

Im Auftrage des Ingenieurbüros für Agrochemische Zentren wurde ein Modellsystem zur Teilautomatisierung der Projektierung von Agrochemischen Zentren (ACZ) entwickelt. Dieses Modellsystem setzt sich aus drei verschiedenen Modellen zusammen:

- Orientierungsmodell zur Maschinenkapazitätsplanung,
- Ergänzungsmodell zur Maschinenkapazitätsplanung und
- Modell zur Lagerkapazitätsplanung.

Das Orientierungsmodell und die Verbindungen zwischen den einzelnen Modellen des Systems wurden schon beschrieben [1]. Im folgenden soll ausschließlich auf das Ergänzungsmodell (Bild 1) eingegangen werden.

## 1. Besonderheiten des Ergänzungsmodells

In dem oben angeführten Beitrag des Autors wurde ausgehend von der spezifischen Aufgabenstellung der ACZ begründet, warum zwei verschiedene Modelle zur Maschinenkapazitätsplanung sinnvoll erscheinen. Hier sei nur hervorgehoben, daß nach der gegebenen Aufgabenstellung lediglich die nicht für Minereraldüngung und Pflanzenschutzmaßnahmen benötigten LKW und Trh zum Stallungstransport und -streuen eingesetzt werden sollen. Im Vordergrund steht nach der Aufgabenstellung die Erledigung der Arbeiten zur Minereraldüngung und zum Pflanzenschutz. Für den Stallungstransport und für das Stallungstreuen kann nur eine *Restkapazität* eingesetzt werden. Die Anzahl von LKW und Traktoren soll sich ausschließlich nach dem Umfang der Minereraldüngung und der Pflanzenschutzmaßnahmen richten. Die notwendige Anzahl an LKW und Traktoren wird — ausgehend vom vorgegebenen Arbeitsumfang — mit dem Orientierungsmodell berechnet, dessen Grundstruktur der Grundstruktur eines linearen Optimierungsmodells zur Maschinenbesatzplanung entspricht: Für einen vorgegebenen Umfang an Arbeit werden mit ihm die Kosten der Arbeitserledigung minimiert; es wird das Minimierungsprinzip verwendet.

Mit dem Ergänzungsmodell wird demgegenüber eine möglichst vollständige *Auslastung* und *Ergänzung* der mit dem Orientierungsmodell ermittelten LKW- und Traktorenkapazität gesucht. Im Ergänzungsmodell ist hierfür keine Leistung, kein Umfang bestimmter Arbeiten, sondern ein Leistungspotential, eine freie Maschinenkapazität vorgegeben. Schon hierin liegt eine wesentliche Besonderheit des Ergänzungsmodells gegenüber den Modellen der *Maschineneinsatz- und -besatzplanung*.

Bei der Formulierung der Zielfunktion des Ergänzungsmodells kann darüber hinaus sowohl vom *Minimierungs-* als auch vom *Maximierungsprinzip* ausgegangen werden. Es wird eine möglichst vollständige Auslastung und Ergänzung der mit dem Orientierungsmodell ermittelten LKW- und Traktorenkapazität gesucht, die entweder minimale Kosten verursacht oder eine maximale Leistung beim Stallungstransport und -streuen erwarten läßt. Der Anwender kann sich selbst die nach seiner Auffassung sinnvollere Zielfunktion auswählen.

Bei Anwendung des Maximierungsprinzips sind Besonderheiten des Ergänzungsmodells gegenüber den Modellen der *Maschineneinsatz- und -besatzplanung* offensichtlich. Solche Besonderheiten existieren jedoch auch bei der Formulierung einer Zielfunktion zur Minimierung der Kosten. Bei der *Maschineneinsatzplanung* wirkt beispielsweise die vorhandene Maschinenkapazität als *obere Schranke*: Zur Durchführung der vorgegebenen Arbeiten können nur die vorhandenen Maschinen und Geräte eingesetzt werden. Im Ergänzungsmodell ist die freie Maschinen-Kapazität, das

vorgegebene Leistungspotential, bei Anwendung des Minimierungsprinzips demgegenüber keine obere Schranke. Sie wirkt dann vielmehr als *untere Schranke*. Mit dem Ergänzungsmodell soll bei Anwendung des Minimierungsprinzips nicht der Aufwand zur Erledigung vorgegebener Arbeiten, sondern der Aufwand zur Ergänzung der freien LKW- und Traktorenkapazität minimiert werden, die zur Erledigung bestimmter Arbeiten (hier Stallungstransport und -streuen) eingesetzt wird. Dabei wird jener Einsatz der freien Maschinenkapazität ermittelt, der den geringsten zusätzlichen Aufwand verursacht.

Bei der *Maschineneinsatz- und -besatzplanung* ist außerdem der vorgegebene Umfang der zu erledigenden Arbeiten eine untere Schranke; im Ergänzungsmodell muß der Umfang der Arbeiten (hier Stallungstransport und -streuen) demgegenüber sowohl bei Anwendung des Minimierungs- als auch des Maximierungsprinzips als obere Schranke vorgegeben werden. Denn es soll mit der freien Maschinenkapazität nicht mehr Arbeit erledigt werden als tatsächlich vorhanden ist. Es kann im Jahr nicht mehr Stallung transportiert und gestreut werden als anfällt. Der jährliche Anfall an organischem Dünger im ACZ-Bereich bildet damit die obere Schranke.

Aus diesen Gründen ist das Ergänzungsmodell nicht als Modifikation der Modelle zur *Maschineneinsatz- bzw. -besatzplanung* zu deuten. Es ist ein gesonderter Modelltyp.

## 2. Ausgabe- und Eingabeinformationen des Ergänzungsmodells

Im einzelnen lassen sich mit dem Ergänzungsmodell folgende Ausgabeinformationen ermitteln:

- Möglichkeiten des Einsatzes der freien LKW- und Traktorenkapazität bei der Stallungsausbringung ( $x_4, x_5, x_6, x_7, x_8$ );
- jährlicher Stallunganfall innerhalb des ACZ-Bereichs ( $x_{10}$ );
- nicht bei der Stallungsausbringung einsetzbare LKW und Trh ( $x_{11}, x_{12}$ );
- Anzahl der Ergänzungsmaschinen und -geräte ( $x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}$ );
- nicht bei der Stallungsausbringung einsetzbare Kapazität der Ergänzungsmaschinen und -geräte ( $s_5, s_7, s_{12}, s_{13}$ );
- nicht transportierte Stallungsmenge ( $s_{10}$  oder  $'s_{10}$ ) bzw. gestreute, aber nicht transportierte Stallungsmenge ( $"s_{10}$ );
- transportierte, aber nicht gestreute Stallungsmenge ( $s_{11}$ ) bzw. nicht gestreute Stallungsmenge ( $'s_{11}$  oder  $"s_{11}$ );
- Gesamtkosten der Arbeitserledigung bei der Minereraldüngung, beim Pflanzenschutz und bei der Stallungsausbringung.

Zur Ermittlung dieser Ausgabeinformationen sind Eingabeinformationen erforderlich über

- Anzahl der Einsatzstunden von LKW, Traktoren und Kränen für Minereraldüngung und Pflanzenschutz ( $a_{11}, a_{32}, a_{53}$ );
- aufgerundete Anzahl der LKW und Traktoren (geht in  $b_1$  und  $b_3$  sowie  $b_{14}$  ein);
- maximale Einsatzzeit der LKW und Traktoren bei der Stallungsausbringung (geht in  $b_1$  und  $b_3$  ein);

\* Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Sektion Pflanzenproduktion, Lehrstuhl für Operationsforschung und EDV (Prof. Dr. H. HOWITZ)

- Bedarf an Ergänzungsmaschinen je LKWh bzw. Trh ( $D_{55}, D_{56}, D_{57}, D_{58}, D_{74}, D_{75}, E_{76}, E_{12,6}, E_{13,7}, E_{13,8}$ );
- maximale Einsatzzeit der Ergänzungsmaschinen und -geräte ( $a_{5,13}, a_{7,14}, a_{12,15}, a_{13,16}$ );
- Leistungsnormen für den LKW- und Traktoreinsatz bei den verschiedenen Verfahren der Stalldungausbringung in t/LKWh und t/Trh ( $a_{10,4}^T = a_{11,4}^T, a_{10,5}^T = a_{11,5}^T, a_{10,6}^T = a_{11,6}^T, a_{10,8}^T, a_{11,7}^T$ );
- Viehbestand des ACZ-Bereichs ( $b_8$ );
- variable Kosten der Verfahren der Stalldungausbringung ( $c_4^T, c_5^T, c_6^T, c_7^T, c_8^T$ );
- konstante Kosten des LKW- und Traktoreinsatzes (geht in  $c_{17}^T$  ein);
- konstante Kosten der Ergänzungsmaschinen ( $c_{13}, c_{14}, c_{15}, c_{16}$ );
- Summe der variablen Kosten für den LKW-, Traktoren- und Kraneinsatz bei der Minereraldüngung und dem Pflanzenschutz ( $c_1, c_2, c_3$ );
- Summe der Leihgebühren für den Einsatz des RS30/36 und die Kosten des Flugzeugeinsatzes (geht in  $c_{17}^T$  ein).

Die ersten beiden und die letzten beiden Eingabeinformationen des Ergänzungsmodells sind Ausgabeinformationen des Orientierungsmodells. Die variablen und konstanten Kosten sind hier genau so definiert wie bei der Formulierung des Orientierungsmodells [1].

### 3. Ermittlung der freien Maschinenkapazität

Das im Ergänzungsmodell vorzugebende Leistungspotential wird nicht mit dem Orientierungsmodell berechnet. Mit letzterem werden lediglich die Anzahl der Einsatzstunden der LKW, Traktoren und Kräne für die Minereraldüngung und den Pflanzenschutz sowie die notwendige Anzahl der LKW und Traktoren ermittelt. Aus diesen Ausgabeinformationen des Orientierungsmodells ist das vorzugebende Leistungspotential im Ergänzungsmodell (modellintern) zu bestimmen.

Das Ergebnis des Orientierungsmodells ist nicht ganzzahlig. Es besteht jedoch bei der Formulierung des Ergänzungsmodells die Möglichkeit, die Ausgabeinformationen des Orientierungsmodells über die notwendige Anzahl der Maschinen als ganzzahlige Größen (Aufrundung) aufzunehmen. Außerdem kann bei der Berechnung des noch verfügbaren Leistungspotentials für die Stalldungausbringung von anderen Größen bezüglich der maximalen Einsatzstunden der LKW und Traktoren in den einzelnen Zeitspannen ausgegangen werden als im Orientierungsmodell. Letzteres ist notwendig, wenn die maximale Einsatzzeit der LKW und Traktoren bei den im Orientierungsmodell dargestellten Arbeiten (Minereraldüngung und Pflanzenschutzmaßnahmen) wesentlich geringer ist als bei den im Ergänzungsmodell erfaßten (Stalldungtransport und -streuen). Durch die Bearbeitung des Gesamtproblems in mehreren Modellen (Orientierungs- und Ergänzungsmodell) ergeben sich damit zwei nicht zu unterschätzende Vorteile: zum einen können teilweise Ganzzahligkeitsbedingungen und zum anderen verschiedene maximale Einsatzzeiten der Maschinen berücksichtigt werden.

Die freie Maschinenkapazität ergibt sich aus den Differenzen  $b_1 - a_{11}$  und  $b_3 - a_{32}$  (Bild 1). In den Vektoren  $b_1$  und  $b_3$  sind die maximalen Mengen an LKWh bzw. Trh der mit dem Orientierungsmodell berechneten und aufgerundeten Anzahl von LKW bzw. Traktoren fixiert. Die Vektoren  $a_{11}$  und  $a_{32}$  enthalten die für die Minereraldüngung erforderlichen LKWh bzw. die beim Pflanzenschutz notwendigen Trh, die mit dem Orientierungsmodell ermittelt wurden.

Die für die Stallausbringung verfügbare LKW- und Traktorenkapazität wird im Ergänzungsmodell zwar intern

ermittelt, aber nicht explizite ausgewiesen. Sofern diese Information zusätzlich gewünscht wird, läßt sie sich nach Berechnung des Modells leicht nachträglich ermitteln. Nach geringfügiger Modifikation des Modells kann diese Information jedoch auch im Berechnungsergebnis gesondert ausgewiesen werden.

### 4. Ermittlung des jährlichen Anfalls an organischem Dünger

Mit den Restriktionsklassen 8 und 9 und den Aktivitäten  $x_9$  und  $x_{10}$  wird der jährliche Anfall an organischem Dünger ermittelt. Im Vektor  $b_8$  ist der Viehbestand des ACZ-Bereichs in GV – gegliedert nach Tierarten und Aufstallungsarten – vorgegeben, und im Vektor  $a_{99}^T$  ist der Anfall an organischem Dünger in t je GV der einzelnen Gruppen fixiert. In diesem Zusammenhang muß hervorgehoben werden, daß der im Vektor  $b_8$  vorzugebende Viehbestand die einzigen ACZ-spezifischen Eingabeinformationen des Ergänzungsmodells liefert.

Sofern im ACZ-Bereich neben Stallung auch Gülle anfällt und diese mit LKW bzw. Traktoren transportiert (ausgefahren) werden kann, ist im Vektor  $b_8$  der vorgegebene Viehbestand auch nach der Art des anfallenden organischen Düngers (Stallung oder Gülle) zu gliedern und der Vektor  $a_{99}^T$  zur Matrix  $A_{99}$  zu erweitern. In einer Zeile der Matrix  $A_{99}$  ist wie im Vektor  $a_{99}^T$  der Anfall an Stallung in t je GV und in der anderen der Anfall an Gülle in einem Masse- oder Volumenmaß je GV zu erfassen. Außer der Aktivität „Stallunganfall“ muß dann noch eine Aktivität „Gülle-anfall“ formuliert werden.

### 5. Die Bilanzierung des jährlichen Stallunganfalls mit dem Stallungstransport und dem Stallungstreuen

In den Restriktionsklassen 10 und 11 sind Bilanzen des jährlichen Stallunganfalls, des Stallungstransports und des Stallungstreuens dargestellt. Hierfür gibt es drei verschiedene Möglichkeiten: Formulierung A, B und C. Bei der Formulierung A sichert die Restriktion 10, daß nicht mehr Stallung transportiert wird, als im Jahr anfällt. Und nach der Restriktion 11 darf nicht mehr Stallung gestreut werden, als transportiert wurde. Damit gilt:

Stallunganfall  $\geq$  Stallungstransport  $\geq$  Stallungstreuen.

Die Vektoren  $a_{10,4}^T, a_{11,4}^T, a_{10,5}^T = a_{11,5}^T, a_{10,6}^T = a_{11,6}^T$  und  $a_{10,8}^T$  enthalten Normen des Stallungstransports je LKWh bzw. Trh und der Vektor  $a_{11,7}^T$  Normen des Stallungstreuens je Trh.

Sofern – aus welchen Gründen auch immer – die Bedingungen der Formulierung A nicht genügen, können sie entsprechend den Formulierungen B oder C modifiziert werden (Bild 1). In der Formulierung B sind der Stallungstransport und das Stallungstreuen voneinander unabhängig. Beide sind lediglich durch den Stallunganfall begrenzt:

Stallunganfall = Stallungstransport (Restriktion 10a)

Stallunganfall = Stallungstreuen (Restriktion 11a)

Wenn in der Lösung die transportierte Stallungsmenge kleiner als die gestreute ist, wird unterstellt, daß die Differenz zwischen diesen verschiedenen Stallungsmengen mit einer anderen Maschinenkapazität (z. B. mit Maschinen der Landwirtschaftsbetriebe) transportiert werden kann.

Die Formulierung C (Restriktionen 10b und 11b) fixiert folgende Bedingungen:

Stallunganfall  $\geq$  Stallungstreuen  $\geq$  Stallungstransport

Auch hier wird unterstellt, daß eine mögliche Differenz zwischen der gestreuten und transportierten Stallungsmenge mit Maschinen transportiert werden kann, die nicht im Modell dargestellt sind. Die Koeffizienten der Re-

		Restriktionsklasse	ME	Vektor der Schlupfvariablen	Inhalt der Schlupfvariablen	Kapazitätsvektor	Restriktionsart	LKWh für Mineraldüngung	Trh für Pflanzenschutz	Krh für Mineraldüngung	Stallungs-transport mit 2 W 50, 11 174 / 16 und 11 157 / 2	Stallungs-transport mit 2 W 50, 11 174 / 16 und 11 157 / 2	Stallungs-transport mit 3 MTS 2, 5 Kipper 11 174 / 16 und 11 157 / 2	Stallungsstreu mit 4 MTS 2, 4 Hänger und 11 174 / 16	Stallungsausbringung mit 4 MTS 2, 4 Hänger und 11 174 / 16	Viehbestand	Stallungsanfall	nicht benötigte LKWh	nicht benötigte Trh	Anzahl T 174 / 16	Anzahl T 157 / 2	Anzahl Kipper THK 5	Anzahl Hänger T 087 und D 132	Maschinen aus dem Orientierungsmodell
								LKWh	Trh	Krh	LKWh	LKWh	Trh	Trh	Trh	GV	t	LKWh	Trh	St	St	St	St	St
Vektor der Variablen								$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$	$X_{15}$	$X_{16}$	$X_{17}$
Bilanz der LKWh von W 50 LAK		1	LKWh			$b_1$	=	$a_{11}$			$E_{14}$	$E_{15}$						$E_{11}$						
LKWh für Mineraldüngung		2				1	=	1																
Bilanz der Trh von MTS-52		3	Trh			$b_3$	=	$a_{32}$					$E_{36}$	$E_{37}$	$E_{38}$				$E_{312}$					
Trh für Pflanzenschutz		4				1	=	1																
Bilanz der Krh von T 174 / 16		5	Krh	$s_5$	nicht eingesetzte Kapazität des Krans T 174 / 16 in Krh / Periode	0	≥	$a_{53}$				$D_{55}$	$D_{56}$	$D_{57}$	$D_{58}$							$-a_{513}$		
Krh für Mineraldüngung		6				1	=	1																
Bilanz der Krh von T 157 / 2		7	Krh	$s_7$	nicht eingesetzte Kapazität des Krans T 157 / 2 in Krh / Periode	0	≥					$E_{74}$	$D_{75}$	$D_{76}$								$-a_{714}$		
Viehbestand		8	GV			$b_8$	=											$E_{89}$						
Formulierung A Streuen ≤ Transport	Stallungsanfall	9	t			0	=											$T_{a99}$	-1					
	Stallungs-transport	10	t	$s_{10}$	nicht transportierter Stallung	0	≤				$T_{a10,4}$	$T_{a10,5}$	$T_{a10,6}$		$T_{a10,8}$				1					
	Stallungsstreu	11	t	$s_{11}$	transp. aber nicht gestreut, Stallung in t	0	≤				$T_{a11,4}$	$T_{a11,5}$	$T_{a11,6}$	$-a_{11,7}$										
Bilanz der Kipper THK 5		12	Krh	$s_{12}$	nicht eingesetzte Kapazität des Kippers THK 5 in Kh / Periode	0	≥						$E_{12,6}$									$-a_{12,5}$		
Bilanz der Hänger T 087 mit D 132		13	Hh	$s_{13}$	nicht eingesetzte Kapazität des Hängers T 087 mit D 132 in Hh / Periode	0	≥							$E_{13,7}$	$E_{13,8}$							$-a_{13,6}$		
Vorgegebene Maschinenkapazität aus dem Orientierungsmodell		14	St.			$b_{14}$	≤																	$E_{14,17}$
Zielfunktion (Kostenminimum)		15	M			Z	=	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$	$C_7$	$C_8$	$C_9$	$C_{10}$	$C_{11}$	$C_{12}$	$C_{13}$	$C_{14}$	$C_{15}$	$C_{16}$	$C_{17}$

zusätzliche Restriktionen

Ergebnisse aus dem Orientierungsmodell der Maschinenkapazitätsplanung  
 ACZ - spezifische Ausgangsdaten  
 Daten hängen von allgemeingültigen Normen ab  $C_{11}$  und  $C_{12}$  sind große Zahlen (z.B. 1000)

Bild 1. Ergänzungsmodell zur Maschinenkapazitätsplanung in ACZ (Matrizenschreibweise)

striktionen in den Formulierungen B und C haben den gleichen ökonomischen Inhalt wie die Koeffizienten in der Formulierung A.

## 6. Die „Ventile“ des Modells

Bei der im Abschnitt 5 dargestellten Formulierung der Bilanzen und den Gleichungen in der 1. und 3. Restriktionsklasse ist das Modell ohne die Aktivitäten  $x_{11}$  und  $x_{12}$  (fiktiver LKW- und Traktoreinsatz) nur dann nicht widersprüchlich, wenn das für die Stallungsausbringung verfügbare Leistungspotential an LKWh und Trh kleiner ist als das zur Stallungsausbringung erforderliche. In diesem Fall ist  $s_{10} > 0$  oder  $s_{11} > 0$  oder  $s_{10} > 0$  und  $s_{11} > 0$ . Andernfalls ist das Modell sowohl bei Anwendung des Minimierungs- als auch des Maximierungsprinzips widersprüchlich. Da jedoch die Relation zwischen dem für die Stallungsausbringung verfügbaren und dem hierfür erforderlichen Leistungspotential vor Berechnung des Modells unbekannt ist, muß das Modell ein „Ventil“ in Form der Aktivitäten  $x_{11}$  und  $x_{12}$  besitzen. Die Aktivitäten  $x_{11}$  und  $x_{12}$  nehmen den Überschuß an Leistungspotential in LKWh bzw. Trh der einzelnen Perioden auf. Die Größen von  $x_{11}$  und  $x_{12}$  sind fiktive Einsatzstunden der LKW bzw.

Traktoren. Die Zielfunktionskoeffizienten  $\hat{c}_{11}^T$  und  $\hat{c}_{12}^T$  dieser Aktivitäten müssen bei Anwendung des Minimierungsprinzips hinreichend groß gewählt werden, damit die Stallungsausbringung mit dem im Modell formulierten Möglichkeiten ( $x_5, x_4, \dots, x_8$ ) billiger ist als diese Aktivitäten  $x_{11}$  und  $x_{12}$ . Bei Anwendung des Maximierungsprinzips sind die Zielfunktionskoeffizienten dieser Aktivitäten Null.

Aus den Lösungswerten für  $x_{11}$  und  $x_{12}$  ist sofort ersichtlich, in welchen Zeitspannen des Jahres und in welchem Umfang noch LKW- und Traktorenkapazität verfügbar ist.

## 7. Die wichtigsten Aktivitätsklassen des Modells

Bisher wurden lediglich die Aktivitäten zur Ermittlung des verfügbaren sowie erforderlichen bzw. nichterforderlichen Leistungspotentials ( $x_1, x_2, x_{11}$  und  $x_{12}$ ) und des Stallungsanfalls ( $x_9$  sowie  $x_{10}$ ) geschildert. Neben diesen Aktivitäten besitzt das Ergänzungsmodell wie das Modell zur Maschinenbesatzplanung zwei grundsätzlich verschiedene Aktivitätsklassen: die Möglichkeiten zur Ausschöpfung des vorgegebenen Leistungspotentials ( $x_4, x_5, \dots, x_8$ ) und die Anzahl der erforderlichen Maschinen und Geräte ( $x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}$ ) zur optimalen Ergänzung der verfügbaren LKW- und Traktorenkapazität.

Mit diesen Aktivitäten sind die im Sinne der Zielstellung besten Möglichkeiten des Einsatzes der verfügbaren LKW- und Traktorenkapazität bei der Stallungsausbringung und die hierfür optimale Kapazität der Ergänzungs- bzw. Komplettierungsmaschinen und -geräte zu bestimmen. Die optimale Anzahl und Auslastung der Ergänzungsmaschinen und -geräte wird im Ergänzungsmodell auf der Grundlage der gleichen Prinzipien ermittelt wie die optimale Anzahl und Auslastung neuanschaffender Maschinen in Modellen der Maschinenbesatzplanung. Die Aktivitäten  $x_4, x_5, \dots, x_8$  können sowohl bei Anwendung des Minimierungs- als auch des Maximierungsprinzips nur mit den variablen Kosten der Arbeiterledigung bzw. des Maschineneinsatzes belastet werden. Die konstanten Kosten der LKW und Traktoren haben keinen Einfluß auf die Lösung, da sie im Ergänzungsmodell mit der Anzahl der LKW und Traktoren als feste Größe vorgegeben sind (vgl. demgegenüber die konstanten Kosten der LKW und Traktoren im Orientierungsmodell<sup>1</sup> [4]). Die konstanten Kosten der Ergänzungsmaschinen und -geräte sind in den Zielfunktionskoeffizienten  $c_{13}, c_{14}, c_{15}$  und  $c_{16}$  dargestellt. In den Vektoren  $a_{5,13}$  und  $a_{7,14}$  sind die maximalen Einsatzstunden je Kran des entsprechenden Typs und in den Vektoren  $a_{12,15}$  und  $a_{13,16}$  die maximalen Einsatzstunden je Kipper bzw. Hänger erfaßt.

Die Tatsache, daß mit dem Ergänzungsmodell insbesondere eine zweckmäßige Ergänzung der freien LKW- und Trak-

toren-Kapazität bei ihrem Einsatz zur Durchführung bestimmter Arbeiten (z. B. Stallungstransport und -streuen) ermittelt werden soll, kommt durch die Formulierung sowohl der Aktivitäten  $x_4, x_5, \dots, x_8$  als auch der Aktivitäten  $x_{13}, x_{14}, x_{15}$ , und  $x_{16}$  zum Ausdruck. Denn die Matrizen  $D_{55}, D_{56}, D_{57}, D_{58}, E_{74}, D_{75}$  sowie  $D_{76}$  enthalten die notwendigen Krh je LKWh bzw. Trh und die Matrizen  $E_{12,6}, E_{13,7}$  und  $E_{13,8}$  die Einsatzzeit der Kipper bzw. Hänger je Trh bei den verschiedenen Möglichkeiten der Stallungsausbringung. In den Restriktionsklassen 5 und 7 werden die Einsatzstunden (Krh) der beiden verschiedenen Kräne einschließlich der mit dem Orientierungsmodell für die Mineraldüngung und den Pflanzenschutz berechneten und im Vektor  $a_{53}$  fixierten Krh bilanziert. In den Restriktionsklassen erfolgt das gleiche bezüglich der Einsatzstunden der Kipper und Hänger.

## 8. Die Ermittlung der Gesamtkosten des Maschineneinsatzes bei Anwendung des Minimierungsprinzips

Hierbei können die Gesamtkosten des Maschineneinsatzes bzw. der Arbeiterledigung gleichzeitig mit der Zielfunktion des Ergänzungsmodells berechnet werden. Deshalb ist im Vektor  $b_{14}$  die mit dem Orientierungsmodell berechnete sowie anschließend aufgerundete LKW- und Traktorenzahl sowie ein Flugzeug vorzugeben [1]. In den Koeffizienten  $c_1, c_2$  und  $c_3$  sind die variablen Kosten des LKW-, Traktor- und Krancinsatzes bei der Mineraldüngung sowie beim Pflanzenschutz und in den Koeffizienten des Vektors  $c_{17}^T$  die entsprechenden konstanten Kosten erfaßt. Im Vektor  $c_{17}^T$  sind außerdem die Gesamtkosten des Flugzeugeinsatzes fixiert. Die Koeffizienten der Vektoren  $c_4^T, c_5^T, c_6^T, c_7^T$  und  $c_8^T$  enthalten demgegenüber die variablen Kosten, die zusätzlich durch den Einsatz der vorgegebenen LKW und Traktoren sowie der Kräne, Kipper und Hänger zum Stallungstransport und -streuen entstehen. In den Koeffizienten  $c_{13}, c_{14}, c_{15}$  und  $c_{16}$  werden die konstanten Kosten der Kräne, Kipper und Hänger ausgewiesen. Der Zielfunktionswert  $Z$  muß dann die gesamten Kosten  $K$  der Mineraldüngung, des Pflanzenschutzes und der organischen Düngung sowie die Größe  $G = \hat{c}_{11}^T \cdot x_{11} + \hat{c}_{12}^T \cdot x_{12}$  umfassen. Die Kosten  $K$  ergeben sich aus  $K = Z - G$ . Diese Differenzbildung ist nach Berechnung des Ergänzungsmodells erforderlich.

## 9. Wesentliche Modifikationen bei Anwendung des Maximierungsprinzips

Bei Anwendung des Maximierungsprinzips ist im Ergänzungsmodell zur Ermittlung der Gesamtkosten des Maschineneinsatzes bzw. der Arbeiterledigung (bei der Mineraldüngung, beim Pflanzenschutz und bei der Stallungsausbringung) eine zusätzliche Restriktion zu formulieren. Die Koeffizienten dieser zusätzlichen Restriktion besitzen bis auf jene der Aktivitäten  $x_{11}$  und  $x_{12}$  den gleichen ökonomischen Inhalt wie die Koeffizienten der Zielfunktion bei Anwendung des Minimierungsprinzips. Die Koeffizienten dieser Aktivitäten sind in der zusätzlichen Restriktion Null.

Während bei Anwendung des Minimierungsprinzips in der Zielfunktion alle Kosten des Maschineneinsatzes erfaßt sind, wird bei Anwendung des Maximierungsprinzips die Differenz aus der Leistung bei der Stallungsausbringung einerseits und den (zusätzlichen) variablen sowie konstanten Kosten der Stallungsausbringung andererseits maximiert. Zu den hier von der Leistung abzuziehenden variablen Kosten gehören lediglich jene variablen Kosten, die durch den Einsatz der vorgegebenen LKW und Traktoren sowie der Kräne, Kipper und Hänger zum Stallungstransport und -streuen entstehen. Zu den von der Leistung abzu-

(Schluß auf Seite 28

Das Agrochemische Zentrum (ACZ) Dessow, Kreis Kyritz, wurde von 30 LPG und 2 VEG als zwischenbetriebliche Einrichtung geschaffen, um entsprechend den Beschlüssen des X. Deutschen Bauernkongresses durch Einführung industriemäßiger Verfahren die Arbeitsproduktivität zu erhöhen und die Kosten zu senken. Das Statut wurde nach eingehenden Beratungen mit den Genossenschaftsbauern in mehreren Delegierten-Versammlungen erarbeitet und durch die Vollversammlung der LPG angenommen.

Als erste Stufe des ACZ wurde ein Düngerlager errichtet. Seit dem 1. Januar 1968 wird sämtlicher Mineraldünger der Betriebe in dieser Gemeinschaftseinrichtung umgeschlagen; zugleich hat das ACZ mit dem Ausbringen des Mineraldüngers begonnen. Der Einsatz der Düngungsbrigade erfolgt vom ACZ aus auf der Grundlage vertraglicher Vereinbarungen mit den LPG und VEG. Vor dem Einsatz wird der Ablauf der Düngerausbringung nochmals mit den Betrieben abgestimmt.

## Standortbedingungen

Die landwirtschaftliche Nutzfläche der beteiligten Betriebe beträgt 18 390 ha mit 12 990 ha Ackerland. Vorherrschend sind Sand-, anlehmige Sand- und sandige Lehm Böden. Auf 55 Prozent der Ackerfläche ist die PK-Vorratsdüngung möglich. Die durchschnittliche Transportferne vom Düngerlager beträgt 9,9 km für das Ackerland (15 Prozent über 15 km) und 11,7 km für das Grünland (20 Prozent über 15 km).

## Lagerung und Umschlag

Den Düngerumschlag im Jahre 1968 zeigt Tafel 1.

Danach sind 9905 t Mineraldünger umgeschlagen worden, von denen 1015 t direkt vom Waggon an die LPG und VEG weitergingen. Der Aufwand für Einlagerung und Auslagerung betrug:

Düngerumschlag	7900 AKh = 0,8 AKh/t
Leitung u. Buchhaltung	1059 AKh = 0,1 AKh/t
Gesamt	8959 AKh = 0,9 AKh/t

Die Kosten für den Umschlag (Tafel 2) betragen 8,52 M/t (Lohnanteil 2,97 M/t bzw. bei Anrechnung der Lohnkosten

für Leitung und Buchhaltung 3,43 M/t). Bei den Kosten ist zu berücksichtigen, daß die Einlagerung erst im Januar begann. Der Umschlag erhöhte sich 1969, so daß mit geringeren Kosten je t zu rechnen ist.

Der Arbeitszeitaufwand für den Düngerumschlag hängt wesentlich von der Beschaffenheit der Dünger ab. Schwierigkeiten bereitet die Verhärtung des Kalkammonsalpeters. So wurden 145 Waggons Kalkammonsalpeter bei Einsatz des T 176 mit einem Aufwand von 0,27 AKh/t entladen und eingelagert. Bei verhärtetem Kalkammonsalpeter stieg der Aufwand auf 0,5 AKh/t an. Noch schwerwiegender ist die Verhärtung im Lager. Bei der Auslagerung verhärteten Kalkammonsalpeters hat sich der Einsatz des T 174 gut bewährt. Die Lieferung von Dünger mit geringer Neigung zur Verhärtung vermindert den Arbeitszeitaufwand bei der Auslagerung wesentlich und wirkt sich entscheidend auf die Steigerung der Arbeitsproduktivität aus.

Die Bestandsveränderung im Düngerlager gibt Bild 1 wieder. Ab Juli wurde der PK-Vorratsdünger ausgebracht, so daß vor allem von August zu September und von Oktober zu November der Lagerbestand sich nur wenig erhöhte.

Insgesamt wurden aber die Möglichkeiten zur PK-Vorratsdüngung nicht ausgeschöpft, weil das ACZ noch nicht über eine ausreichende Streukapazität verfügte und weil infolge der nassen Witterung im Herbst (vor allem im Oktober) wenig Einsatztage zur Verfügung standen.

Die Anwendung der PK-Vorratsdüngung auf allen dazu geeigneten Flächen ist eine wesentliche Aufgabe, um die arbeitswirtschaftlichen Vorteile voll zu nutzen und die Aufnahmefähigkeit des Lagers für die im Winter eingehenden Düngermengen zu erhöhen.

## Düngertransport

Der Düngertransport erfolgte durch die Transportbrigade des ACZ und in Kooperation mit den LPG und VEG. Damit erreichte man eine möglichst gleichmäßige Auslastung der vorhandenen Transportkapazitäten und konnte die Arbeitsspitzen überwinden. 1968 wurde der Düngertransport nicht spezifisch erfaßt. Im Mittel aller Transportleistungen betragen 1968 die Selbstkosten 4,46 M/t.

## Düngerausbringung

Die PK-Düngung konnte im ersten Jahr von der Brigade des ACZ noch nicht vollständig übernommen werden. Einen Teil brachten LPG und VEG aus. Damit ist besonders im zeitigen Frühjahr die noch in den Betrieben vorhandene Technik genutzt und die Arbeitsspitze im Frühjahr schneller überwunden worden. Stickstoffdünger bringen die Betriebe selbst aus.

Die 1968 mit PK abgedüngten Flächen sind in Tafel 3 zusammengestellt. Die mit den LPG und VEG vereinbarten Termine wurden eingehalten. Hinzu kommen 6620 ha Kalkdüngung. Damit erfüllte man die Anforderungen der Betriebe an die Kalkung. Es standen für die PK-Düngung zwei „Dessower“ Streuer und ab Februar ein LKW W 50 mit Streuaufsatz D 032 zur Verfügung. 1969 wurden mit drei Streu-LKW — bereits bis zum 25. Mai — 3297 ha abgedüngt. Die ermittelten Kennwerte sind in Tafel 4 und 5 zusammengefaßt. Die Transportgeschwindigkeit nimmt mit der Feldentfernung zu, weil mehr auf Straßen und weniger auf Feldwegen gefahren wird. Sie betrug im Bereich unter 3 km 15,9 km/h, im Bereich von 7 bis 9 km 22,9 km/h und

(Schluß von Seite 25)

ziehenden konstanten Kosten zählen lediglich die konstanten Kosten der zusätzlichen Kräne, Kipper und Hänger sowie ihrer Zusatzeinrichtungen. Die variablen Kosten des LKW-, Traktoren- und Kraneinsatzes zur Mineraldüngung und zum Pflanzenschutz sowie die konstanten Kosten der LKW und Traktoren sowie die der zur Mineraldüngung erforderlichen Kräne sind bei Anwendung des Maximierungsprinzips nicht in der Zielfunktion des Ergänzungsmodells dargestellt. Damit sind bei Anwendung des Maximierungsprinzips in der Zielfunktion nur die Koeffizienten der Vektoren  $c_4^T$ ,  $c_5^T$ ,  $c_6^T$ ,  $c_7^T$  und  $c_8^T$  größer als Null (Differenz zwischen Leistung und variablen Kosten). Die Koeffizienten  $c_{13}$ ,  $c_{14}$ ,  $c_{15}$  und  $c_{16}$  sind kleiner als Null (konstante Kosten). Alle anderen Koeffizienten der Zielfunktion sind Null.

## Literatur

- [1] BADEWITZ, S.: Modellsystem zur Maschinen- und Lagerkapazitätsplanung agrochemischer Zentren. Deutsche Agrartechnik (1970) H. 4, S. 16

\* Institut für Mineraldüngung Leipzig der DAL, Zweigstelle Potsdam  
\*\* Agrochemisches Zentrum Dessow