

Zeitstruktur im teilautomatisierten Demontage- oder Montagenest

Dr.-Ing. W. Richter/Dr. rer. nat. M. Stolle
Ingenieurhochschule Berlin-Wartenberg, Sektion Technologie der Instandsetzung

1. Automatisierung und Nestarbeit

Die Entwicklung von Industrierobotern und leistungsfähigen elektronischen Steuerungen hat die Möglichkeiten für die Technisierung der Instandsetzungsprozesse wesentlich erweitert. Das gilt auch für Demontage- oder Montagetätigkeiten, die nach wie vor durch einen hohen manuellen Anteil gekennzeichnet sind, da eine durchgängige Automatisierung noch nicht möglich ist. Hierbei stehen technologische Fragen in enger Wechselbeziehung zu ökonomischen Erfordernissen, wie z. B. der Aufwand für die Automatisierung gegenüber der Stückzahl der instand zu setzenden Maschinen und Baugruppen.

In der spezialisierten landtechnischen Instandsetzung sind als Alternative zum hochgradig arbeitsteiligen Prozeß aus technologischen und arbeitswissenschaftlichen Gründen Nest- oder Komplexstrukturen anzusehen [1].

Ausgehend vom hohen Niveau des Technisierungsgrades der vorhandenen Maschinenfließreihen ist der Technisierungsgrad innerhalb der Nest- oder Komplexstrukturen unter Ausnutzung der Flexibilität moderner Automatisierungsmittel weiter zu steigern. Die verbleibenden manuellen Tätigkeiten sind so zu organisieren, daß für die Kollektive die Zielstellungen progressiver Arbeitsinhalte realisiert werden. Damit unterscheiden sich die in der spezialisierten landtechnischen Instandsetzung angestrebten Lösungen wesentlich von bisher bekannten Vorschlägen für die Gestaltung von Montagenestern [2 bis 5], in denen die anfallenden Arbeiten ausschließlich manuell bzw. mechanisiert ausgeführt werden müssen.

Die weitere Erhöhung des Automatisierungsgrades im Demontage- oder Montagenest wird durch den Einsatz von programmgesteuerten Schraubstationen [6, 7] erreicht. Damit ist es möglich, einen hohen Anteil der anfallenden Hauptschraubarbeiten für ein differenziertes Typensortiment zu automatisieren.

Wesentlich für die Realisierung der angestrebten Steigerungsraten der Arbeitsproduktivität ist die Gewährleistung der selbständigen und voneinander unabhängigen Arbeit der Schraubautomaten sowie der im Nest arbeitenden Werk tätigen. In diesem Zusammenhang gewinnen die bislang vorliegenden Erfahrungen zur Mehrstellenarbeit für die Gestaltung der Zeitstruktur im Instandsetzungs-nest an Bedeutung. Nach [8] ist Mehrstellenarbeit „... eine Form der quantitativen Zuordnung von Arbeitskräften und mechanisierten bzw. automatisierten Arbeitsmitteln, wobei die Anzahl der Bedienstellen größer ist als die der individuell oder im Kollektiv arbeitenden Bedienkräfte“.

2. Nestarbeit und Mehrmaschinenbedienung

Die immer weitere Automatisierung der technologischen Prozesse in der Fließfertigung führt in letzter Konsequenz zur Transferstraße. Die Automatisierung in Fertigungsnestern führt zur Mehrstellenarbeit.

Der in Demontage- oder Montagenestern der spezialisierten Instandsetzung erreichte Auto-

omatisierungsgrad liegt bei 35 bis 40% (gemessen am Anteil der Arbeitszeit). Dabei sind die Maschinenlaufzeiten unregelmäßig über die Zykluszeit verteilt.

Die Unterscheidungsmöglichkeiten für die Mehrstellenarbeit in Anlehnung an [8 bis 10] sind aus Bild 1 ersichtlich.

Im Fall der Nestmontage oder Nestdemontage von Dieselmotoren handelt es sich um einen technologischen Prozeß, bei dem

- die Art des Arbeitsablaufs determiniert ist
- die Art der Bedienstellen überwiegend gleich ist
- die Dauer der Arbeitsgänge gleich oder auch nicht gleich ist
- die Zuordnung der Arbeitskräfte in Form von Kollektiven erfolgt.

Für einen derartigen Fall der Mehrstellenarbeit wird in [8, 11] die grafische Methode zur Ermittlung der Bedienungsfolge und der Anzahl der zu bedienenden Maschinen empfohlen.

Vorliegende mathematische Ansätze zur Lösung praktischer Mehrstellenarbeitsprobleme beziehen sich auf stochastisch auftretende Bedienungsanforderungen und nutzen demzufolge Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung [12 bis 15].

Die Anwendung der grafischen Methode führt bei teilautomatisierter Demontage oder Montage von Dieselmotoren nicht zu befriedigenden Ergebnissen. Der Grund dafür ist in der umfangreichen und unregelmäßig gegliederten Zeitstruktur des technologischen Ablaufs zu suchen (Bild 2).

So wird nach [8] die Zeitstruktur durch folgende Beziehungen charakterisiert:

$$t_{Gm \max} > \sum_{i=1}^{m-1} t_{Hh_i} \quad (1)$$

$t_{Gm \max}$ maximale Grundzeit Maschine
 m Anzahl der zu bedienenden Maschinen
 t_{Hh} Hilfszeit Hand;

$$t_{ZE} = t_{Gm} + t_{Hh} \quad (2)$$

$$t_{Zi} = t_B + t_{Ms} \quad (3)$$

t_Z Zykluszeit

t_B Bedienungszeit

t_{Ms} selbständige Maschinenlaufzeit.

Sowohl t_B als auch t_{Ms} sind dabei als unterbrochen und aufeinanderfolgend zu betrachten.

Bei Nestdemontage und Nestmontage von Dieselmotoren gilt jedoch:

$$t_{ZE} = t_{B1} + \dots + t_{Bm} + t_{Ms1} + \dots + t_{Bm+1} + \dots + t_{Bn} + t_{Ms2} + \dots + t_{Bn+1} + \dots + t_{Bo} + t_{Ms3} + \dots + t_{Bx} + t_{Msy} \quad (4)$$

oder:

$$t_{ZE} = \sum_{i=1}^m t_{Bi} + t_{Ms1} + \sum_{j=m+1}^n t_{Bj} + t_{Ms2} + \dots + t_{Bx} + t_{Msy} \quad (5)$$

Das heißt, einer beliebigen Anzahl von t_B folgen immer ungleichartige t_{Ms} .

Bei der Betrachtung des gesamten Instandsetzungsnestes können folgende Fälle auftreten:

Bearbeitung gleicher Motortypen auf allen Arbeitsstationen:

$$t_{ZE1} = t_{ZE2} = t_{ZE3} = \dots = t_{ZEN} \quad (6)$$

Bearbeitung unterschiedlicher Motortypen auf allen Arbeitsstationen:

$$t_{ZE1} \neq t_{ZE2} \neq t_{ZE3} \neq \dots \neq t_{ZEN} \quad (7)$$

Bearbeitung von unterschiedlichen Gruppen gleichartiger Motortypen:

$$t_{ZE1} = t_{ZE2} = \dots = t_{ZEm} \neq t_{ZEm+1} = t_{ZEm+2} = \dots = t_{ZEN} \neq t_{ZEN+1} = t_{ZEN+2} = \dots = t_{ZEo} \neq \dots \quad (8)$$

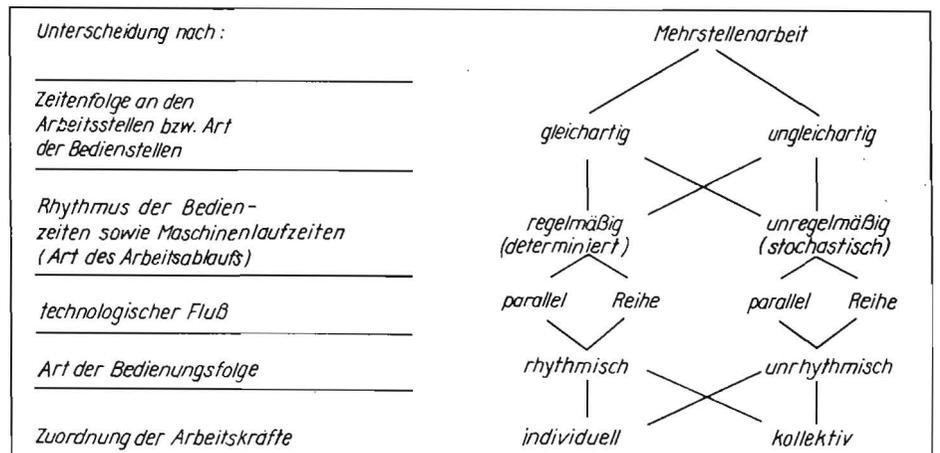
Deshalb soll eine Methode entwickelt werden, mit der auf rationale Weise eine optimale Überlagerung der t_{Zi} zu erreichen ist.

3. Berechnung einer quasioptimalen Reihenfolge mit Hilfe des Simulationsprogramms KANONA

3.1. Problemstellung

Gegeben sind n (≤ 10) Demontage- oder Montagestationen, die von m Arbeitskräften A_j ($j = 1, 2, \dots, m$) bedient werden sollen. Zu

Bild 1. Unterscheidungsmöglichkeiten für Mehrstellenarbeit



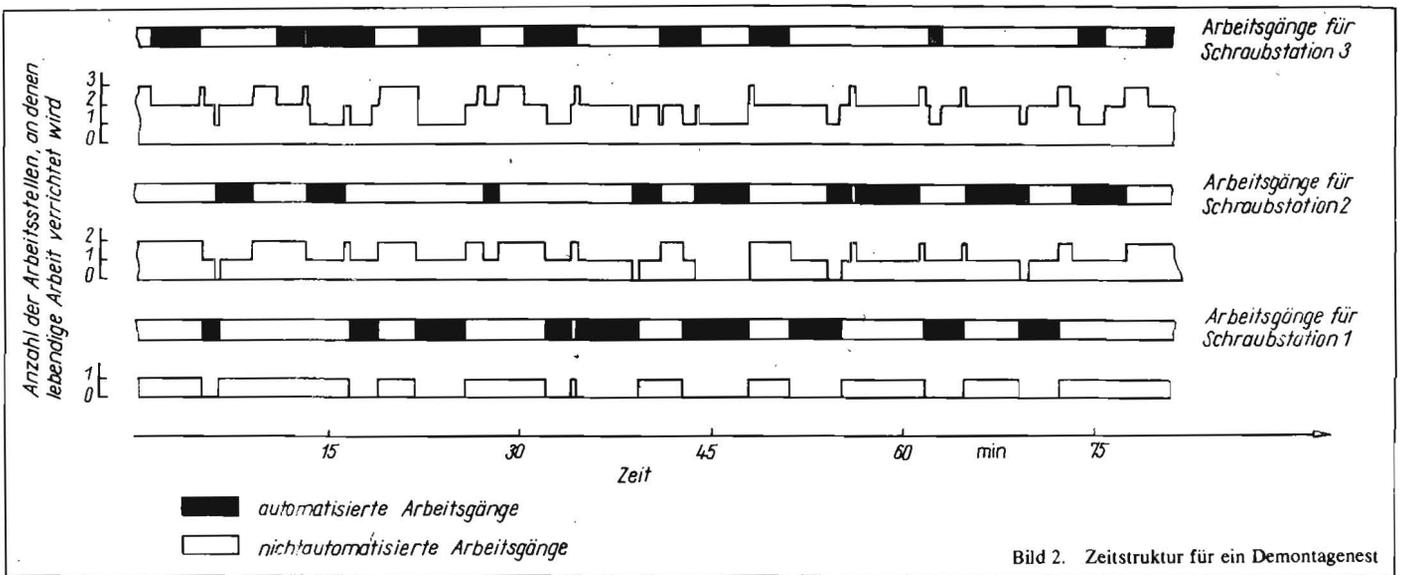


Bild 2. Zeitstruktur für ein Demontagegest

Beginn einer Schicht wählt jeder Werk­tätige je eine Arbeitsstation aus und verrichtet einen Arbeitsgang. Danach kann er zu einer anderen Station wechseln und den dort anstehenden Arbeitsgang ausführen.

Die Reihenfolge der Arbeitsgänge sowie die Dauer werden in der Technologie festgelegt.

Durch den Wechsel der Zuordnung der Arbeitskraft A_j zur Schraubstation P_j ist für jede Arbeitskraft eine solche endliche Folge (a_{jn}) von Arbeitsgängen zu finden, daß die Summe der Pausenzeiten minimal wird $(a_{jm} \in \{1, 2, \dots, m\}; n = 1, 2, 3, \dots, n_{\max})$.

3.2. Lösungsweg

Da es für die Lösung des beschriebenen Reihenfolgeproblems keinen exakten (theoretischen) Lösungsalgorithmus gibt, wird das Problem (wie allgemein für derartige Fälle üblich [16]), mit Hilfe der Simulation nach der Monte-Carlo-Methode behandelt. Durch Zufallsauswahl wird eine mögliche Reihenfolge ermittelt, die einen Ausgangswert für das Quasioptimum (Summe der Pausen) liefert. Danach werden weitere mögliche Reihenfolgen durch Zufallsauswahl bestimmt.

Eine ermittelte mögliche Reihenfolge gilt als neues Quasioptimum (Verbesserung des alten Quasioptimums), wenn der dazugehörige Wert des Optimalitätskriteriums (Summe der Pausen) kleiner als der des alten Quasioptimums ist.

Die Qualität des Quasioptimums ist nicht exakt bestimmbar, es läßt sich zu einer bestimmten Anzahl von Versuchen und der Häufigkeit des Auftretens neuer Optima bei diesen Versuchen vermutlich eine Wahrscheinlichkeit für ein Verbessern des Quasioptimums bei einer vorgegebenen Anzahl erneuter Versuche angeben. Dies wird im Rahmen dieses Beitrags nicht weiter behandelt.

3.3. Bestandteile des FORTRAN-Quellprogramms KANONA

3.3.1. Hauptprogramm

Das Hauptprogramm vermittelt die Eingabe der das konkrete Problem beschreibenden Daten, steuert den wiederholten Aufruf des Unterprogramms SCHICH, organisiert die Ausgabe der von jedem Werk­tätigen zu verrichtenden Reihenfolge der Arbeitsgänge mit Hilfe eines Druckers und, falls gewünscht, auf andere Speichermedien.

3.3.2. Unterprogramme

Das Unterprogramm SCHICH(t) ermittelt durch Zufallsauswahl eine mögliche Reihenfolge der Arbeitsgänge für die Werk­tätigen. Die Simulation der Arbeitsgänge sowie des Wechsels der Werk­tätigen von Arbeitsstation zu Arbeitsstation wird von weiteren Unterprogrammen, WORK und CHANGE, übernommen. Nach dem Setzen einer Ausgangssituation wird durch CHANGE der Wechsel einer Arbeitskraft zu einer anderen Arbeitsstation und durch WORK ein Arbeitsgang an der Station simuliert. Die Reihenfolge der Arbeitsgänge wird protokolliert. Die zeitliche Reihenfolge des Wechsels der Arbeitsstationen durch die Werk­tätigen wird simuliert, d. h., es wird berücksichtigt, daß derjenige Werk­tätige zuerst den Arbeitsplatz wechselt, der zuerst mit dem vorherigen Arbeitsgang fertig ist.

Die vor den Arbeitsgängen für die Werk­tätigen eventuell entstehenden Pausen werden protokolliert und zum Wert des Optimalitätskriteriums addiert.

Erweist sich die ermittelte Reihenfolge als schlechter als das bisherige Quasioptimum, wird SCHICH sofort abgebrochen.

Ist SCHICH bis zum Ende gelaufen, so liegt ein neues Quasioptimum vor. Nach Abbruch von SCHICH wird die weitere Steuerung KANONA übergeben.

4. Zusammenfassung

Eine durchgängige Automatisierung der Demontage sowie Montage von Dieselmotoren ist mit ökonomisch vertretbarem Aufwand derzeit nicht möglich. Deshalb sind nacheinander manuelle und automatische Arbeitsgänge auszuführen. Bei der Anordnung der Arbeitsstationen nach dem Nestprinzip ist es möglich, die für die Werk­tätigen durch automatisierte Arbeitsgänge entstehenden Pausen dadurch zu minimieren, daß die Werk­tätigen zwischen den Arbeitsstationen wechseln.

Mit dem Simulationsprogramm KANONA werden der Wechsel zwischen den Arbeitsstationen festgelegt sowie die verbleibenden Verlustzeiten ermittelt.

Literatur

- [1] Richter, W.; Runge, H.; Schüler, O.: Weiterentwicklung der Demontage- und Montageprozesse bei der spezialisierten Motoreninstandsetzung. *agrar-technik* 30 (1980) H. 1, S. 35—37.
- [2] Romert, W.; Weg, F. J.: Organisation teilautonomer Gruppenarbeit. *Betriebliche Projekte — Leitregeln zur Gestaltung*. In: *Beiträge zur Arbeitswirtschaft, Reihe 1, Angewandte Forschung, Band 1*. München, Wien 1976.
- [3] Haller, K.-H.: Die Gruppe in der betrieblichen Arbeitsorganisation. Technische Universität Berlin (West), Dissertation 1977.
- [4] Steinle, H.: Die Umstellung der Fließfertigung auf Einzel- oder Gruppenfertigung. Technische Universität Berlin (West), Dissertation 1978.
- [5] Enderlein, H.; Markert, U.; Tannenbauer, J.: Nestmontage — eine Möglichkeit zur Gestaltung progressiver Inhalte der Arbeit. *IH Zwickau, Forschungsbericht* 1979.
- [6] Lunau, W.; Hartung, R.: Technologische Lösungen für die Baugruppen- und Großmaschineninstandsetzung. *agrar-technik* 30 (1980) H. 5, S. 202—204.
- [7] Blau, M.; Marzahn, W.; Richter, W.; Runge, H.; Schüler, O.; Göpfert, M.: Teilautomatisierte Station zur De- und Montage von Baugruppen. *Wirtschaftspatent*, Patentschrift 143 409 vom 20. August 1980.
- [8] Kochan, D.; Enderlein, H.; Fichtner, D.: Mehrmaschinenbedienung im Maschinenbau. Berlin: VEB Verlag Technik 1979.
- [9] Wedekind, H.: Die Bestimmung optimaler Fertigungsbedingungen bei der Mehrmaschinenbedienung. Technische Hochschule Darmstadt, Dissertation 1963.
- [10] Lehmann, S.: Anwendbarkeit abgeschlossener Warteschlangenmodelle bei Mehrstellenarbeit. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Dissertation 1966.
- [11] Janke, R.: Organisation der Mehrmaschinenbedienung. Berlin: VEB Verlag Technik 1963.
- [12] Enderlein, H.: Modell und Rechenprogramm zur Gestaltung der Mehrstellenarbeit in der Teilefertigung des Maschinenbaus. *Fertigungstechnik und Betrieb* 23 (1973) H. 4, S. 199—203.
- [13] Rosenberg, W. J.; Prochorow, A. J.: Einführung in die Bedienungstheorie. Leipzig 1964.
- [14] Statistische Modellierung und Optimierung betriebswirtschaftlicher Prozesse. *Tagungsbericht des III. Wissenschaftlichen Kolloquiums, Arbeitsgruppe Mehrmaschinenbedienung*. WPU Rostock, Sektion SBW, 1977.
- [15] Palm, E.: Der Einsatz der Arbeitskräfte bei der Mehrmaschinenbedienung. *Ablauf- und Planungsforschung* 6 (1965) H. 2, S. 281—305.
- [16] Dück, W.; Bliefertich, M.: *Operationsforschung, Band III: Mathematische Grundlagen, Methoden und Modelle*. Berlin: VEB Dt. Verlag der Wissenschaften 1971.