei grober Kenntnis des Schädigungsverhaltens des betrachteten Elements ($N \approx t_0/t_{0,9}$; $t_{0,9}$ Mindestgrenznutzungsdauer), der Größenordnung der Ausfallverluste ($D \approx (K_{p1} + A_0)/K_{vi}$; K_{p1} Kosten für wiederherstellende Instandsetzung, K_{vi} Kosten für vorbeugende Instandsetzung) sowie der Aussonderungsgrenze läßt sich über Gl. (5) die optimale Betriebsgrenze näherungsweise bestimmen:

$$H_b = h_b H_a \quad (5)$$

Die zulässigen Bereiche der normierten Betriebsdauer h_b bei einer Abweichung von den minimalen relativen Gebrauchskosten von 5 % sind in Tafel 6 angegeben. Aus diesem Fehler ergibt sich der zulässige Fehler bei der Schadensaufnahme und der Aussonderungsgrenze.

Wenn es damit auch einfach wird, die optimalen Betriebsgrenzen näherungsweise zu berechnen, so weist Tafel 6 doch darauf hin, daß die Bestimmung der Aussonderungsgrenze und die Bestimmung des Schädigungszustands in der Schadensaufnahme mit recht hoher Genauigkeit erfolgen muß, da sonst materialökonomische Nachteile auftreten. Dem Einsatz hochqualifizierter Werkträger in der Schadensaufnahme und der Entwicklung von Diagnoseverfahren mit höherer Genauigkeit kommt weiterhin große Bedeutung zu.

Ein anderes Problem der schädigungsgerechten Instandsetzung ist das der individuellen Restbetriebsdauerprognose. Wenn auch die mathematisch-theoretischen Grundlagen dafür in hohem Maß geklärt sind, fehlen

praktisch anwendbare Restbetriebsdauerprognoseverfahren. Die bekannten und anwendbaren Diagnoseverfahren haben als Basis für eine Restbetriebsdauerprognose objektiv und subjektiv begründet noch zu große Fehler. Es ist deshalb gegenwärtig nur möglich, eine näherungsweise Restbetriebsdauerprognose auf der Basis mehrerer Diagnoseparameter durchzuführen.

Für das Entwickeln praktikabler Restbetriebsdauerprognoseverfahren sollten folgende Wege beschränkt werden:

- Erhöhen der Diagnosegenauigkeit (Diagnosemeßfehler, Aussonderungsgrenze u. a. m.) durch Verbessern der Verfahren und der technologischen Disziplin ihrer Anwendung
- Finden praktikabler Betriebsdauermaßstäbe, die den Schädigungsprozeß besser widerspiegeln als derzeit benutzte Betriebsdauerparameter
- ökonomisches Anpassen der Diagnosegeräte an die Erfordernisse einer hinreichend exakten Restbetriebsdauerprognose.

Diese Arbeitsrichtungen sind ökonomisch begründet, da z. B. selbst in den Erprobungsdiagnosestationen des Bezirks Rostock die konstruktiv vorhandene Abnutzungsreserve von Dieselmotoren noch bis zu 25 % nicht ausgenutzt wird.

3.6. Betriebsdauer landtechnischer Arbeitsmittel und optimaler Instandhaltungsprozeß

Die Notwendigkeit, landtechnische Arbeitsmittel bis zu deren Verschrottung länger zu nutzen als bisher, erfordert auch bei der Instandhaltung besondere Aufmerksamkeit. Auf zwei Teilprobleme dieses Gebiets soll hingewiesen werden. Es ist möglich, bei geschätztem Schädigungsverhalten die Entwicklung der relativen Instandhaltungskosten bei Verlängerung der projektierten Betriebsdauer zu berechnen. Tafel 7 gibt ausgewählte Ergebnisse derartiger Berechnungen wieder. Folgende verallgemeinerbare Erkenntnisse lassen sich ableiten:

- Die Instandsetzungskosten aufgrund von Schnellverschleißteilen und Abnutzungsteilen II je Jahr erhöhen sich kaum.
- Großen Einfluß auf die Instandsetzungskosten haben erwartungsgemäß die Abnutzungsteile I und die Dauerteile. Bei einer Verdopplung der Betriebsdauer bis zur Verschrottung wachsen die Instandsetzungskosten für diese Elemente erheblich an.

Es ist somit nötig, in der Instandsetzung künftig der auf Ermüdungsbestimmung orientierten Schadensaufnahme sowie der Einzelteilinstandsetzung von Dauerteilen und Abnutzungsteilen I besonderes Augenmerk zu wid-

men. Es wird nötig sein, in der operativen Instandsetzung technologisch und ersatzteilseitig die Schadensbeseitigung infolge des Ausfalls von Dauerteilen und Abnutzungsteilen I vorzubereiten.

3.7. Optimale Anwendung der technischen Diagnostik

Die Erprobung der Instandhaltung nach Überprüfungen mit technischer Diagnostik an strukturbestimmenden Dieselmotoren und Hydraulikanlagen im Bezirk Rostock hat zu der Entscheidung geführt, das Diagnosegerätesystem DS 1000 in landwirtschaftlichen Betrieben und VEB KfL zur Nutzung zu bringen.

Es ist nachgewiesen, daß die Instandhaltung nach Überprüfungen mit dem Gerätesystem DS 1000 und qualitätsgerechten Teilinstandsetzungen große Vorteile bringen kann, wenn folgende Bedingungen eingehalten werden:

- Die Leitungen der landwirtschaftlichen Betriebe müssen dieser für die Instandhaltung wichtigen Aufgabe die erforderliche Aufmerksamkeit widmen und sie in den sozialistischen Wettbewerb integrieren.
- Das Diagnosepersonal muß auf hohem ideologischen und fachlichen Niveau die Diagnostiktechnologien sehr exakt anwenden und sich auf diesem Gebiet weiterentwickeln.
- Die Pflege-Diagnose-Stationen der landwirtschaftlichen Betriebe müssen mit einer Instandsetzungseinrichtung verbunden werden, die technisch-ökonomische Teilinstandsetzungen qualitativ gut durchführt.
- Die Instandhaltungseinrichtungen müssen zur Sicherung der Zuverlässigkeit der Diagnosegeräte von einer Serviceeinrichtung gut betreut werden.
- Die Instandsetzungseinrichtungen für die Teilinstandsetzungen müssen hinreichend mit einem begrenzten Sortiment von Ersatzteilen versorgt werden.
- Die VEB KfL müssen ihre Verantwortung gegenüber den LPG/VEG und anderen landwirtschaftlichen Betrieben voll wahrnehmen und die Diagnose für die LPG/VEG als Kundendienstmaßnahme zum Vorteil der landwirtschaftlichen Betriebe durchführen.
- Die VEB KfL müssen die Diagnosegeräte neben der planmäßigen und operativen Überprüfung für landwirtschaftliche Betriebe, die noch nicht über eigene Diagnosegeräte verfügen, auch für die Ermittlung des Umfangs schadensbezogener Instandsetzungen und für die Kontrolle der Instandsetzungsqualität nutzen.

Der Nutzen der Instandhaltung nach Überprüfungen mit dem Gerätesystem DS 1000

und Teilinstandsetzungen kann in folgenden Kennzahlen nachgewiesen werden:

- Die Instandsetzungskosten für Traktoren ZT 300/303 wurden auf 91 bis 93 % (in M/Traktor und Jahr sowie in M/I DK) gesenkt.
- Die instandsetzungsbedingte Stillstandszeit je Traktor in der landwirtschaftlichen Hauptkampagne geht um mindestens 7 % zurück.
- Der Verbrauch an grundüberholten Austauschbaugruppen wurde in den Erprobungsbetrieben wie folgt reduziert:
 - Einspritzpumpen ZT 300/303 um 50 bis 70 %
 - Anlasser 2,94 kW um 40 bis 60 %
 - Drehstromlichtmaschinen 12 V/500 W um 40 bis 60 %
 - Dieselmotoren ZT 300/303 um 0 bis 50 %.
- Der Verbrauch an grundüberholten Austauschbaugruppen liegt in den Erprobungsbetrieben bei folgenden Baugruppen in nachgenannten Bereichen unter den Mittelwerten der DDR:
 - Einspritzpumpen ZT 300/303 um 40 bis 55 %
 - Anlasser 2,94 kW um 50 bis 70 %
 - Drehstromlichtmaschinen 12 V/500 W um 35 bis 60 %
 - Dieselmotoren ZT 300/303 um 15 bis 40 %.
- Die mittlere effektive Lebensdauer der Dieselmotoren ZT 300/303 bis zur Grundüberholung wurde um 9 bis 12 % vergrößert.
- Erste Erfassungen der Auswirkungen der Diagnose einschließlich Regulierungen und Teilinstandsetzungen auf den spezifischen Kraftstoffverbrauch der Traktoren ZT 300/303 ergaben, daß bei erstmaliger Einführung dieser Form der Instandhaltung eine Einsparung an DK von 4,5 % und in jedem Folgejahr von 1,5 % erreichbar ist.

Je Traktor ZT 300/303 und Jahr ergeben sich Einsparungen von 1 150 bis 1 000 M. Für einen Produktionsbetrieb von 5 000 ha LN sind das Einsparungen in Höhe von 40 000 bis 45 000 Mark/Jahr. Das entspricht einer Rückflußdauer der Geräteinvestitionen von 1,3 bis 1,5 Jahren (Tafel 8).

4. Zusammenfassung

Die Gestaltung optimaler Instandhaltungsprozesse nach wissenschaftlichen Grundsätzen in Einheit mit bewährten praktischen Erfahrungen und unter Anwendung modernster ingenieurtechnischer Arbeitsmethoden ist ein dringendes Bedürfnis für die weitere Intensivierung der sozialistischen Landwirtschaft.

Tafel 6. Bereiche optimaler normierter Betriebsgrenzen h_b für eine Überlebenswahrscheinlichkeit von 0,9 und zulässigem Summenfehler aus dem Meßfehler in der Schadensaufnahme und dem Fehler der Aussonderungsgrenze

Einzelteilklasse	N	D ¹⁾	$h_{b\text{opt}}$	zulässige Summenfehler in %
Abnutzungsteil I	2	2	0,45 ... 0,75 ... 1,00	8,9
	2	5	0,32 ... 0,50 ... 0,90	8,0
Schnellverschleißteil	10	2	0,48 ... 0,64 ... 0,81	5,6
	10	5	0,33 ... 0,50 ... 0,64	6,3

1) D Verhältnis der Kosten für eine unplanmäßige Instandsetzung zu den Kosten für eine planmäßige Instandsetzung (Instandsetzungskostenverhältnis)

Tafel 7. Erhöhung der Instandsetzungskosten bei Verdoppelung der projektierten Betriebsdauer einer Maschine und deren Instandhaltung nach Überprüfungen mit einer Überlebenswahrscheinlichkeit von 0,90 bis 0,95

Variationskoeffizient des Schädigungsverhaltens	Instandsetzungskostenverhältnis D	zu erwartende Erhöhung der Instandsetzungskosten in %			
		Dauerteile		Abnutzungsteile	
		I	II	Schnellverschleißteile	
0,4	2	260 ... 280	150 ... 200	107	104
	5	220 ... 240	130 ... 160	104	102
0,7	2	140 ... 150	170 ... 220	107	103
	5	130 ... 140	150 ... 180	104	102

Tafel 8. Gesamtbilanz der Nutzung eines DS 1 000 in einem Territorium von 5 000 ha LN (Einsatz der technischen Diagnose für die Traktoren der Pflanzen- und Tierproduktion am Beispiel der Traktoren ZT 300/303; Auslastung der kombinierten Pflege-Diagnose-Stationen 80 % bei einschichtigem Betrieb)

	Einsparung je Traktor und Jahr M	Aufwendung je Traktor und Jahr M
grundüberholte Baugruppen einschließlich Montage Kraftstoff	800 ... 850	
Diagnosekosten (2 Überprüfungen/Jahr) einschließlich Gemeinkosten	500 ... 600	130 ... 190
Teilinstandsetzungen		180 ... 200
Summe	1 300 ... 1 450	310 ... 390

Alle Vorbereitungsarbeiten von Instandhaltungsvorgängen, sei es zentral für die DDR, für einen Bezirk, einen VEB Landtechnisches Instandsetzungswerk oder einen VEB KfL, für eine LPG oder ein VEG, müssen, ausgehend von den neuesten Erkenntnissen des wissenschaftlich-technischen Fortschritts auf diesem Gebiet und von den konkreten Bedingungen, immer Optimierungscharakter tragen. Dazu ist es notwendig, daß einerseits Voraussetzungen dazu durch Wissenschaft und Staatsapparat geschaffen werden und daß andererseits jeder Instandhaltungsingenieur sich tiefgründig in derartige Aufgabenstellungen sowie in die zu ihrer Lösung erforderlichen Methoden einarbeitet und dies bis zur Fähigkeit ihrer Anwendung bringt. Das Instrumentarium der Optimierung (Hard- und Software) hat künftig für den Instandhaltungsingenieur der Praxis die gleiche Bedeutung wie Rationalisierungsmittel für den Instandhaltungsprozeß. Wissenschaftliche Einrichtungen und Ingenieurbüros haben für die im Abschn. 1 genannten Aufgabenbereiche den nötigen Vorlauf zu schaffen und teilweise auch die Software bereitzustellen. Als verallgemeinerbare Schlußfolgerungen für die künftige Vorbereitung und Rationalisierung von Instandhaltungsprozessen können formuliert werden:

– Das Optimieren von Instandhaltungsprozessen ist ein für alle Arbeitsmittel und für alle Bedingungen spezifisches Problem. Das Optimieren von Instandhaltungsprozessen wird künftig zur Routinearbeit von VEB KfL, VEB LIW und deren Ingenieurbüros gehören.

– Aus wissenschaftlichen Modellrechnungen in verallgemeinerbaren Parameterbereichen können wichtige strategische Schlußfolgerungen abgeleitet werden. In der Instandhaltungsforschung sollte künftig dieser Methodik große Aufmerksamkeit gewidmet werden. Dabei sind die Forschungsarbeiten bis zur Vorlage von Strategievarianten und/oder Leitungsentscheidungen zu führen.

– Notwendige Ausgangspunkte für das Gestalten optimaler Instandhaltungsprozesse sind eine hinreichend exakte Analyse abgelaufener Instandhaltungsprozesse sowie die Instandhaltungseignung technischer Arbeitsmittel. Dazu gehören

- Analysen des Schädigungsverhaltens von Primär- und Ressourcenelementen fabrikneuer und instand gesetzter technischer Arbeitsmittel unter Berücksichtigung spezifischer Einsatzbedingungen
- Analysen des Einsatzverhaltens (realisierte Verfügbarkeit, Ausfallverluste u. a. m.) von technischen Arbeitsmitteln im fabrikneuen und im instand gesetzten Zustand
- Analysen des Instandhaltungsaufwands in realer Höhe je technisches Arbeitsmittel und je Betriebsdauereinheit unter Berücksichtigung der Einsatz- und Instandhaltungsbedingungen
- Klärung der Auswirkungen von Instandhaltungsmaßnahmen auf das Zuverlässigkeitsverhalten von Elementen und Systemen.

Diese Analysen und ihre synthetische Verarbeitung mit Hilfe der Optimierung zu den Vorschriften für optimale Instandhaltungsprozesse werden ein wesentlicher Weg zur Effektivitätssteigerung der landtechnischen Instandhaltung zum Nutzen der landwirtschaftlichen Produktion der DDR sein.

Literatur

- [1] Honecker, E.: Mit Tatkraft und Zuversicht die vor uns liegenden Aufgaben zum Wohl des Volkes meistern. Schlußwort auf der 5. Tagung des ZK der SED. Neues Deutschland vom 27./28. November 1982, S. 3.
- [2] Dohlus, H.: Bericht des Politbüros an die 6. Tagung des Zentralkomitees der SED. Neues Deutschland vom 16. Juni 1983, S. 3.
- [3] Lietz, B.: Die wachsende politische und ökonomische Verantwortung der Betriebe der Landtechnik als Stützpunkte der Arbeiterklasse auf dem Lande. agrartechnik, Berlin 33 (1983) 2, S. 47–52.
- [4] Beckmann, G.; Marx, D.: Instandhaltung von Anlagen. Leipzig: VEB Dt. Verlag für Grundstoffindustrie 1981.
- [5] Saß, S.; Eichler, C.: Möglichkeiten für die Verbesserung der Effektivität und der Wirksamkeit der operativen Instandsetzung. agrartechnik, Berlin 32 (1982) 6, S. 276–279.
- [6] Reichel, M.: Beitrag zur Gestaltung eines optimalen Baugruppenversorgungssystems. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik, Dissertation 1980.
- [7] Stegemann, G.: Beitrag zur Gestaltung, Bemessung und Bewertung technologischer Prozesse der operativen Instandsetzung in der Landtechnik. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung, Dissertation 1981.
- [8] Sell, W.: Beitrag zur Optimierung der spezialisierten vorbeugenden Instandsetzung von landwirtschaftlichen Großmaschinen. Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Dissertation 1979.
- [9] Gebhardt, N.: Beitrag zur Minimierung des organisatorischen Aufwandes der technischen Diagnostik mobiler landtechnischer Arbeitsmittel. Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation 1981.
- [10] Waschkus, R.: Beitrag zur Erarbeitung von Unterlagen der zuverlässigkeitsgerechten Konstruktion von landtechnischen Arbeitsmitteln. Technische Universität Dresden, Sektion Kraftfahrzeug-, Land- und Fördertechnik, Dissertation 1982.

A 3872

KATALOG

über die lieferbare und in Kürze erscheinende Literatur des
VEB VERLAG TECHNIK kostenlos erhältlich durch jede Fachbuchhandlung
oder direkt durch den Verlag, Abteilung Absatz-Werbung