

Bestimmung der Kapazitäten für die operative Instandsetzung landtechnischer Arbeitsmittel

Dipl.-Ing. H. Mund, Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Sektion Landtechnik

Verwendete Formelzeichen

A	technische Verfügbarkeit je Arbeitsmittel
A_{erf}	geforderte technische Verfügbarkeit je Arbeitsmittel
k	Steigerungsfaktor für T_{05}
k_i	Minderungsfaktor für T_{05}
K_{op}	AKh mittlerer Arbeitsaufwand
mtbf	h mittlere ausfallfreie Nutzungsdauer in T_{05}
q	Anzahl der verschiedenen Maschinentypen
s	Anzahl der Schlosser (Instandsetzungskräfte)
T_i	h/AK · HM Arbeitszeit je Arbeitskraft und Halbmonat
T_{05}	h planmäßig nutzbare Einsatzzeit
tblf	h Einzelwert der ausfallfreien Nutzungsdauer
α_{i1}	Anteil der Instandsetzungsmaßnahmen, der von i Arbeitskräften (Schlosser) durchgeführt werden muß (Minimalvariante)
α_{i2}	Anteil der Instandsetzungsmaßnahmen, der von i Arbeitskräften (Schlosser) parallel durchgeführt werden kann (Maximalvariante)
β_i	Verringerungsfaktor der instandsetzungsbedingten Stillstandszeit beim Einsatz von i Arbeitskräften, die parallel arbeiten
δ	Anteil der Beschaffungszeit für Ersatzteile an τ_{15}
σ	Anteil der Wartezeit auf Instandsetzung an τ_{15}
τ_{15}	h mittlere Instandsetzungszeit
τ_{15}	h Einzelwert der Instandsetzungszeit
η	Auslastungsgrad der Instandsetzungskräfte
i, j	Laufvariablen

1. Einleitung

Mit der Einführung industriemäßiger Produktionsmethoden in der Landwirtschaft und der Notwendigkeit der Steigerung der Arbeitsproduktivität wurde und wird auch dem effektiven Einsatz lebendiger und vergegenständlichter Arbeit erhöhte Aufmerksamkeit gewidmet. Während in diesem Zusammenhang für den Hauptprozeß „Landwirtschaftliche Produktion“ in Form von technologischen Projekten und für den Hilfsprozeß „Instandhaltung“ in Form von Technologien für die planmäßigen Instandhaltungsmaßnahmen Richtwerte und Normative für den Einsatz gesellschaftlicher Arbeit vorhanden sind, bilden hinreichend genaue Informationen über den Einsatz von Instandsetzungskräften für die operative Instandsetzung landtechnischer Arbeitsmittel der Pflanzenproduktion noch immer eine Lücke. Unterstellt man, daß zwei Drittel der im Instandhaltungswesen Beschäftigten in der operativen Instandsetzung arbeiten, aber z. T. nur zu 30 bis 40% ausgelastet sind, ist erkennbar, welche Reserven mit einem hinreichend genau ermittelten und begründeten Arbeitskräfteeinsatz erschlossen werden können. Aus diesen Gründen wird an der Sektion Landtechnik der Wilhelm-Pieck-Universität Rostock an dieser Problematik gearbeitet. Im Ergebnis entstand ein einfaches Berechnungsmodell, das jedoch durch eine relativ große Anzahl von

Annahmen und Voraussetzungen in seiner Anwendung eingeschränkt wurde [1]. Im nachfolgenden Beitrag wird ein überarbeitetes und den Praxisbedingungen angepaßtes Berechnungsmodell vorgestellt. Aus dem Vergleich mit dem einfachen Modell werden Anwendungsmöglichkeiten abgeleitet, damit die erforderliche Kapazität für die Durchführung operativer Instandsetzungsmaßnahmen objektiver bestimmt werden kann.

2. Varianten für die Durchführung operativer Instandsetzungsmaßnahmen

Neben der Unterscheidung zwischen einer stationären und mobilen Durchführung operativer Instandsetzungsmaßnahmen kann auch aus technologischer Sicht eine Unterscheidung vorgenommen werden, die die Durchführung mit Hilfe einer Minimal- oder Maximalvariante bezüglich der eingesetzten Arbeitskräfte beinhaltet.

Die *Minimalvariante* enthält den „Mindestbedarf an Arbeitskräften bei Einhaltung einer vorgegebenen Arbeitsfolge“ [2], d. h., es werden nur so viele Arbeitskräfte eingesetzt, wie unbedingt erforderlich sind, um die einzelnen Arbeitsstufen der Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen.

Die *Maximalvariante* enthält den „technologisch möglichen Maximalbesatz an Arbeitskräften bei größtmöglicher Nutzung der parallelen Realisierung von Arbeitsstufen einer Instandsetzungsmaßnahme“ [2], d. h., es werden so viele Arbeitskräfte eingesetzt, wie notwendig sind, um die einzelnen Arbeitsstufen ohne gegenseitige Behinderung parallel ausführen zu können.

Mit beiden Varianten wird der gleiche erforderliche Arbeitsaufwand für die operative Instandsetzung ermittelt. Unterschiede ergeben sich jedoch in der technischen Verfügbarkeit der Arbeitsmittel und im Auslastungsgrad der Instandsetzungskräfte. Die Ursache liegt in der technologischen Durchführung der Instandsetzungsarbeiten. Mit der Minimalvariante, bei der die Anzahl der Arbeitskräfte ein Minimum ist, wird zwar gegenüber der Maximalvariante eine relativ hohe Auslastung der Schlosser erreicht, aber die mögliche technische Verfügbarkeit ist infolge der längeren instandsetzungsbedingten Stillstandszeit geringer (Bild 1).

In Abhängigkeit vom Ausfallverhalten der Arbeitsmittel, der anzustrebenden Auslastung der Schlosser und der geforderten technischen Verfügbarkeit sowie unter Berücksichtigung betriebsspezifischer Bedingungen ist die optimale Variante auszuwählen.

3. Mathematisches Modell

Mit Hilfe der nachfolgenden Gln. (1) bis (4) bzw. (5) bis (8) können Arbeitsaufwand K_{op} , technische Verfügbarkeit A und Auslastungsgrad η für die Minimal- und Maximalvariante berechnet werden. Dabei werden das Ausfallverhalten der Arbeitsmittel über die Primärdaten mittlere ausfallfreie Nutzungsdauer mtbf und mittlere Instandsetzungszeit je Instandsetzung τ_{15} sowie die Wartezeiten auf Instandsetzung infolge besetzter Werkstattwagen und die Beschaffungszeiten für Ersatzteile berücksichtigt.

Weiterhin berücksichtigt das Modell, daß mehrere Arbeitskräfte gleichzeitig für die Instandsetzung eingesetzt werden können. Außerdem gelten folgende Bedingungen:

- Die operativen Instandsetzungsmaßnahmen werden durch Arbeitskräfte mit Werkstattwagen bzw. in einer Betriebswerkstatt an Komplexen mit gleichen Maschinentypen durchgeführt.
- Bei paralleler Durchführung von Instandsetzungsarbeiten ist die je Arbeitskraft erforderliche Instandsetzungszeit gleich groß.

3.1. Minimalvariante Arbeitsaufwand

$$K_{\text{op}} = \sum_{i=1}^q \left[T_{05} \left(\frac{k}{(\sigma+1) + \frac{1}{\tau_{15} \cdot \text{mtbf}} \sum_{i=1}^s i \alpha_{i1}} + \frac{1}{(\sigma+\delta+1) + \frac{1}{\tau_{15} \cdot \text{mtbf}} \sum_{i=1}^s i \delta} \right) \right] \quad (1)$$

technische Verfügbarkeit der Arbeitsmittel

$$A_i = \left[\frac{1}{1 + \frac{\tau_{15}}{\text{mtbf}} (\sigma + \delta + 1)} \right]_j \quad (2)$$

Auslastungsgrad der Instandsetzungskräfte

$$\eta_i = \left[\frac{K_{\text{op}}}{\sum_{i=1}^q T_{i05}} \right]_j \quad (3)$$

Durch das Auftreten von Warte- und Beschaffungszeiten werden die instandsetzungsbedingte Stillstandszeit und damit die planmäßig nutzbare Einsatzzeit T_{05} um den Faktor k nach Gl. (4) verlängert:

$$k = \frac{1}{1 + \frac{\tau_{15}}{\text{mtbf}}} + \frac{(\sigma + \delta + 1)}{1 + \frac{\tau_{15}}{\text{mtbf}}} \quad (4)$$

3.2. Maximalvariante Arbeitsaufwand

$$K_{\text{op}} = \sum_{i=1}^q T_{05} \left[\sum_{i=1}^s \frac{\lambda_i k_i}{\beta_i (\sigma+1) + \frac{1}{\tau_{15} \cdot \text{mtbf}}} + \frac{k}{(\sigma+1) + \frac{1}{\tau_{15} \cdot \text{mtbf}} \sum_{i=1}^s i \alpha_{i1}} + \frac{1}{(\sigma+\delta+1) + \frac{1}{\tau_{15} \cdot \text{mtbf}} \sum_{i=1}^s i \delta} \right] \quad (5)$$

$$\lambda_i = \alpha_{i1} \quad (5a)$$

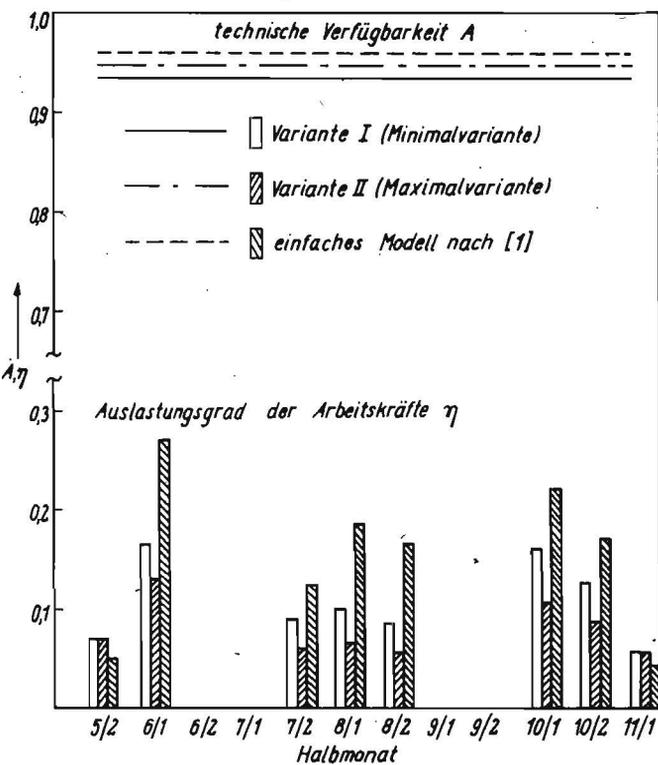


Bild 1. Nach unterschiedlichen Berechnungsmodellen ermittelte Werte für technische Verfügbarkeit der Arbeitsmittel A und Auslastungsgrad der Arbeitskräfte η für die operative Instandsetzung am Beispiel des Feldhäckslers E 280 ($\tau_{IS}/mtbf = 0,05$)

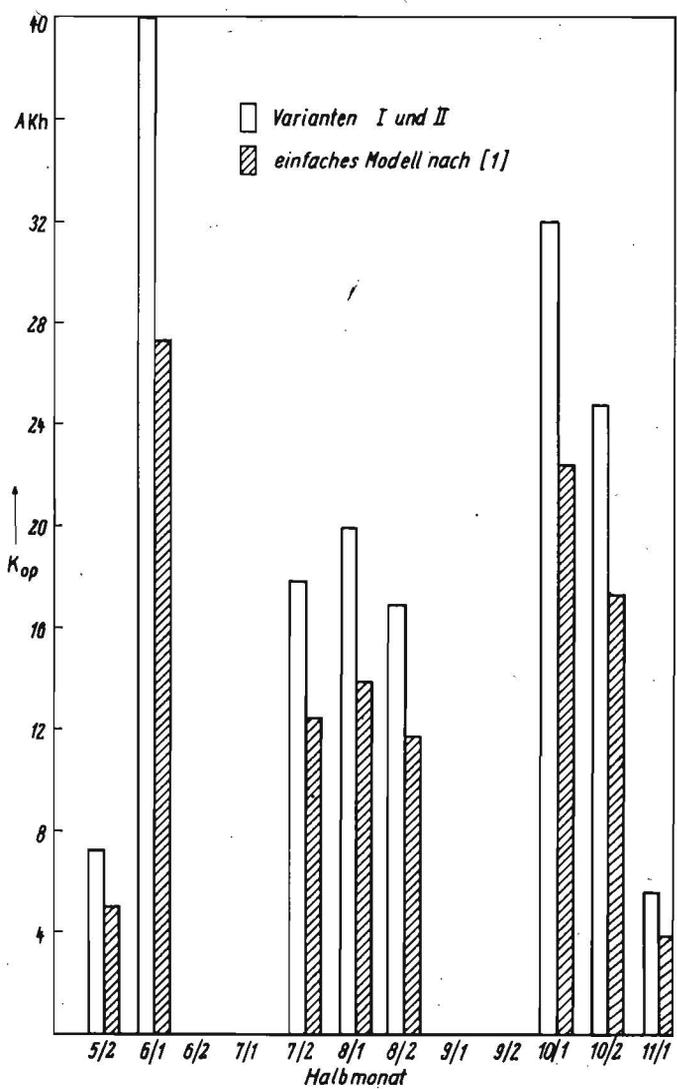


Bild 2. Nach unterschiedlichen Berechnungsmodellen ermittelter Arbeitsaufwand K_{op} für die operative Instandsetzung am Beispiel des Feldhäckslers E 280 ($\tau_{IS}/mtbf = 0,05$)

$$\lambda_i = \alpha_{1i} - \alpha_{2i} \quad (5b)$$

technische Verfügbarkeit der Arbeitsmittel

$$A = \frac{1}{1 + \frac{\tau_{IS}}{mtbf}(\sigma + \delta + 1) \left[\sum_{i=1}^n \beta_i \lambda_i + \sum_{i=2}^n \alpha_{1i} \right]} \quad (6)$$

Auslastungsgrad der Instandsetzungs-kräfte

$$\eta_i = \left[\frac{K_{op}}{\sum_{i=1}^n T_{E(i)}} \right]_j \quad (7)$$

Der Einsatz mehrerer parallel arbeitender Arbeitskräfte bewirkt eine Verringerung der instandsetzungsbedingten Stillstandszeit. Die planmäßig nutzbare Einsatzzeit T_{05} , in der die Stillstandszeit enthalten ist, wird um den Faktor k_i nach Gl. (8) verkürzt:

$$k_i = \frac{1}{1 + \frac{\tau_{IS}}{mtbf}} + \frac{\beta_i(\sigma + \delta + 1)}{1 + \frac{1}{\frac{\tau_{IS}}{mtbf}}} \quad (8)$$

$$\beta_i = \frac{1}{i} \quad (8a)$$

Der Zusammenhang zwischen Verringerung der instandsetzungsbedingten Stillstandszeit und der Anzahl gleichzeitig eingesetzter Arbeitskräfte für die Durchführung operativer In-

standsetzungsmaßnahmen an einem Objekt wird noch untersucht. Die in Gl. (8a) dargestellte Beziehung kann nur eine erste Näherung sein.

4. Ergebnisse zum Arbeitsaufwand für die operative Instandsetzung am Beispiel des Feldhäckslers E 280

Sowohl für das in [1] vorgestellte wie auch für das verbesserte Berechnungsmodell wurden EDV-Programme erarbeitet (Programmiersprache ESER FORTRAN). Damit konnten die in den Bildern 1 und 2 dargestellten Ergebnisse gewonnen werden. Folgende Eingangsdaten wurden verwendet:

- $\tau_{IS}/mtbf = 0,05$
- $\alpha_{11} = 0,67$
- $\alpha_{12} = 0,33$
- $\alpha_{111} = 0,52$
- $\alpha_{112} = 0,38$
- $\alpha_{1111} = 0,10$
- $T_E = 100 \text{ h/AK} \cdot \text{HM}$.

Im Bild 2 ist erkennbar, daß der Arbeitsaufwand K_{op} nach dem einfachen Modell um rd. 25% niedriger liegt, als bei der Berechnung mit dem verbesserten Modell. Die Ursachen liegen darin, daß im verbesserten Modell der gleichzeitige Einsatz mehrerer Arbeitskräfte sowie Wartezeiten auf Instandsetzung bzw. Beschaffungszeiten für Ersatzteile durch die Instandsetzungs-kräfte berücksichtigt werden. Die Auswirkungen auf die technische Verfügbarkeit der Arbeitsmittel sind dabei unwesentlich (Bild 1). Die sich aus dem unterschiedlichen Arbeitsaufwand ergebenden Unterschiede in

der Auslastung der Arbeitskräfte (bis zu 30%) sind real einzuschätzen und bei der Auswahl des einzusetzenden Berechnungsmodells zu berücksichtigen. (Der relativ hohe Auslastungsgrad im einfachen Modell beruht auf der Voraussetzung, daß nur eine Arbeitskraft die Instandsetzungsmaßnahmen durchführt, was aber aus technologischer Sicht teilweise gar nicht möglich ist [2]; demzufolge sind die Ergebnisse des verbesserten Modells als objektiver einzuschätzen.) Die Ergebnisse zeigen weiterhin, daß der mit den beiden Varianten des verbesserten Modells ermittelte Arbeitsaufwand K_{op} gleich ist, somit also mit der etwas einfacheren Variante I berechnet werden kann. Die sich aus der unterschiedlichen Anzahl eingesetzter Arbeitskräfte ergebenden Unterschiede in der instandsetzungsbedingten Stillstandszeit — und damit in der technischen Verfügbarkeit sowie im Auslastungsgrad der Arbeitskräfte — müssen berücksichtigt werden.

Im Bild 3 wird ein Vorschlag zur Variantenauswahl für die operative Instandsetzung unterbreitet. Dabei würden die technische Verfügbarkeit und der Auslastungsgrad als Auswahlkriterien gewählt und in Abhängigkeit vom Ausfallverhalten der Arbeitsmittel dargestellt. Die beiden Varianten des verbesserten Modells (Die Ergebnisse aus dem einfachen Modell dienen nur zum Vergleich!) wurden in diesem Zusammenhang in 2 bzw. 3 Untervarianten untergliedert (Tafel 1). Diese Einteilung basiert auf der Überlegung, daß zur effektiven Auslastung der Instandsetzungs-kräfte die Mechanismen im Schadensfall ihrer Maschine zur

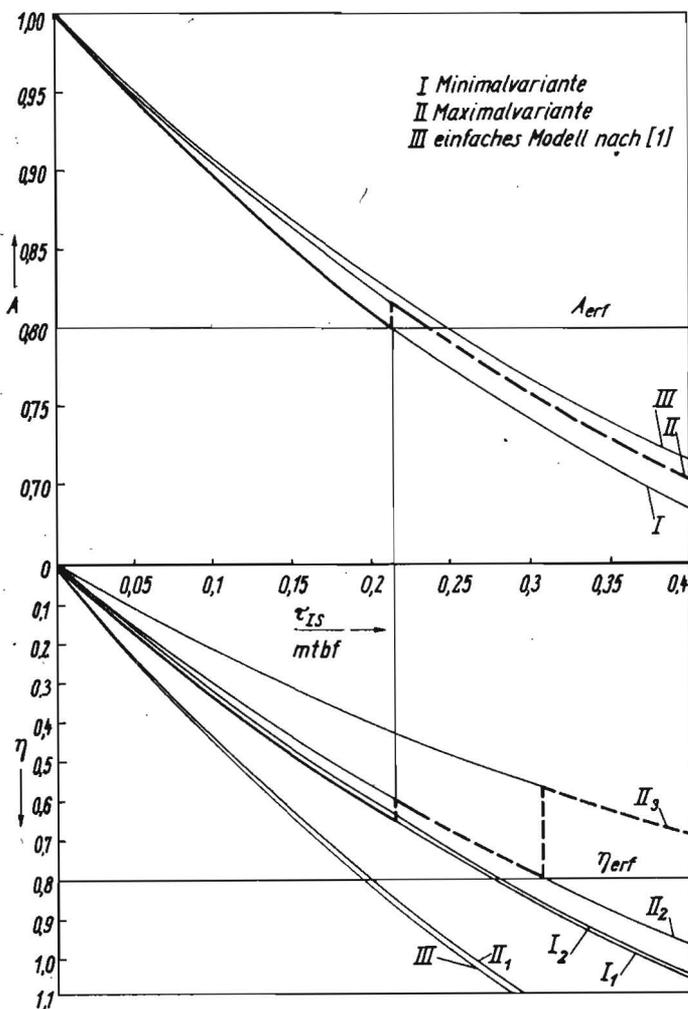


Bild 3
Variantenauswahl für die mobile operative Instandsetzung am Beispiel des Feldhäckslers E280 und Vergleich mit Ergebnissen des Modells nach [1]; $T_{HS} = 500 \text{ h/HM}$, $T_F = 100 \text{ h/AK} \cdot \text{HM}$

Instandsetzung herangezogen werden und somit bei entsprechender Qualifizierung einen Schlosser ersetzen.

Wie Bild 3 zu entnehmen ist, gibt es zwischen den einzelnen Untervarianten hinsichtlich der technischen Verfügbarkeit wie auch des Auslastungsgrades mehr oder weniger große Unterschiede. Sie werden neben dem Ausfallverhalten der Arbeitsmittel vor allem durch die Anteile α_j bestimmt.

Mit Hilfe des vorliegenden Diagramms ist es möglich, unter Berücksichtigung der Forderungen des Hauptprozesses „Landwirtschaftliche Produktion“ sowie des Hilfsprozesses „Instandhaltung“ nach Realisierung einer bestimmten technischen Verfügbarkeit bzw. Mindestauslastung der Instandsetzungskräfte bei Kenntnis des Ausfallverhaltens und der Arbeitsmittel die optimale Variante für die Durchführung operativer Instandsetzungsmaßnahmen aus technologischer Sicht zu ermitteln. Folglich kann mit dem nach den Gln. (1) bzw. (5) ermittelten Arbeitsaufwand die betriebliche Planung der erforderlichen Kapazitäten für die operative Instandsetzung vorgenommen werden.

Die Ermittlung des Verlaufs des erforderlichen

Tafel 1. Untervarianten des verbesserten Berechnungsmodells

Variante	Untervariante	Zusammensetzung der Arbeitskräfte
I (Minimalvariante)	I ₂	2 Schlosser
	I ₁	1 Schlosser/ 1 Mechanisator
II (Maximalvariante)	II ₃	3 Schlosser
	II ₂	2 Schlosser/ 1 Mechanisator
	II ₁	1 Schlosser/ 1 Mechanisator ¹⁾

1) Die Arbeiten, bei denen eine 3. Arbeitskraft eingesetzt werden könnte (10% aller Instandsetzungsmaßnahmen), werden vom Schlosser bzw. vom Mechanisator durchgeführt.

Arbeitsaufwands für das Kalenderjahr und der Vergleich mit dem planmäßig vorhandenen Arbeitsvermögen geben die Möglichkeit, Arbeitsspitzen zu erkennen und geeignete Maßnahmen abzuleiten, um diese Spitzen zu bewältigen oder, wenn technologisch und organi-

satorisch möglich, in arbeitsärmere Zeiten zu verlegen. Da das Ausfallverhalten der Arbeitsmittel, das u. a. abhängig von der Qualität der Kampagnefestinstandsetzung bzw. Grundüberholung ist, auch von betriebsspezifischen Bedingungen, wie Qualität, Organisation und Technologie der operativen Instandsetzung, sowie von Einsatzbedingungen bestimmt wird, muß jeder Betrieb eigene Daten bezüglich ausfallfreier Nutzungsdauer und Instandsetzungszeit zusammenstellen. Das Übernehmen derartiger Daten aus anderen Betrieben ist nur dann zulässig, wenn dort vergleichbare Bedingungen vorhanden sind, wie z. B. Ertrag, Steinbesatz, Qualität der Kampagnefestüberholung u. a., da es sonst zur Verfälschung der Ergebnisse kommen kann.

5. Zusammenfassung

Ausgehend von der Forderung nach optimaler Verfügbarkeit der Arbeitsmittel der Pflanzenproduktion und optimaler Auslastung der Instandsetzungskräfte wurde unter Berücksichtigung des Ausfallverhaltens der Arbeitsmittel ein den Praxisbedingungen angepaßtes Berechnungsmodell vorgestellt, das die Grundlage für eine weitgehend objektive Planung des Arbeitsaufwands für die operative Instandsetzung bietet. Voraussetzung bilden die in den jeweiligen Betrieben ermittelten Primärdaten mittlere ausfallfreie Nutzungsdauer und mittlere Instandsetzungszeit sowie die betrieblichen technologischen Projekte. Mit Hilfe der im Bild 3 dargestellten Zusammenhänge (prinzipiell können für alle Arbeitsmittel derartige Diagramme aufgestellt werden) ist es möglich, eine Auswahl der optimalen Variante für die Durchführung operativer Instandsetzungsmaßnahmen aus technologischer Sicht vorzunehmen. Die Ergebnisse aus dem einfachen Modell [1] weisen hinsichtlich Arbeitsaufwand und Auslastungsgrad um rd. 25% kleinere bzw. größere Werte gegenüber dem verbesserten Modell aus, so daß eine Anwendung nur unter Berücksichtigung dieser Fehler erfolgen sollte. Die Ergebnisse zeigen, daß für eine hinreichend genaue Berechnung des Arbeitsaufwands, der Verfügbarkeit und des Auslastungsgrades ein tieferes Durchdringen des gesamten Prozesses der operativen Instandsetzung erforderlich ist.

Literatur

- [1] Mund, H.: Ermittlung des Arbeitsaufwands für die operative Instandsetzung landtechnischer Arbeitsmittel der Pflanzenproduktion. agrartechnik 28 (1978) H. 12, S. 540—543.
- [2] Stegemann, G.: Untersuchungen zur Technologie der operativen Instandsetzung von kampagneweise eingesetzten Maschinen der Pflanzenproduktion. Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg. Forschungsbericht 1978 (unveröffentlicht).

A 2471

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