

Die Planung des Traktorenbedarfs für den Landwirtschaftsbetrieb mit Hilfe der linearen Optimierung

Dr. A. KASTEN*
Dipl.-Landw. W. WEBER**
Dipl.-Wirtsch.-Math. S. SCHMUNTZSCH***

Je mehr in VEG und LPG beim planmäßigen Übergang zu industriecähnlichen Produktionsmethoden die lebendige Arbeit durch die vergegenständlichte ersetzt wird, desto mehr Aufmerksamkeit verdient der ökonomische Nutzeffekt der Mechanisierung. Im Rahmen der Mechanisierungsplanung erfordert die Bestimmung des Traktorenbedarfs besondere Sorgfalt. Einerseits muß die Schlagkraft des Betriebes gesichert sein - die Arbeiten sollen zum günstigsten Zeitpunkt erledigt werden -, andererseits sind möglichst geringe Kosten für die Durchführung der Arbeiten anzustreben. Das wird im Normalfall verbunden sein mit einer gleichmäßigen, hohen Auslastung aller Traktoren über das ganze Jahr.

Die Planung des Traktorenparcs wird durch die Vielzahl der Typen und der Zugkraftklassen sowie die spezifische Eignung einiger Typen für ganz bestimmte Arbeitsarten sehr erschwert. Bei der Planung sind die auf die Zusammensetzung des Bestandes integrierend wirkenden Kräfte weitestgehend zu berücksichtigen. Dazu gehören die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten der meisten Traktoren und die sich ergänzenden Arbeitsansprüche der einzelnen Betriebszweige innerhalb der Zeitspannen und zwischen ihnen. Da der Umfang der Betriebszweige in der Regel vor der Mechanisierungsplanung bestimmt worden ist und damit bereits die zu erledigenden Arbeiten festliegen, beschränkt sich die sekundäre Planung des Traktorenbedarfs auf die Bestimmung von Traktorenzahl und Zugkraftklasse. Im folgenden werden wir mit 4 Traktorentypen, stellvertretend für die 4 Zugkraftklassen 2,0 - 1,4 - 0,9 und 0,6 Mp, rechnen.

Die herkömmlichen Verfahren zur Ermittlung des Traktorenbedarfs sind Probiertlösungen. Zuerst werden die von ganz bestimmten Traktorentypen zu erledigenden Arbeiten geplant, dann die übrigen. Die Verschiebung der Arbeitsarten auf noch nicht ausgelastete Traktoren wird durch Übung und Erfahrung sehr erleichtert (WERNER, SCHIEDT u. DECKER [1]). Diesen empirischen, intuitiven Methoden möchten wir eine mathematisch exakte zur Seite stellen. Dabei werden wir die Planung des Traktorenbedarfs unter dem Gesichtspunkt einer minimalen Kostenbelastung für die Betriebe vornehmen. Eine komplexe Lösung dieses Problems wird möglich, wenn wir die Methode der linearen Optimierung anwenden.

Auch bei dieser Methode müssen wir feststellen:

1. Wann sind die Arbeiten durchzuführen?
2. Welche Möglichkeiten der Arbeiterledigung kommen in Frage (Verfahren)?
3. Welche Leistungen der Traktoren und Maschinen sind möglich?
4. Wie hoch sind die Kosten für Traktoristen, Traktoren und Maschinen?

Diese Vorarbeit hat mit größter Sorgfalt zu erfolgen. Die Kosten für die Arbeitskräfte, die Traktoren und die Maschinen ermitteln wir mit Hilfe der von MÄTZOLD und ZIMMERMANN [2] gegebenen Hinweise und Daten. Danach sind die Kosten der Traktoren gegliedert in fixe und variable.

Fixe Kosten entstehen für Abschreibungen, Versicherungen, Garagen und geringwertige Arbeitsmittel, variable Kosten für Kraftstofflagerung und -verbrauch, für Motorenöl, Schmierstoffe und Reparaturen. Die Kosten für die lebendige Arbeit und die Benutzung der Maschinen und Geräte gehören zu den variablen Kosten.

Mit Rücksicht auf die Kapazität der uns zur Verfügung

stehenden Rechenautomaten haben wir bisher nur nach folgenden sechs Zeitspannen geplant:

1. Frühjahrsbestellung (6 Wochen)
2. Hackfruchtpflege (8 Wochen)
3. Früh-Getreideernte (4 Wochen)
4. Spät-Getreideernte (4 Wochen)
5. Früh-Hackfruchternte (einschließlich Mäisenernte) (4 Wochen)
6. Spät-Hackfruchternte (8 Wochen)

Für die Ermittlung des Arbeitsumfangs ist die Kenntnis der Produktionsverfahren (Technologien) des jeweiligen Betriebes erforderlich. Die möglichen Leistungen der Traktoren und Geräte während der einzelnen Zeitspannen sind von betrieblichen Normen oder Richtnormenkatalogen herzu-leiten [3]. Die Kosten können dann nach der Methode von MÄTZOLD und ZIMMERMANN berechnet werden, wenn nicht exakte betriebliche Aufzeichnungen vorliegen.

Der allgemeine Ansatz

Der von uns ausgearbeitete ökonomische Ansatz gilt der Bestimmung:

1. des Traktorenbedarfs für die einzelnen Zeitspannen bei geringstmöglichen Einsatzkosten und
2. der von den verschiedenen Traktoren zu leistenden Arbeitsarten.

Der allgemeine Ansatz lautet:

$$\sum_{k=1}^4 c_k t_k + \sum_{j=1}^n v_j x_j \rightarrow \text{Minimum}$$

Darin sind

- k (1...4) Zugkraftklasse
- t_k Anzahl Traktoren der Klasse k
- c_k fixe Kosten je Traktor der Klasse k im Jahr
- v_j variable Kosten je x_j
- j (1...n) Arbeit mit Traktor bestimmter Zugkraftklasse in bestimmter Zeitspanne, (n = 213)
- x_j Anzahl Traktoren für Arbeit j

Die Nebenbedingungen sind:

- t_k ≥ 0
- x_j ≥ 0
- b_i Mindestforderung für Arbeitsumfang und Traktorenbedarf
- i = 1...m, (m = 119)

$$\sum_{k=1}^4 a_{ik} t_k + \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq b_i$$

Im Ergebnis erhalten wir neben dem Kostenminimum:

- x_j
- t_k
- y_i (aus b_i entstanden).

Der Umfang solcher Aufgaben wird recht groß. Im folgenden Beispiel mußten wir mit einem Ungleichungssystem arbeiten, das aus insgesamt 119 Zeilen und 213 Spalten bestand.

Anwendung in der Praxis

Für die Abteilung Wendelstein des VEG Saatzucht Memleben/Unstrut wurde der Traktorenbedarf nach unserem

Tafel 1. Das Anbauverhältnis der Abteilung Wendelstein des VEG Saatzucht Memleben/Unstrut (in % der Ackerfläche)

Wi.-Weizen	18,3	Zuckerrüben	9,6
Wi.-Gerste	9,6	Futterrüben	1,4
Hafer	4,8	Luzeerne	9,6
Futtererbsen	14,4	Silomais	8,3
Ackerbohnen	3,9	Feldfutter	8,6
Rübensamen	3,9	Wi.-Zwischenfrucht	8,3
Wieserispe	7,7	Stoppelsaat	9,6
Ackerfläche insgesamt 520 ha, Grasland 97 ha = LN 617 ha			

* Forschungsgruppe Helme-Unstrut (Leiter: Dr. A. RUDOLPH)

** VEG Memleben (Direktor: Dr. A. SPENGLER)

*** Institut für Ökonomik sozialistischer Landwirtschaftsbetriebe, Universität Halle (Direktor: Dr. P. STOPPORKA)

Ansatz berechnet.¹ Größe und Anbauverhältnis dieser Abteilung sind aus Tafel 1 zu ersehen.
In Tafel 2 werden auszugsweise die Zusammenstellung der zu erledigenden Arbeiten in der Frühjahrsbestellung gezeigt

¹ An dieser Stelle bedanken wir uns bei den Mitarbeitern des Rechenzentrums der Staatlichen Plankommission in Berlin für tatkräftige Unterstützung.

Tafel 2
Daten zur Planung des Traktorenbedarfs für die Abt. Wendelstein (617 ha LN) VEG Saatzucht Memleben

Arbeitsarten Frühjahrsbestellung (3/11+4/1+4/11)	[ha]	Zeitliche Begrenzung einiger Arbeitsarten [h]				Flächenleistung [ha/h]				Variable Kosten der Arbeitsgänge [MDN je h]			
		Traktorentypen und				Mp-Klassen							
		KS	MTS-5	RS 14	RS 09	KS	MTS-5	RS 14	RS 09	KS	MTS-5	RS 14	RS 09
1 Schleppen	242	2,0	1,4	0,9	0,6	2,0	1,4	0,9	0,6	2,0	1,4	0,9	0,6
2 Schleppen mit Reifenschleppe	98					1,91	1,91				8,00	7,30	
3 Düngerstreuen mit D 385	423			300		1,225	1,14				14,40	14,00	
4 Dünger fahren	568			300		3,33	3,33				7,70	6,95	
5 Bodenkombinator	260					0,75	0,463			23,05	13,40		
6 Eggenkombination	142					3,00	2,19			19,40	12,90		
7 Drillen	197			400		1,525	1,275	1,275	0,775	26,10	16,30	15,80	11,60
8 Walzen	191						2,39	2,1	1,425		11,90	10,85	11,75
9 Einzelkornsaat	50								1,0				12,10
10 Markieren für Samen-träger	20			400			0,294	0,294				8,90	7,90
11 Feingrubber	57					1,00	1,00				14,15	13,50	
12 Dünger streuen mit D 025	145			300		1,775	1,775				12,20	11,70	
13 Spritzen	160							1,3					11,75
14 Wasser fahren	160					5,00	5,00				8,60	6,95	
15 Striegeln	627					3,825	3,825	2,49			9,80	8,60	9,05
16 Wiesen walzen	98					0,513	0,45				10,25	8,90	
17 Eggen	50					2,94	2,625				11,35	10,70	
18 Stecklings-transport	20					0,909	0,909				8,50	6,85	
Fixe Kosten [MDN]		3629	2100	1876	1657								
Verfügbare Einsatzstunden		400	450	450	300								

Tafel 3
Verkürzte Matrix

Basisspalte MDN Z min	0 →	KS 07 3629	MTS-5 2100	RS 14 1876	RS 09 1657	KS 07 Schleppen 8080	KS 07 Bodenkomb. . . . n = 213 9220
Frühjahrsbest. ha Schleppen	242					1560	
ha Bodenkomb.	260						300
KS 07	0	+ 1					- 1
MTS-5	0		+ 1				
RS 14	0			+ 1			
RS 09	0				+ 1		
m = 119							

Tafel 4
Traktorenbedarf der Abt. Wendelstein, VEG Saatzucht Memleben/Unstrut

(x)	Zeitabschnitt und Arbeitsart	Arbeits- umfang [ha]	Minimum der Kosten des Traktoreneinsatzes (355,16 MDN je ha LN)				Kostenerhöhung um . . . MDN je Arbeitsart bei Einsatz folgender Traktorentypen:			
			Benötigte Traktoren je Arbeitsart [Stück]				KS 07	MTS-5	RS 14	RS 09
I. Frühjahrsbestellung										
1 Schleppen		242	0,155							
2 Schleppen mit Reifenschleppe		98		0,113			35,59			
3 Dünger streuen mit D 385		423			1,149			22,97		
4 Dünger fahren		568			0,568		127,80			
5 Bodenkombinator		260			4,250		453,34			
6 Eggenkombination		142			0,144		81,38			
7 Drillen		197			0,386		930,20	77,24	501,01	
8 Walzen		191			0,178			35,27	621,54	
9 Einzelkornsaat		50				0,167				
10 Markieren für Samen-träger		20				0,227				
11 Feingrubber		57			0,127		36,98		64,72	
12 Dünger streuen mit D 025		145			0,273		40,88			
13 Spritzen		160				0,410				
14 Wasser fahren		160			0,071		52,83			
15 Striegeln		627			0,364		196,72		868,87	
16 Wiesen walzen		98			0,485		13,58			
17 Eggen		50			0,038			10,80		
18 Stecklingstransport		20			0,049		36,33			
insgesamt			0,155	2,759	2,436	0,804				
II. Hackfrucht-pflege-Heuernte, insgesamt				0,754	4,197	1,398				
III. Früh-Getreideernte, insgesamt					2,385					
IV. Spät-Getreideernte, (bestimmt den Bedarf), insgesamt			0,724	3,046	5,722	1,398				
V. Früh-Hackfruchternte, (bestimmt den Bedarf)				3,044	5,496	1,297				
VI. Spät-Hackfruchternte, (bestimmt den Bedarf)				3,045	5,721					

und die verschiedenen Möglichkeiten aufgeführt, sie zu bewältigen. Analog wird in den übrigen Zeitspannen verfahren. Um die Leistungskapazität der Traktoren in den einzelnen Arbeitszeitspannen zu ermitteln, mußte zunächst die maximale Einsatzdauer jeder Maschine bestimmt werden. Da ein landwirtschaftlicher Betrieb in den Arbeitsspitzen nicht ohne Schichtarbeit auskommt, wurde die maximale Einsatzzeit

eines Traktors mit monatlich 300 h zugrunde gelegt. Dieser Wert konnte für alle Arbeitszeitspannen angesetzt werden, da sich der Traktorenbedarf ja ohnehin nach dem Bedarf in den Arbeitsspitzen richten muß und beim Ansatz der Aufgabe noch nicht zu erkennen ist, wann die Arbeitsspitzen auftreten. Für einige Arbeiten wurde die Möglichkeit der Zweischichtenarbeit eingeschränkt, wie z. B. für Heu wenden und schwaden, Stroh und Heu räumen, Drillen und Dünger streuen. Die beiden letztgenannten Arbeitsarten werden fast ausschließlich in den Monaten früh einbrechender Dunkelheit ausgeführt, wodurch Qualitätsarbeit sehr erschwert wird.

Weiterhin haben wir die Einsatzzeit der einzelnen Traktorentypen differenziert. Kettentraktoren und Geräteträgern wurde je Arbeitszeitspanne eine geringere Zahl an Einsatzstunden vorgegeben, um den höheren Reparaturanteil zu berücksichtigen.

Die *Stallungsausfuhr* blieb unberücksichtigt, da wir unterstellt haben, daß sie während der arbeitsarmen Zeit vorgenommen wird. Ein Ausgleich ist auch dadurch gegeben, daß keine Transporte für LKW vorgesehen sind. Das gilt sowohl für den Transport der Körnerfrüchte als auch für den Transport der Zuckerrüben zur Zuckerfabrik.

Die Kriterien für die Bestückung eines Betriebes mit LKW sind bislang nur in geringem Maße durch die Arbeiten in der Feldwirtschaft gegeben. Der LKW-Besatz blieb deshalb unberücksichtigt.

Wenn wir die Daten aus Tafel 2 in Matrizenform zusammenstellen, erhalten wir ein Ungleichungssystem mit 119 Zeilen und 213 Spalten. Die Werte wurden von uns auf Übertragungsformulare geschrieben und dann zum Lochen und Rechnen ins Rechenzentrum gegeben. Für den Fall, daß später für andere Abteilungen und Betriebe mit den gleichen Normen weiter gerechnet werden soll, brauchen diese nicht wieder zur Dateneingabe vorbereitet zu werden. Es genügt dann, wenn die Basisspalte mit dem neuen Arbeitsumfang eingegeben wird. – Die sehr stark verkürzte Matrix (Ansatz) stellen wir in Tafel 3 dar.

Das Ergebnis

Der Lösungsvektor wurde nach etwa 20 Rechenstunden ausgedruckt. Danach wissen wir, welche Arbeitsarten von welchen Traktoren ausgeführt werden sollen, wieviel Traktoren der verschiedenen Zugkraftklassen in den einzelnen Zeitspannen benötigt werden und welche Kosten entstehen. Außerdem erfahren wir, um welche Geldbeträge sich die Gesamtkosten ändern, wenn die Arbeit eines Traktortyps von einem anderen übernommen wird.

In Tafel 4 stellen wir das Ergebnis des Rechengangs wieder am Beispiel der Frühjahrsbestellung zusammen.

Die Angabe der erforderlichen Traktoren für die verschiedenen Arbeiten erweist sich als sehr vorteilhaft. Je größer die Differenzen zwischen den je Arbeitsart benötigten Traktoren und der Gesamtzahl der einzusetzenden Traktoren je Arbeitszeitspanne ist, um so sicherer und schlagkräftiger erscheint die termingerechte Durchführung der Arbeit. Die Arbeitserledigung wird um so kritischer, je mehr sich die Zahl der benötigten Traktoren je Arbeitsart dem Bedarf der Zeitspanne mit der höchsten Auslastung nähert. Von großem Interesse ist auch die Kostenerhöhung bei einer Arbeitserledigung durch Traktoren, die nicht in der Optimallösung erscheinen. Darüber geben die rechtsstehenden Zahlenreihen in Tafel 4 Auskunft. Die Informationen des Automaten gestatten somit eine elastische Planung des Traktorenbedarfs unter Berücksichtigung besonderer betrieblicher Gegebenheiten und erleichtern die Entscheidung über den endgültig zu erreichenden Traktorenbestand.

Die Arbeitsspitze während der Spät-Getreideernte bestimmt selbstverständlich den Traktorenbedarf. Bis auf den Kettentraktor sind alle Traktoren während drei Zeitspannen aus-

gelastet. Der teure Kettentraktor wird infolge seiner hohen Kosten kaum in Anspruch genommen. Wenn wir die ermittelten Bedarfszahlen aufrunden und dabei etwa 20 % zuschlagen, weil wir mit Leistungsnormen gerechnet haben, erhalten wir folgenden Traktorenbedarf, den wir mit dem derzeitigen Bestand vergleichen:

Traktortyp	errechneter Bedarf	vorhandener Bestand
KS 07	1	2
Tandem	–	1
MTS 5	3	1
Zetor 50	–	1
Pionier	–	1
RS 14	7	5
RS 09	2	3

Die Kosten der Arbeit mit den von uns ermittelten Traktoren belaufen sich auf 358 MDN je ha LN für Traktoristen, Traktoren und Maschinen. Die Orientierung auf die für die einzelnen Arbeitsarten leistungsstärksten Zugkraftklassen sichert eine Senkung der Kosten. Die gute Übereinstimmung zwischen dem errechneten Bedarf und dem vorhandenen Besatz spricht für die gute Organisation der technischen Basis im VEG Memleben.

Die Kosten der Ermittlung des Traktorenbedarfs mit Hilfe eines Elektronenrechners sind noch sehr hoch. Allein die hohe Zahl der Rechenstunden beweist aber, wieviel Rechenoperationen notwendig sind, um eine solche Aufgabe zu bewältigen und wie unmöglich die kombinierte Planung des Traktorenbedarfs bei Kostenminimum mit herkömmlichen Methoden ist. Da wir mit Leistungsnormen rechnen, können wir das Aufrunden der Rechenergebnisse verbinden mit der notwendigen Kalkulation von Zuschlägen.

Es erscheint durchaus lohnend, für gut geleitete größere Betriebe derartige Rechnungen durchführen zu lassen; denn die Einsparung eines Traktors oder die Verlagerung der Arbeiten innerhalb der Zugkraftklassen und auch die Bestimmung der anzustrebenden Reparaturzeiten wird die Ausgaben für das Rechenzentrum schnell wettmachen. Außerdem liefern derartige Berechnungen wertvolle Informationen für das Bauprogramm der Traktoren-Industrie, die zu einer optimalen Struktur des Zugkraftklassenangebots führen können.

Zusammenfassung

Die zunehmende Mechanisierung der Landwirtschaft verlangt einen möglichst ökonomischen Einsatz von Arbeitskräften, Traktoren und Geräten, um eine hohe Arbeitsproduktivität zu erreichen.

Die mathematische Methode der linearen Optimierung erlaubt eine Planung des Traktorenbedarfs unter gleichzeitiger Berücksichtigung höchstmöglicher Auslastung und minimaler Kosten des Einsatzes. Die Planung des Traktorenbedarfs mit Hilfe der linearen Optimierung wird nach Arbeitsarten innerhalb von sechs Zeitspannen vorgenommen. Die Kosten des Traktoreinsatzes werden in fixe und variable unterteilt. Aus dem Ergebnis kann man den Traktorenbedarf nach Typen während der einzelnen Zeitspannen und die von ihnen durchzuführenden Arbeitsarten ablesen sowie die Auslastung erkennen.

Literatur

- [1] WERNER, K./E. SCHIEDT/R. DECKER: Perspektivplanung in den Landwirtschaftlichen Produktionsgenossenschaften eines MTS-Bereichs. Deutscher Bauernverlag, Bln. 1959
- [2] MÄTZOLD, G./E. ZIMMERMANN: Methodische Hinweise und Richtwerte für die Kalkulation von Verfahrenskosten. In: Schriftenreihe des Inst. f. Landwirtschaft beim Bezirkslandwirtschaftsrat des Bez. Karl-Marx-Stadt, II. 5, 1964
- [3] FINZEL, R./K. SIEGMEYER u. a.: Richtnormenkatalog für Arbeiten mit Traktoren in VEG. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag

A 6240