



***The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library***

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search  
<http://ageconsearch.umn.edu>  
[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from AgEcon Search may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

---

Nagel, F.: Möglichkeiten und Probleme der Einsatzplanung bei kooperativer Konzentration in der Feldwirtschaft. In: Seuster, H., Wöhlken, E.: Konzentration und Spezialisierung im Agrarbereich. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 16, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (1979), S. 325-346.

---



MÖGLICHKEITEN UND PROBLEME DER EINSATZPLANUNG BEI  
KOOPERATIVER KONZENTRATION IN DER FELDWIRTSCHAFT

von

F r a n z   N a g e l ,   Darmstadt

- 
- 1      Einleitung - Zielsetzung
  - 2      Charakterisierung und Abgrenzung des Problems
  - 3      Das Modell des überbetrieblichen Maschinen-  
einsatzes
  - 3.1     Modellgrößen und Problemstruktur
  - 3.2     Algebraische Formulierung
  - 4      MEIPLAN - Ein heuristisches Verfahren zur Lösung  
des Maschineneinsatzplanungsproblems
  - 4.1     Datengrundlage und -aufbereitung
  - 4.2     Darstellung der Methode
  - 4.3     Ein Demonstrationsbeispiel
  - 4.4     Qualität und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens
  - 5      Möglichkeiten und Probleme der praktischen  
Anwendung von MEIPLAN
  - 5.1     Berücksichtigung praxisrelevanter Restriktionen
  - 5.2     Koordination von Entscheidungen
  - 5.3     Entwicklung eines adäquaten Management-Infor-  
mations-Systems
  - 6      Schlußbetrachtung
  - 7      Zusammenfassung
-

## 1 Einleitung - Zielsetzung

---

Durch die Bildung von kooperativen Unternehmensformen in der Feldwirtschaft<sup>1)</sup> kommt der Behandlung von Einsatzplanungsproblemen auch im Bereich der Landwirtschaft wachsende Bedeutung zu. Mit dem Übergang von der einzel- zur überbetrieblichen Maschinennutzung ist ein sprunghafter Anstieg der unproduktiven Wegezeiten verbunden. Darüber hinaus führt die zunehmende Intensivierung und Effektivität der überbetrieblichen Maschinennutzung zu einer Verknappung der verfügbaren Maschinenkapazitäten. Die Erstellung eines Maschineneinsatzplans wird somit ständig erschwert.

Bisher gibt es nur sehr wenig Ansätze zur Lösung des überbetrieblichen Einsatzplanungsproblems<sup>2)</sup>. Deshalb soll im Folgenden versucht werden, ein Verfahren zur Lösung praktischer Maschineneinsatzplanungsprobleme zu entwickeln.

## 2 Charakterisierung und Abgrenzung des Problems

---

Die Zielsetzung der überbetrieblichen Zusammenarbeit besteht u.a. darin, die Wirtschaftlichkeit des Maschineneinsatzes durch eine Steigerung der Auslastung zu erhöhen. Das Erreichen dieses Ziels hängt davon ab, inwieweit die beteiligten Betriebe bereit sind, ihre Investitionstätigkeit aufeinander abzustimmen. Die Qualität der Investitionsplanung hat damit entscheidenden Einfluß auf die Effektivität der Zusammenarbeit. Die Bereitschaft, die einzelbetrieblichen Produktionspläne aufeinander abzustimmen, wächst in dem Maße, wie es gelingt, trotz abnehmender Maschinenkapazitäten eine termingerechte Arbeitserledigung zu ermöglichen.

Vor jeder Arbeitszeitspanne muß deshalb im Rahmen einer Kapazitätsplanung überprüft werden, ob die für ein bestimmtes Arbeitsverfahren zur Verfü-

- 1) Über Ziele, Formen und Wirtschaftlichkeit der überbetrieblichen Maschinennutzung in Abhängigkeit von der Größe und dem System der beteiligten Betriebe informiert BECKER (1, S. 13 ff.).
- 2) Diese basieren fast ausnahmslos auf Methoden der Netzplantechnik (s. z.B. KEUFFEL, 7, S. 14 ff. sowie SCHULZE u. DLUGOSCH, 15, S. 100 ff.). Die Netzplantechnik ist zur Lösung kurzfristiger Einsatzplanungsprobleme eines bestimmten Arbeitsverfahrens jedoch nicht geeignet. Mit Methoden der Netzplantechnik wird der Arbeitsablauf verschiedener, zeitlich voneinander abhängiger Arbeitsverfahren analysiert und geplant. Die Bestimmung des Einsatzplans eines bestimmten Verfahrens ist daher nicht Gegenstand der Planung, sondern wird als bekannt vorausgesetzt.

gung stehenden Maschinenkapazitäten zur Befriedigung der Nachfrage ausreichen. Mit Hilfe eines von HANF u. VOIGT (5) entwickelten Modells zur Simulation von Warteschlangen, ist es außerdem möglich, in Abhängigkeit von Nachfrage- und Witterungsschwankungen Engpässe beim Einsatz der Maschinen zu erkennen und den optimalen Maschinenbestand zu ermitteln.

Aufgrund der Unsicherheit in bezug auf die zeitliche Verteilung der Nachfrage und den Witterungsverlauf ist es nicht sinnvoll, einen Einsatzplan für die gesamte Zeitspanne eines Arbeitsverfahrens zu erstellen. In Abhängigkeit von der Witterungsanfälligkeit eines Verfahrens kann der Planungshorizont 1 Woche (z.B. ZR-Ernte) oder auch nur einen Tag (z.B. Mähdrusch) betragen. Die Zielsetzung der Einsatzplanung besteht darin, die in einer Planungsperiode anfallende Nachfrage mit der geringst möglichen Einsatzzeit aller Maschinen zu befriedigen. Die Einsatzzeit der Maschinen setzt sich aus der Feldarbeitszeit, in der die Rüst- und Nebenzeiten enthalten sind und der Wegezeit zusammen. Da die Feldarbeitszeit Festkostencharakter hat, ist der optimale Einsatzplan demnach gegeben, wenn die Wegezeiten minimal sind. In diesem Fall ist auch die Gesamteinsatzzeit der Maschinen im Minimum.

Bei der Lösung des Einsatzplanungsproblems muß neben der Zuordnung von Maschinen und Parzellen auch die Reihenfolge der Bearbeitung festgelegt werden. Sind die Maschinen darüber hinaus an verschiedenen Orten stationiert, muß außerdem die Zuordnung der Parzellen zu den Maschinenstandorten erfolgen. Die Struktur des Einsatzplanungsproblems entspricht damit dem Mehrdepot - Lieferplanproblem einer Einproduktunternehmung (s. MATTHÄUS, 11, S. 163 ff.).

Dem kombinatorischen Charakter des Einsatzplanungsproblems wird bei dem im folgenden Abschnitt zu entwickelnden Modellansatz Rechnung getragen. Die Wahl eines kombinatorischen Modellansatzes erleichtert die Entwicklung eines geeigneten Lösungsverfahrens. Grundsätzlich ist es zwar möglich, einen ähnlich wie bei HEINTZE (6, S. 146) formulierten, ganzzahligen, linearen Ansatz zu wählen. Die Lösung praktischer Probleme würde dann jedoch mangels geeigneter Lösungsverfahren scheitern. Bis heute gibt es keine Methoden, Einsatzplanungsprobleme exakt zu lösen, so daß man sich auf die auf kombinatorischen Überlegungen basierenden heuristischen Verfahren beschränken muß.

### 3 Das Modell des überbetrieblichen Maschineneinsatzes

---

#### 3.1 Modellgrößen und Problemstruktur

Voraussetzung für die Planung des überbetrieblichen Maschineneinsatzes ist die Kenntnis folgender Größen:

- $M_i$  = Maschine<sub>i</sub>  $i = 1, 2, \dots, m$   
 $P_j$  = Parzelle<sub>j</sub>  $j = 1, 2, \dots, n$   
 $d_{pq}$  = Entfernung von Ort<sub>p</sub> zu Ort<sub>q</sub> (in km)  $p = 1, 2, \dots, m+n$   
 $q = 1, 2, \dots, m+n$   
 $c_i$  = Maximale Einsatzzeit von Maschine<sub>i</sub> (in Min/Periode)  $i = 1, 2, \dots, m$   
 $b_j$  = Größe von Parzelle<sub>j</sub> (in ha)  $j = 1, 2, \dots, n$   
 $a_i$  = Leistung von Maschine<sub>i</sub> (in Min/ha)  $i = 1, 2, \dots, m$   
 $g_i$  = Durchschnittliche Geschwindigkeit von Maschine<sub>i</sub> (in km/Std.)  $i = 1, 2, \dots, m$   
 $m$  = Anzahl der Maschinen  
 $n$  = Anzahl der Parzellen

Die Bestimmung der Wegezeit  $v_{ipq}$ , die Maschine<sub>i</sub> benötigt um von Ort<sub>p</sub> zu Ort<sub>q</sub> zu fahren, ergibt sich aus der Division der Entfernung  $d_{pq}$  durch die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit  $g_i$ :

$$(1) \quad v_{ipq} = \frac{d_{pq}}{g_i} \quad \text{für } \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ p = 1, 2, \dots, m+n \\ q = 1, 2, \dots, m+n \end{matrix}$$

Entsprechend errechnet sich die Feldarbeitszeit der Maschine<sub>i</sub> aus dem Produkt von Leistung  $a_i$  und Parzellengröße  $b_j$ :

$$(2) \quad w_{ij} = a_i \cdot b_j \quad \text{für } \begin{matrix} i = 1, 2, \dots, m \\ j = 1, 2, \dots, n \end{matrix}$$

Mit Hilfe der o.a. Modellgrößen und Beziehungen lässt sich die Struktur des Einsatzplans einer beliebigen Maschine  $M_i$  wie folgt darstellen:

$$(3) \quad M_i, P_{m+k_1^i}, P_{m+k_2^i}, \dots, P_{m+k_{s_i-1}^i}, P_{m+k_{s_i}^i}, M_i$$

Die Maschine  $M_i$  bearbeitet bei ihrem Einsatz insgesamt  $s_i$  Parzellen<sup>1)</sup>.  
 Die Parzellen werden in der Reihenfolge  $k_1^i, k_2^i, \dots, k_{s_i-1}^i, k_{s_i}^i$  angefahren und bearbeitet.

Der Wert des Index einer beliebigen Parzelle muß größer sein als  $m$ .  
 Damit ist sichergestellt, daß die Maschine nur von Parzelle zu Parzelle, nicht aber zum Standort einer der übrigen Maschinen fahren kann.

Die gesamte Einsatzzeit  $EZ_{ik}$  der Maschine  $i$  auf der durch  $k$  repräsentierten Tour ergibt sich aus der Summe der Wegezeiten zwischen den  $s_i$  Parzellen, der Feldarbeitszeit auf den  $s_i$  Parzellen, zuzüglich der Wegezeiten vom Standort der Maschine  $i$  zur ersten zu bearbeitenden Parzelle  $P_{m+k_1^i}$  und zur letzten zu bearbeitenden Parzelle  $P_{m+k_{s_i}^i}$ :

$$(4) \quad EZ_{ik} = (v_{i,i,m+k_1^i} + w_{i,m+k_1^i}) + (v_{i,m+k_1^i,m+k_2^i}) + \dots$$

$$+ (v_{i,m+k_{s_i-1}^i, m+k_{s_i}^i} + w_{i,m+k_{s_i}^i}) + v_{i,m+k_{s_i}^i}, \quad i$$

Auf der Basis der in Gleichung 3 wiedergegebenen Zeitstruktur des Lieferplans läßt sich das Einsatzplanungsmodell formulieren.

### 3.2 Algebraische Formulierung

Das Ziel der Einsatzplanung besteht darin, die Gesamteinsatzzeiten aller am Einsatz beteiligten Maschinen zu minimieren. Dabei muß sichergestellt sein, daß jede Parzelle bearbeitet und die maximale Einsatzzeit jeder Maschine nicht überschritten wird.

Minimiere

$$(5) \quad Z_k = \sum_{i=1}^m EZ_{ik}$$

---

1) Für den Fall, daß  $s_i = n$  geht das Einsatzplanungsproblem in das Travelling-Salesman-Problem über. Damit ist das Travelling-Salesman-Problem als Spezialfall des Einsatzplanungsproblems anzusehen, worauf auch DANTZIG u. RAMSER (3, S. 81) hinweisen.

unter den Bedingungen

$$(6) \quad n = \sum_{i=1}^m s_i$$

$$(7) \quad c_j \geq EZ_{ik} \quad \text{für } i = 1, 2, \dots, m$$

wobei  $(k_1^1, \dots, k_{s_1}^1; \dots; k_1^i, \dots, k_{s_i}^i; \dots; k_1^m, \dots, k_{s_m}^m)$  die  $k$ -te Permutation von  $(1, 2, \dots, n)$  repräsentiert und  $s_i$  ein Element aus der Menge der Zahlen  $\{0, 1, 2, \dots, n\}$  ist.

Da es sich hierbei um Permutationen handelt, ist durch diesen Ansatz implizit sichergestellt, daß jede Parzelle nur einmal bearbeitet und jede Maschine nur einmal eingesetzt wird.

#### 4 MEIPLAN - Ein heuristisches Verfahren zur Lösung des Maschinen-einsatzplanungsproblems

##### 4.1 Datengrundlage und -aufbereitung

Die Qualität der Lösung des Einsatzplanungsproblems hängt neben der Wahl eines geeigneten Lösungsverfahrens entscheidend von der Richtigkeit der Planungsdaten ab. Da es sich bei der Einsatzplanung um einen kurzfristigen Planungshorizont handelt, kann unterstellt werden, daß die Daten über Höhe, Qualität und Standort von Angebot und Nachfrage des Arbeitsverfahrens bekannt sind. Offen bleibt die Frage nach der Wahl einer geeigneten Grundlage für die Berechnung der Feldarbeits- und Wegezeiten.

Die Feldarbeitszeit einer Maschine auf einer bestimmten Parzelle ist im wesentlichen von der technischen Leistung der Maschine, der Anbautechnik und der Parzellenform und -größe abhängig. Da es nicht möglich ist, alle die Feldarbeitszeit beeinflussenden Faktoren im Einzelfall zu bestimmen, müssen vereinfachende Annahmen in Form von Normdaten gemacht werden. Diese Normdaten können beispielsweise dem KTBL-Taschenbuch (9) entnommen werden. Die Bestimmung der Feldarbeitszeit ergibt sich damit aus dem in Gleichung 2 angegebenen Produkt aus Arbeitszeitbedarf (in min/ha) und Parzellengröße (in ha).

Entsprechend errechnet sich die Wegezeit nach der in Gleichung 1 aufgeführten Beziehung. Da die Höhe der Wegezeit proportional mit der Entfernung ansteigt, kommt der exakten Bestimmung der Distanzen der an der Einsatzplanung beteiligten Standorte besondere Bedeutung zu. Zur Analyse des Streckennetzes bieten sich 2 Verfahrensweisen an, nämlich die "Methode der echten Entfernungen" und die "Koordinatenmethode" (s. OLPP, 14, S. 63 ff.).

Bei der "Methode der echten Entfernungen" wird dem Einsatzplan das reale Verkehrsnetz der Planungsregion zugrunde gelegt. Dies erfordert einen sehr großen Aufwand für die Beschaffung der Daten und die Bestimmung der Entfernungen von jedem Knoten des Netzes zu den jeweils benachbarten Knoten. Da im Falle der Einsatzplanung nur selten direkte Verkehrsverbindungen zwischen den beteiligten Standorten bestehen, müssen bei der "Methode der echten Entfernungen" außerdem die optimalen Wege zwischen den Knoten des Verkehrsnetzes bekannt sein. Hierfür stehen jedoch leistungsfähige Algorithmen zur Verfügung<sup>1)</sup>.

Den Schwierigkeiten bei der Beschaffung und Aufbereitung der Daten des Streckennetzes kann durch Anwendung der "Koordinatenmethode" begegnet werden. Hierbei wird die Planungsregion in ein x, y - Koordinatensystem gelegt. Jedem Standort der Planungsregion können so die Koordinaten zugeordnet werden, so daß sich die Entfernung zwischen den Standorten  $S_p$  und  $S_q$  nach der Formel

$$(8) \quad d_{pq} = 100 \quad (x_p - x_q)^2 + (y_p - y_q)^2$$

errechnet. Für die Lösung praktischer Probleme muß die "Koordinatenmethode" modifiziert werden. Das läßt sich durch die Einführung sogenannter "Barrieren" erreichen, die die Verbindung zweier Standorte verhindern, die durch ein natürliches Hindernis (z.B. Fluß, Gebirge) getrennt sind. Da die euklidischen Entfernungen immer geringer sind als die tatsächlichen, muß der aus Gleichung 8 errechnete Wert in Abhängigkeit von der Morphologie und der Quantität des Wegenetzes einer Pla-

---

1) Für das Verfahren MEIPLAN (Maschineneinsatzplanung) wurde ein Algorithmus von FLOYD (4, S. 345 ff.) ausgewählt, da dieser für die Errechnung der optimalen Wege in Netzen bei  $n$  Knoten nur  $n^3$  Rechenschritte benötigt.

nungsregion mit einem bestimmten Faktor korrigiert werden.

Trotz der größeren Ungenauigkeit in bezug auf die errechnete Länge der Verbindungsstrecke zweier Standorte, erscheint die Anwendung der "Koordinatenmethode" für landwirtschaftliche Einsatzplanungsprobleme zweckmäßiger. Denn einmal ist der Aufwand für die Bestimmung der Koordinaten der Standorte wesentlich geringer, als die exakte Erfassung einer oft kleinstrukturierten und von einer Vielzahl von Wirtschaftswegen durchschnittenen Planungsregion. Zum anderen haben Vergleichsrechnungen ergeben (s. LOVE u. MORRIS, 10, S. 61 ff.), daß die auf der Basis echter Entfernung errechneten Einsatzpläne sowohl in ihrer Struktur, als auch mit ihrem Zielfunktionswert nur geringfügig von auf der "Koordinatenmethode" aufbauenden Plänen abweichen.

#### 4.2 Darstellung der Methode

Wie die meisten heuristischen Verfahren zur Lösung kombinierter Reihenfolge-/Zuordnungsprobleme, besteht auch MEIPLAN aus einem Eröffnungsverfahren zur Bestimmung einer zuverlässigen Ausgangslösung und einem Iterationsverfahren, das die Ausgangslösung schrittweise zu verbessern sucht. Das Eröffnungsverfahren BEGIN geht von einer Nulllösung aus, die aus Kurzyklen der zur Verfügung stehenden Maschinen mit der Einsatzzeit 0 bestehen. In diese Kurzyklen werden dann nach dem "Verfahren der sukzessiven Einbeziehung von Stationen" (s. MÖLLER-MERBACH, 12, S. 76) schrittweise die Parzellen eingebaut und die entsprechenden Feldarbeits- und Wegezeiten errechnet. Ist eine Parzelle erst einmal einer Maschine zugeordnet, kann sie nicht mehr aus dem Zyklus entfernt werden. Der Freiheitsgrad bei der Lösung des Zuordnungsproblems nimmt deshalb ständig ab. Bei jeder neu in den Einsatzplan einzufügenden Parzelle wird sukzessive geprüft, an welcher Stelle dies mit dem geringsten Zuwachs an Zeitaufwand erfolgt. Bei der Lösung des Reihenfolgeproblems nimmt der Freiheitsgrad des Lösungsraumes deshalb zu. Das Eröffnungsverfahren ist beendet, wenn alle zu bearbeitenden Parzellen, bei Beachtung der Beschränkungen, den Maschinen zugeordnet sind.

Eröffnungsverfahren führen nur zu suboptimalen Lösungen, so daß sie i.d.R. Verbesserungsbedürftig sind. Wie CHRISTOFIDES u. EILON (2, S. 310 ff.) beweisen konnten, sind für die Lösung kombinierter Reihenfolge-/

Zuordnungsprobleme vor allem solche Verfahren zu empfehlen, die nicht nur den Tausch der Elemente innerhalb eines Zyklus, sondern auch zwischen den Zyklen ermöglichen. Die für das Verfahren MEIPLAN entwickelten Verbesserungsroutinen SINGLE u. MULTIPLE basieren auf solchen Tauschoperationen.

Das Iterationsverfahren beginnt mit der Routine SINGLE. Darin wird ein Element zunächst einzeln aus dem Zyklus herausgenommen und in einen anderen Zyklus sukzessive einzubauen versucht. Dieser Vorgang wird mit jedem Element wiederholt. Dabei wird nicht die erste, verbesserte Lösung realisiert, sondern die beste von allen durchgeführten Schritten. Dieser Vorgang kann mit bis zu 10 Elementen wiederholt werden. D.h., daß in SINGLE 10 immer 10 miteinander verbundene Elemente aus einem Zyklus entfernt werden. Danach wird überprüft, ob die Elemente in einer beliebigen Reihenfolge in einen anderen Zyklus eingefügt werden können. Dieser Vorgang wird entsprechend mit allen Zehnerketten wiederholt, wobei wiederum nur die beste Lösung vollzogen wird. Wenn eine verbesserte Lösung, beispielsweise in SINGLE 5 realisiert wird, fährt das Verfahren nicht in SINGLE 6 fort, sondern beginnt erneut bei SINGLE 1. Erst wenn in allen Routinen von SINGLE 1 bis SINGLE 10 keine Verbesserung des Zielfunktionswertes mehr erreicht werden kann, fährt das Verfahren mit MULTIPLE fort.

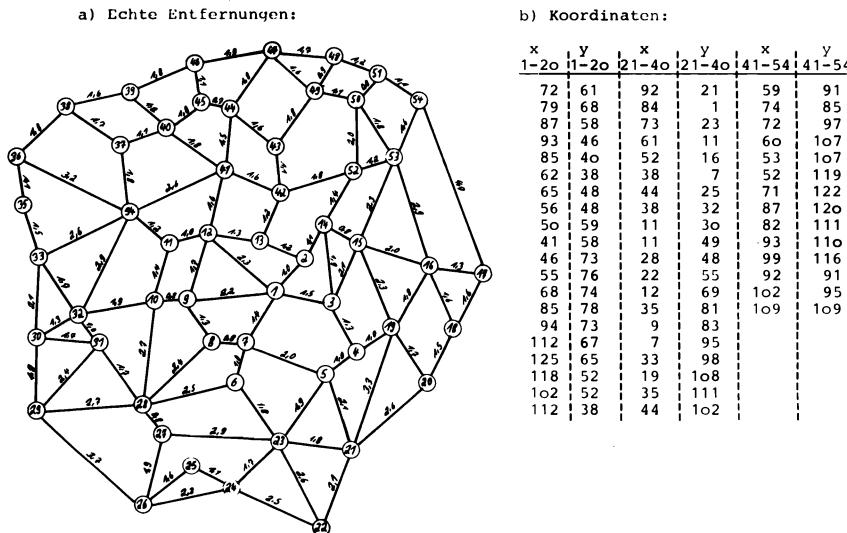
Die Routine SINGLE versucht lediglich, die Planungselemente in andere Zyklen einzubauen. In MULTIPLE ist dagegen der Tausch von bis zu 5 Elementen zwischen den Zyklen möglich. In MULTIPLE 1 wird versucht, jedes Element eines Zyklus gegen jedes Element der anderen Zyklen auszutauschen. In MULTIPLE 3 werden beispielsweise alle Dreierketten der Zyklen gegen die Ketten von 1, 2, und 3 benachbarten Elementen in andere Zyklen vertauscht. Dabei wird jedes Element wiederum einzeln auf der Basis der Methode der sukzessiven Einbeziehung von Stationen in die Zyklen einzubauen versucht. Analog der Vorgehensweise der SINGLE-Routinen wird nur jeweils die beste Lösung einer MULTIPLE-Routine vollzogen. Danach beginnt der Rechenvorgang erneut bei SINGLE 1. Das Verfahren bricht ab, wenn alle Routinen in SINGLE und MULTIPLE einmal komplett durchlaufen sind, ohne eine Verbesserung zu erzielen. Dann ist die mit dem Verfahren MEIPLAN bestmöglich zu erreichende Lösung gefunden<sup>1)</sup>.

1) Das Verfahren wurde in Anlehnung an ein vom Verfasser entwickeltes Lieferplanungsprogramm konzipiert und für die Anwendung in bezug auf die Lösung landwirtschaftlicher Einsatzplanungsprobleme modifiziert (s. NAGEL, 13, S. 59 ff.). Dort sind auch weitere Einzelheiten der Methodik und des Programmablaufs beschrieben.

#### 4.3 Ein Demonstrationsbeispiel

Die praktische Anwendung von MEIPLAN soll nun an einem Planungsbeispiel vorgeführt werden. Kurzfristige, d.h. auf 1 Tag bezogene Einsatzplanungsprobleme gehen in der Praxis kaum über die hier gewählte Größe des Planungsbeispiels hinaus. An der Einsatzplanung sind insgesamt 54 Standorte beteiligt. Das Verkehrsnetz zwischen diesen Standorten bzw. die Koordinaten der Standorte sind bekannt. Die entsprechenden Daten können der Abbildung 1 entnommen werden.

Abbildung 1: Geographische Lage der an der Einsatzplanung beteiligten Standorte mit Angabe der echten Entfernungen und der Standortkoordinaten



Außerdem müssen die Standorte der Maschinen  $M_i$ , ihre maximalen Einsatzminuten  $c_i$  je Tag, ihre durchschnittliche Geschwindigkeit  $g_i$  in km/Std. und ihre Leistung  $a_i$  in min/ha bekannt sein. Für die zu bearbeitenden Parzellen  $P_j$  ist dagegen nur die Kenntnis ihrer geographischen Lage und ihrer Größe  $b_j$  in ha erforderlich.

Obersicht 1: Planungsdaten des Demonstrationsbeispiels

a) Maschinen

$M_i$	$c_i$	$g_i$	$a_i$	$P_j$	$b_j$
$M_9$	600	23	50	$P_{1-14}$	0,3 0,7 0,5 1,1 0,6 1,7 0,4 2,1 0 1,2 0,9 0,7 2,5 0,2
$M_{15}$	660	27	40	$P_{15-28}$	0 0,8 1,3 1,0 0,5 0,4 1,3 0,6 0 0,8 0,3 1,1 1,3 0,7
$M_{23}$	720	30	30	$P_{29-42}$	0,5 1,8 0,8 1,4 0,4 0,7 0,9 1,5 0,8 0,3 2,2 0,6 0 1,3
$M_{41}$	540	20	60	$P_{43-54}$	0,8 0,2 1,1 2,4 0,6 1,3 0,8 0,5 1,7 0,6 2,5 1,3 - -

Nach der Eingabe der Planungsdaten kann der Rechenvorgang auf der Basis der echten Entfernungen oder der "Koordinatenmethode" beginnen. Das Verfahren MEIPLAN erfordert keine symmetrische Datenmatrix, d.h. die Entfernung  $d_{pq}$  kann ungleich  $d_{qp}$  sein. Außerdem können bestimmte Strecken in einer Richtung gesperrt werden (Einbahnstraßen). Im vorliegenden Beispiel wurde allerdings auf die Berücksichtigung dieser Sonderfälle verzichtet. Außerdem wurden die auf der Basis der "Koordinatenmethode" errechneten Entfernungen nicht durch einen Faktor korrigiert. In dem Planungsbeispiel wird also eine Ebene mit gleicher Qualität aller Verkehrsverbindungen unterstellt.

In Übersicht 2 sind die Ergebnisse der Planungsrechnung, sowohl auf der Basis der "Methode der echten Entfernungen" als auch auf der Basis der "Koordinatenmethode" dargestellt.

Obwohl sich die Zielfunktionswerte beider Planungsrechnungen nicht wesentlich voneinander unterscheiden, basieren sie doch auf sehr verschiedenen Einsatzplänen. Außerdem zeigt das Ergebnis, daß erhebliche Restkapazitäten verbleiben, die gegebenenfalls wieder produktiv genutzt werden können.

Interessant ist weiterhin, daß die Restkapazitäten ausschließlich bei den weniger produktiven und langsamer fahrenden Maschinen ( $M_9$  und  $M_{41}$ ) auftreten. Die leistungsfähigeren Aggregate sind dagegen bis an ihre Kapazitätsgrenzen ausgelastet. Dies liegt daran, daß neben der Wegezeit auch die Feldarbeitszeit minimiert wird. In Abhängigkeit von der unterschiedlichen technischen Leistung der Maschinen ist letztere ebenfalls variabel. Das Verfahren wird also immer erst versuchen, die produktivsten Maschinen auszulasten.

Übersicht 2: Ergebnisse der Planungsrechnung<sup>1)</sup> mit MEIPLAN

a) Methode der echten Entfernung

b) Koordinatenmethode

	Einsatzpläne	EZ <sub>ik</sub>		Einsatzpläne	EZ <sub>ik</sub>
M 9	9-11-34-37-38-36-35- 33-31-32-10-9	485	M 9	9-28-27-26-29-30-32- 30-10-9	477
M 15	15-14-52-53-54-16-17- 18-20-21-22-24-25- 26-29-30-15	659	M 15	15-14-52-43-49-47-39- 37-38-36-35-33-34-11- 12-13-2-3-15	659
M 23	23-27-28-8-6-7-1-2-13- 42-43-44-45-46-39- 40-12-3-4-19-5-23	711	M 23	23-22-21-5-4-19-20-18- 17-16-53-54-51-50- 48-42-1-7-8-6-25-24-23	718
M 41	41-47-48-51-50-49-41	329	M 41	41-44-46-45-40-41	277

Gesamteinsatz- Rechen-  
zeit: 2184 Min. zeit: ca. 9 Min.      Gesamteinsatz- Rechen-  
zeit: 2131 Min. zeit: ca. 8 Min.

1) Das Beispiel wurde auf der DIGITAL-Anlage PDP 10 der Universität Kiel gerechnet. Das Programm ist in Fortran IV geschrieben.

#### 4.4 Qualität und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens

Das zufällige Element bei der Erzeugung von Lösungen für bestimmte Probleme macht die Beurteilung der Qualität heuristischer Verfahren schwierig (s. KLEIN, 8, S. 36). Sofern es nicht möglich ist, Kriterien zu entwickeln, die angeben, ob das Verfahren zum Optimum konvergiert, muß man sich auf einen Vergleich der Ergebnisse von Planungsbeispielen beschränken, deren Lösungen bereits bekannt sind. Da in bezug auf MEIPLAN weder ein Konvergenzkriterium gefunden wurde, noch Planungsbeispiele aus dem landwirtschaftlichen Bereich bekannt sind, kann eine Beurteilung der Qualität des Verfahrens nicht erfolgen<sup>1)</sup>.

Betrachtet man die Planungsergebnisse aber anhand der in Abbildung 1 wiedergegebenen geographischen Lage der Standorte, so zeigen sie durchaus sinnvolle Einsatzpläne. Es kommen nämlich nur sehr wenige Doppelberührungen von Standorten auf den Touren vor. Außerdem gibt es weder innerhalb eines Plans noch zwischen den 4 Plänen häufige Streckenüberschneidungen. Beide Merkmale deuten nach CHRISTOFIDES u. EILON (2, S. 313) auf eine gute Qualität des Planungsergebnisses hin. Bei der praktischen Anwendung von Einsatzplanungsprogrammen kann man die Qualität der Verfahren, mangels anderer geeigneter Maßstäbe, auch im Vergleich mit den manuell erzielten Ergebnissen messen.

Die Anwendung mathematischer Methoden ist i.d.R. mit Kosten verbunden, insbesondere dann, wenn die Benutzung des Verfahrens an EDV-Anlagen gebunden ist. Daraus ergibt sich das Problem des wirtschaftlichen Einsatzes der Methoden. Das Wirtschaftlichkeitsproblem umfaßt 2 Bereiche, nämlich einen verfahrensinternen und einen verfahrensexternen. Die interne Wirtschaftlichkeit eines heuristischen Verfahrens muß geprüft werden, bevor das Verfahren zur Anwendung gelangt. Hierbei geht es um die Bestimmung der verfahrensinternen Kosten in Abhängigkeit von der Veränderung des Zielfunktionswertes. Die optimale interne Wirtschaftlichkeit liegt bei Gleichheit von Grenzkosten und Grenzerlös vor. Die Grenzkosten der Benutzung einer EDV-Anlage in Abhängigkeit von der Zeit sind i.d.R. konstant. Schwierigkeiten bereitet dagegen die Bestimmung der

---

1) Allerdings kann darauf hingewiesen werden, daß das dem Verfahren MEIPLAN zugrunde liegende Lieferplanprogramm, das nahezu den gleichen Algorithmus beinhaltet, im Vergleich mit anderen Lieferplanprogrammen fast immer zum besten Ergebnis führte (s. NAGEL, 13, S. 94 ff.).

Grenzerlöse des Verfahrens. Sofern eine nicht monetäre Zielfunktion, wie im Falle der Einsatzplanung vorliegt, entsteht ein Bewertungsproblem. Außerdem verläuft die Entwicklung des Zielfunktionswertes bei heuristischen Verfahren fast immer diskontinuierlich, nichtlinear. Dies macht die Bestimmung der verfahrensinternen Wirtschaftlichkeit heuristischer Verfahren nahezu unmöglich. In der Praxis werden deshalb meistens willkürlich gewählte Abbruchkriterien (z.B. maximale Rechenzeit) vorgegeben.

Diese Vorgehensweise ist besonders bei Verfahren zur Lösung kombinierter Reihenfolge-/Zuordnungsprobleme angebracht, da der Lösungsaufwand i.d.R. überproportional mit zunehmender Problemgröße ansteigt. Das Verfahren MEIPLAN enthält bisher kein Abbruchkriterium, so daß die Ergebnisse in Hinblick auf den Algorithmus des Verfahrens die bestmöglichen sind. Die zur Lösung der Planungsbeispiele erforderlichen Rechenzeiten von 8 bzw. 9 Minuten deuten aber darauf hin, daß Maßnahmen zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit erforderlich sind. Dazu bestehen mehrere Möglichkeiten:

1. Vorgabe eines aufgrund von Testrechnungen gewonnenen willkürlichen Abbruchkriteriums
2. Reduzierung der Tauschintensität des Algorithmus (z.B. von bisher SINGLE 10 und MULTIPLE 5 auf SINGLE 5 und MULTIPLE 3)
3. Modifikation des Programmablaufs in der Weise, daß nach der Realisierung einer Verbesserung des Ergebnisses nicht von vorn, d.h. bei SINGLE 1 begonnen wird, sondern der Algorithmus an der jeweiligen Stelle fortfährt
4. Abspeicherung von Matrizen über die Feldarbeits- und Wegezeiten der Maschinen, so daß die entsprechenden Werte nicht bei jedem Programmschritt errechnet werden müssen.

Die unter 1 - 3 genannten Punkte sind leicht realisierbar, führen aber zu geringfügig schlechteren Planungsergebnissen. Der 4. Vorschlag führt dagegen zu einer erheblichen Verkürzung der Rechenzeit, ohne die Qualität des Ergebnisses zu beeinträchtigen.<sup>1)</sup> Allerdings ist hierfür ein

1) Bei dieser Vorgehensweise löst das Verfahren Probleme mit 50 - 60 Standorten in ca. 30 - 60 Sekunden und Probleme mit 100 - 150 Standorten in 5 - 10 Minuten auf der PDP 10-Anlage von Digital-Equipment.

erheblicher Speicherbedarf erforderlich. Die Anwendung des Verfahrens ist dann an einen leistungsfähigen Großcomputer gebunden.

Das Problem der Bestimmung der verfahrensexternen Wirtschaftlichkeit läßt sich mit der Frage umreißen, ob es sich für eine bestimmte Klasse von Problemen und für eine bestimmte Gruppe von Benutzern überhaupt lohnt, mathematische Methoden anzuwenden. Diese Frage muß von jedem potentiellen Benutzer, im Rahmen einer auf sein Unternehmen bezogenen Wirtschaftlichkeitsrechnung individuell geprüft werden.

## 5 Möglichkeiten und Probleme der praktischen Anwendung von MEIPLAN

---

### 5.1 Berücksichtigung praxisrelevanter Restriktionen

Das im vorigen Abschnitt dargestellte Beispiel entspricht zwar in Größe und Struktur praktischen Einsatzplanungsproblemen. Ein für die Lösung praktischer Probleme geeignetes Verfahren muß darüber hinaus jedoch folgende Beschränkungen einhalten können:

1. Eine Maschine darf auf einer bestimmten Parzelle nicht eingesetzt werden
2. Eine Maschine muß unbedingt auf einer bestimmten Parzelle eingesetzt werden
3. Die Bearbeitung einer Parzelle darf erst zu einem bestimmten Zeitpunkt beginnen, bzw. muß zu einem vorgegebenen Zeitpunkt beendet sein
4. Die Bearbeitung der Parzellen darf mit mehreren Maschinen erfolgen.

Eine Modifikation von MEIPLAN zur Berücksichtigung der unter Punkt 1-3 genannten Bedingungen ist ohne weiteres möglich. Beim Einsatzverbot einer Maschine auf einer bestimmten Parzelle bekommt die entsprechende Zuordnung einen Sperrvermerk. Alle Lösungen, die die entsprechende Zuordnung enthalten, können so als unzulässig identifiziert und verworfen werden. Dagegen kann Bedingung 2 eingehalten werden, indem die entsprechende Zuordnung zu Beginn des Rechenganges erzwungen wird. Das Element muß dann vom Tausch zwischen den Zyklen ausgeschlossen werden, so daß keine andere Zuordnung mehr erfolgen kann. Die Berücksichtigung der Bedingung 3 ist dagegen mit größeren Schwierigkeiten verbunden. Sie kann nur ein-

gehalten werden, wenn man bei allen Tauschoperationen des Iterationsverfahrens das entsprechende Element an die zeitlich vorgegebene Stelle innerhalb der Reihenfolge der Bearbeitung zwingt. Dazu wäre aber ein erheblicher programmtechnischer Aufwand erforderlich. Die Einhaltung der 4. Bedingung schließlich ist mit dem Verfahren MEIPLAN nicht möglich, da in diesem Fall die Ganzzahligkeit nicht mehr gegeben ist. Dies würde die Entwicklung eines völlig neuen Verfahrens erforderlich machen.

In der Praxis tritt häufig der Fall auf, daß die Nachfrage in einem Planungszeitraum das Angebot an Maschinenleistungen weit übersteigt. I.d.R. wird einer solchen Situation durch Anwendung einer bestimmten Prioritätsregel (z.B. Reihenfolge der Anmeldung) entsprochen, wodurch die das Angebot übersteigende Nachfrage in die nächste Periode übertragen wird. Sofern der Einsatzplan nicht durch eine Prioritätsregel festgelegt, sondern mit dem Ziel erstellt wird, die gesamte Nachfrage in der minimalen Einsatzzeit zu befriedigen, kann das Problem weiterhin mit dem Verfahren MEIPLAN gelöst werden. Die Lösung dieses Problems kann auf 2 Arten erfolgen.

Einmal, indem man die Zeitkapazität aller Maschinen soweit erhöht, daß die gesamte Nachfrage befriedigt werden kann. Der Planungsvorgang erfolgt dann in der bereits beschriebenen Form. Das Planungsergebnis wird entsprechend der vorgegebenen Länge einer Einzelperiode zerschnitten. Diese Vorgehensweise unterstellt demnach, daß die Maschinen am Ende einer Periode nicht zu ihrem Ausgangsort zurückkehren bzw. die Bearbeitung nicht fertiggestellter Parzellen am Beginn der folgenden Periode fortsetzen.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, einen mehrperiodischen Planungsansatz zu wählen. Die aufgrund der Zeitrestriktionen in der ersten Periode nicht bearbeiteten Parzellen werden von einer DUMMY-Maschine aufgenommen und in die nächste Periode übertragen, wobei die bearbeiteten Parzellen von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden können. Die Anzahl der Perioden ist demnach nicht vorgegeben, sondern Gegenstand der Planung.<sup>1)</sup>

---

1) Der hier angesprochene mehrperiodische Ansatz kann aus Platzmangel nicht weiter diskutiert werden. Aus dem gleichen Grund muß auch die Beschreibung des Ergebnisses des Demonstrationsbeispiels mit der mehrperiodischen Fassung von MEIPLAN unterbleiben.

Langfristige Einsatzpläne werden aufgrund der Unsicherheit der Daten über den Witterungsverlauf und die Maschinenausfallzeiten nicht realisierbar sein. In Zusammenarbeit mit der Kapazitätsplanung ist ein solcher Ansatz aber durchaus sinnvoll. Bei der Erfassung des Maschinenangebots für einen Kapazitätsplan müssen u.a. Annahmen über die Höhe der Wege-, Feldarbeits- und Maschinenausfallzeiten gemacht werden. Aufgrund der begrenzten Zeitspanne besteht deshalb die Tendenz, Überkapazitäten zu tolerieren. In Verbindung mit einem mehrperiodischen Einsatzplanungsprogramm kann der Bedarf an Maschinenkapazitäten, der für die Befriedigung der in einer Zeitspanne vorhandenen Nachfrage mindestens erforderlich ist, im Rahmen einer Kapazitätsplanung exakter prognostiziert werden.

## 5.2 Koordination von Entscheidungen

Sobald sich eine Gruppe von Einzelunternehmern aufgrund gemeinsamer Interessen zur Zusammenarbeit entschließt, tritt das Problem der Koordination von Entscheidungen auf. Der Wirkungsgrad einer kooperativen Unternehmensform ist davon abhängig, inwieweit es gelingt, die Einzelentscheidungen im Hinblick auf das gemeinsame Ziel zu koordinieren. Die Schwierigkeiten bei der Entscheidungsfindung in Kooperationen hängen einmal von der Fristigkeit des Planungsprozesses, zum anderen von der Zahl der beteiligten Einzelunternehmer und schließlich von der Ebene der Entscheidungen (Routine-, Leistungs-, Führungsentscheidungen) ab (s. STEFFEN u. BORN, 16, S. 121). Bei der Einsatzplanung handelt es sich um einen kurzfristigen Planungsprozeß auf der Ebene der Routineentscheidungen. Außerdem sind an einem einzelnen Plan, im Vergleich zur Gesamtgröße der kooperierenden Gruppe, immer nur wenige Unternehmer beteiligt. Dies bedeutet, daß die Koordinationsprobleme bei der Einsatzplanung relativ gering sind. Aufgrund der Kurzfristigkeit des Plans ist seine Durchführung nur sichergestellt, wenn die Beteiligten ihre Entscheidungen in bezug auf die Auswahl der Maschinen und die Festlegung der Reihenfolge der Bearbeitung an einem neutralen Dritten, den "Koordinator" delegieren.

Da aber eventuell auftretende Koordinationsprobleme die Einsatzplanung empfindlich stören können und zu Verlustzeiten führen, ist der "Koordinator" gezwungen, dies durch langfristig wirkende Präventivmaßnahmen zu verhindern. Zu solchen Maßnahmen zählen:

1. Umfassende Information aller Beteiligten vor Beginn der Arbeitszeitspanne (z.B. in Versammlungen)
2. Auswahl der besten Anbieter im Hinblick auf den technischen Stand der Maschinen und die Qualität und Pünktlichkeit der Arbeitserledigung
3. Staffelung des Arbeitspreises nach Einsatzzeit und Parzellengröße
4. Klare Regelung in bezug auf die Auswahl der in einer Periode am Einsatz beteiligten Unternehmer.

Hierdurch wird das Vertrauen in die koordinierende Stelle gestärkt und somit die Bereitschaft erzeugt, Entscheidungen zu delegieren. Erst wenn die Entscheidung in bezug auf die Festlegung des Einsatzplans in der Hand einer Person liegt, ist es möglich, ein operationales Ziel zu definieren (= Minimierung der gesamten Einsatzzeit der Maschinen) und darauf aufbauend ein mathematisches Verfahren zur Entscheidungsvorbereitung zu entwickeln. Das Problem der Koordination von Entscheidungen in Kooperationen muß deshalb möglichst auf die Festlegung des Zielsystems der Gruppe und auf langfristig wirksame Prozesse, wie z.B. die Investitionsplanung, beschränkt werden. Andernfalls wird der Wirkungsgrad der Kooperation entscheidend geschwächt.

### 5.3 Entwicklung eines adäquaten Management-Informations-Systems

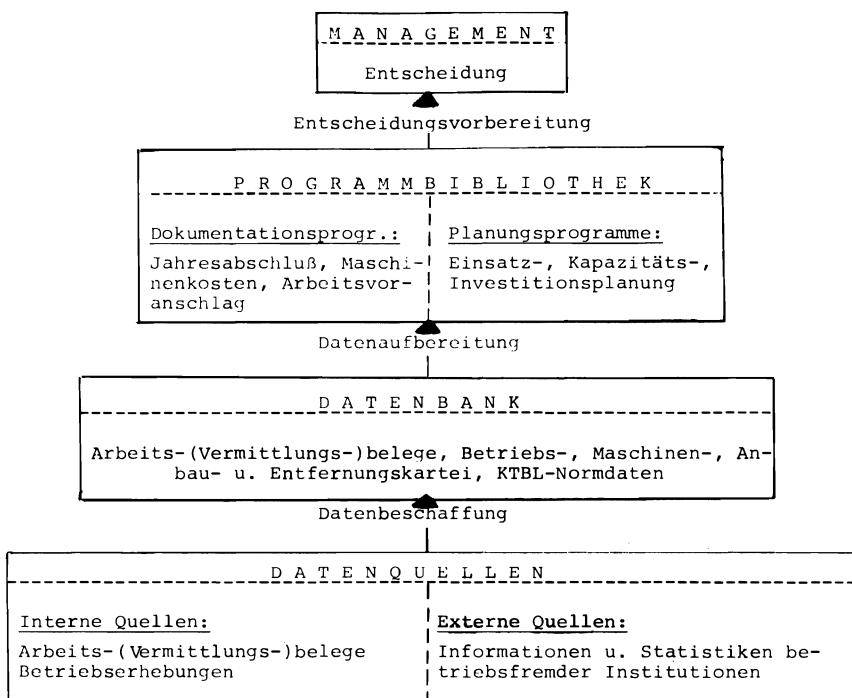
Entscheidungsorientierte Planungsmethoden müssen der Forderung nach Spezialisierung, Flexibilität und Aktualität genügen. Spezialisierung insoweit, als für jede spezielle Problemstellung eine ganz bestimmte Lösungsmethode existieren muß. Flexibilität deshalb, um die Methoden eventuellen Änderungen des Zielsystems und/oder des Datenkranzes anpassen zu können. Aktualität schließlich, damit die Entscheidungsvorbereitung durch die Methoden auch zum Zeitpunkt der Entscheidung abgeschlossen ist.

Die Erfüllung dieser Forderungen ist von der Existenz eines adäquaten Management-Informations-Systems (MIS) abhängig. Das MIS hat die Aufgabe, die für die Entscheidungsvorbereitung benötigten Informationen in geeigneter Qualität und Quantität bereitzustellen. Qualität bedeutet, daß die für den jeweiligen Entscheidungsprozeß relevanten Informationen bereitgestellt werden. Quantität besagt, daß die Datenfülle auf den für die Entscheidung benötigten Umfang reduziert wird (s. SCHULZE u. DLUGOSCH,

15, S. 70). Die für die Lösung von Einsatzplanungsproblemen erforderlichen Aufgaben der Datenbeschaffung und -aufbereitung und der Vorbereitung der Entscheidung durch Anwendung der Methode selbst, sind nur im Zusammenhang mit einem MIS möglich. Dieses MIS umfaßt jedoch nicht nur die Einsatzplanung, sondern alle Bereiche der Information und Planung.

In Abbildung 2 sind die Elemente eines MIS für landwirtschaftliche Kooperationen dargestellt. Auf der untersten Stufe des Systems stehen die Datenlieferanten. Dabei handelt es sich intern um die Mitglieder der Kooperation (Betriebserhebungen) und die Kooperation selbst (Vermittlungsbelege). Soweit es für das System erforderlich ist, müssen auch Daten aus externen Quellen (z.B. Ktbl-Normdaten) beschafft werden.

Abbildung 2: Bestandteile des MIS für Unternehmen der überbetrieblichen Maschinenverwendung



Die von den Lieferanten beschafften Daten werden in der Datenbank nach Sachgebieten aufgeschlüsselt und gespeichert. Hier stehen sie abrufbereit für die in der Programmbibliothek enthaltenen Methoden zur Verfügung. Die Programmbibliothek enthält einmal die Dokumentationsprogramme, die die in der Datenbank gespeicherten Informationen für bestimmte Zwecke (Buchhaltung, Abrechnung, Geschäftsbericht usw.) aufbereiten. Zum anderen werden darin die für die Entscheidungsvorbereitung benötigten Planungsprogramme bereitgehalten. Die Entscheidung selbst muß allerdings dem Management vorbehalten bleiben.

Aufgrund der zu bearbeitenden Datenfülle und der Schwierigkeit der zu lösenden Planungsprobleme, ist ein MIS für Unternehmen der überbetrieblichen Maschinenverwendung nur auf der Basis einer EDV-Anlage denkbar. Für die Lösung kurzfristiger Planungsprobleme, wie das der Einsatzplanung, muß darüber hinaus ein "Mensch-Maschine-Kommunikationssystem" bestehen. Nur so ist die sofortige Reaktionsfähigkeit auf Datenänderungen während der Plandurchführung (z.B. Witterungsänderung, Maschinenausfall) sicher gestellt und die dadurch erforderlich werdende Planänderung möglich.

## 6 Schlußbetrachtung

---

Der Bereich der überbetrieblichen Maschinenverwendung ist relativ jung. Deshalb gibt es bisher nur wenige Ansätze, die in derartigen Unternehmen vorkommenden Entscheidungsprozesse zu analysieren und darauf aufbauend mathematische Planungsmethoden zu entwickeln. Für die Anwendung mathematischer Methoden müssen aber auch in der Praxis bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Dies gilt in erster Linie in bezug auf die Leistungsfähigkeit des Managements und die Bereitschaft der Mitglieder der Kooperation, Entscheidungen zu delegieren. Darüber hinaus muß ein funktionierendes Kommunikationssystem zwischen Management und Mitgliedern (Telefon, Funk) und in der Unternehmung selbst (EDV-Anlage mit Dialogsystem) bestehen. Diese Voraussetzungen sind bisher nur zu einem geringen Teil in der Praxis vorzufinden. In den nächsten Jahren werden jedoch viele Unternehmen im Bereich der überbetrieblichen Maschinenverwendung die genannten Voraussetzungen erfüllen.

Eine wesentliche Rolle für die Entwicklung eines MIS und die Anwendung mathematischer Methoden spielen die damit verbundenen Kosten, sofern die

Unternehmen privatwirtschaftlich geführt werden. Durch ein in allen Unternehmen ähnliches Buchführungssystem, wäre es möglich, die Planungsprogramme auf der Basis eines einheitlichen MIS allen zur Verfügung zu stellen, so daß die Kosten der Entwicklung, Pflege und Benutzung der Programme wesentlich reduziert werden könnten.

Aufgrund der o.a Schwierigkeiten gibt es bisher keine Planungsprogramme, die in Unternehmen der überbetrieblichen Maschinenverwendung praktisch anwendbar sind. Dies gilt auch für das Verfahren MEIPLAN, da es bisher nur anhand von Planungsbeispielen getestet werden konnte. Die Frage, ob MEIPLAN für die praktische Anwendung in kooperativen Unternehmensformen geeignet ist, kann deshalb nicht endgültig positiv beantwortet werden.

## 7 Zusammenfassung

---

In den vorliegenden Beitrag wird ein auf einem kombinatorischen Modellsatz aufbauendes, heuristisches Verfahren zur Lösung des Einsatzplanungsproblems in Unternehmen der überbetrieblichen Maschinenverwendung entwickelt und an einem Planungsbeispiel dargestellt. Außerdem wird untersucht, welche Voraussetzungen gegeben sein müssen, um mathematische Verfahren in der Praxis der überbetrieblichen Maschinenverwendung einsetzen zu können.

## Literatur

- 1 BECKER, H.: Ökonomischer Umfang und Struktur des mehrbetrieblichen Maschinenbedarfs in den verschiedenen Betriebsgrößen und Betriebssystemen. Ktbl-Berichte über Landtechnik, Nr. 132, Frankfurt 1969
- 2 CHRISTOFIDES, N. u. EILON, S.: An algorithm for the vehicle - dispatching problem. Operational Research Quarterly 23, H. 2, S. 151 - 163, 1972
- 3 DANTZIG, G.B. u. RAMSER, J.H.: The truck dispatching problem. Management Science 6, H. 1, S. 80 - 91, 1960

- 4 FLOYD, R.W.: Algorithm 97, shortest path. In: Communications of ACM 5, H. 6, S. 345, 1967
- 5 HANF, C.-H. u. VOIGT, H.: Warteschlangenmodelle zur Kapazitätsplanung in Unternehmen der überbetrieblichen Maschinenverwendung. Unveröffentlichtes Manuskript, Kiel 1978
- 6 HEINTZE, H.-J.: Anwendungsmöglichkeiten und organisatorische Voraussetzungen der Planungsrechnungen beim zwischenbetrieblichen Landmaschineneinsatz. Berichte über Landwirtschaft, H. 1 - 2, Bd. 52, S. 143 - 154, Hamburg und Berlin 1974
- 7 KEUFFEL, Th.: Oberbetrieblicher Maschineneinsatz nach Netzplantechnik. Ktbl-Berichte über Landtechnik Nr. 140, Hiltrup 1970
- 8 KLEIN, H.: Heuristische Entscheidungsmodelle, Wiesbaden 1971
- 9 Ktbl-Taschenbuch für Arbeits- und Betriebswirtschaft, Hiltrup 1978
- 10 LOVE, R.R. u. MORRIS, J.G.: Modeling Inter-City road distance by mathematical functions. Operational Research Quarterly 23, H. 1, S. 61 - 71, 1972
- 11 MATTHÄUS, F.W.: Heuristische Verfahren für Lieferplanprobleme. Zeitschrift für Operations-Research, Bd. 19, S. 163 - 181, 1975
- 12 MÜLLER-MERBACH, H.: Optimale Reihenfolgen. Berlin, Heidelberg, New York 1970
- 13 NAGEL, F.: MUDDY - Ein Verfahren zur Lösung großer Mehrdepot-Lieferplanprobleme. Dissertation Kiel 1978
- 14 OLPP, H.: Tourenplanung für den Fuhrpark einer Einproduktunternehmung. Diplomarbeit, Stuttgart-Hohenheim 1973
- 15 SCHULZE, K.F. u. DLUGOSCH, B.: Struktur, Funktionen und Verbesserungsmöglichkeiten des Managements in Maschinengemeinschaften und Maschinenringen. Forschungsbericht Gießen 1975
- 16 STEFFEN, G. u. BORN, D.: Zur Gestaltung von Informations- und Entscheidungssystemen für die Unternehmensführung in der Landwirtschaft. Berichte über Landwirtschaft, Bd. 53, H. 1, Hamburg und Berlin 1975