

Anhand praktischer Berechnungen in Iterationsschritten wird im folgenden versucht, das sogenannte klassische Transportproblem zu erklären, für landwirtschaftliche Probleme heranzuziehen und die Aufbereitung zum Berechnen mit Hilfe der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) zu erläutern, soweit das für breites Verständnis zur Einführung notwendig erscheint.

Von besonderem Interesse dürften in diesem Zusammenhang Kosten-, Entfernungs- und Zeitminimierungen einerseits, maximale Rentabilität andererseits sein.

**Mathematisierung hilft Probleme lösen**

Das Aufsuchen von Vergleichswerten, von Parametern ist die Voraussetzung, um Probleme mathematisch formulieren und erfolgreich berechnen zu können.

Die Fachzeitschrift sieht eine Aufgabe darin, durch praxisnahe Beispiele des Berechnens Impulse zu eigenem Nachdenken über die Anwendung theoretischer Kenntnisse zu geben. Wo beispielsweise finden sich Aufgaben in der Landwirtschaft, deren tägliche Erfüllung mehr denn je wissenschaftliche Methoden erfordert?

Die Verteilung des Saatgutes, der Düngemittel u. a. ist mit Zeit-, Weg- und Kostenproblemen gekoppelt; das Minimieren ist hier ökonomisches Erfordernis, man fragt nach dem geringsten Aufwand. Andererseits interessieren in der Optimalrechnung u. a. der höchstmögliche gesellschaftliche Nutzen, der Ernteertrag, der maximale Nährwert von Futtermischungen.

Daten sind laufend Änderungen unterworfen. Es gilt aber nicht nur, sie exakt und schnell zu erfassen, sondern sie sollen im prognostischen Sinne so verwertet werden, daß die praktischen Auswirkungen in ihrer Zeit Fortschritt bedeuten. Wie anders ist das möglich als durch die Bereitschaft zu ständiger Qualifizierung, durch die Freude am Denken, an schöpferischer Initiative aller?

**Beispiel einer Minimierung**

Von verschiedenen Lieferstellen A bis D (Keller, Mieten, Speicher usw.) sind Saatkartoffeln nach den Feldern 1 bis 5 zu transportieren. Mit Rücksicht auf den Kostenaufwand soll die zu überwindende Gesamtstrecke so gering als irgend möglich gehalten werden. Mathematisch übersichtlich werden in der in Tafel 1 dargestellten Matrix, einem Zahlenrechteck, die zur Berechnung benötigten Daten zusammengestellt.

**Lösung:**

Im Prinzip gilt es, den geringeren Transportentfernungen die größere bzw. größtmögliche Menge Saatkartoffeln zuzu-

Tafel 1. Ausgangsmatrix zur Entfernungsminimierung

Felder:		1	2	3	4	5	Liefermengen in t
		alles in km					
Speicherplätze	A	4	18	9	14	13	20
	B	2	1	10	16	6	45
	C	3	12	17	20	5	37
	D	11	19	7	8	15	15
Bedarf in t		13	17	54	20	13	117

Liefersgesamtmenge = Bedarfsgesamtmenge

	0	-1	8	11	4	t
1	3	18	(20)	2	8	20
2	(13)	(17)	(2)	-3	(-19)	45
3	-6	4	(17)	(-20)	-8	37
4	12	21	(15)	-2	12	15
	13	17	54	20	13	117

Bild 1. Matrix der ersten Transportverteilung, Erläuterung im Text

schreiben. Immer sind dabei die Zeilen- und Spaltenmengen zu beachten. Sind diese „erschöpft“, kommen alle damit gekoppelten, noch nicht mit einer Kartoffelmenge belegten Stellen für eine Belastung auch nicht mehr in Frage. Nach dieser „Faustregel“ wurde die Matrix in Bild 1 zusammengestellt. Dabei interessieren zunächst die umkreisten, belegten Stellen. Sie enthalten die zu transportierenden Mengen und als Hochzahl die Entfernungen zwischen Speicherplatz und Feld, die Bedeutung der Zeilen und Spalten stimmt mit der in Tafel 1 überein.

Die beanspruchten Stellen des Matrixmittelfeldes sind umkreist und enthalten als Hochzahlen die Distanzen, die für das Ermitteln der am linken und auf dem oberen Rechteckrand befindlichen Potentialzahlen von Bedeutung sind.

Eine dieser beiden Potentialzahlen ist jeweils beliebig wählbar, die andere ergibt sich als Differenz aus dem Exponent der im Schnittpunkt der betrachteten Zeile und Spalte stehenden umkreisten Stelle und der bereits gewählten Potentialzahl. Das soll noch am Beispiel der 2. Zeile der Matrix erläutert werden.

Die belegte Stelle B...1 enthält als Hochzahl (= Entfernung) 2. Wir wählen für den Ordinaten-„Kopf“ am oberen Rechteckrand 0. Damit sich in der Summe 2 ergibt, muß 2 dazugezählt werden; das ist der am linken Rand als Potentialzahl angegebene „Abszissen-Kopf“. Abszisse und Ordinate schneiden sich also bei Stelle B...1 mit der Hochzahl 2. Auf der Abszisse mit dem „Kopf“ 2 (als Potentialzahl für diese Zeile) sind außerdem noch die Stellen B...2, B...3, B...5 belegt, die entsprechenden Entfernungen sind 1, 10 und 6 km. Als Ergänzung der waagrecht wirkenden Potentiale 2 zu diesen Exponenten ergeben sich die oberen, zugehörigen Potentialzahlen zu -1, 8, 4.

**Wozu sind die Potentialzahlen nötig?**

Mit ihrer Hilfe ist es möglich, schrittweise zu optimieren. In unserem Falle bedeutet das ein laufendes Forschen nach dem größten Minuswert bei den nichtbelasteten Stellen. Wenn sich kein Minuswert mehr ergibt, ist das Optimum der Minimierung erreicht. Später zeigt ein Maximierungsbeispiel, daß nach dem größten Pluswert in analoger Weise zu suchen ist. Der weitere Auswertungsprozeß ist bei Minimierung und Maximierung gleich.

Eine Bedingung ist jedoch in beiden Fällen zur Durchführung der rechtwinkligen Umläufe zum Belegungsaustausch genau zu beachten; es muß die Forderung  $m + n - 1$  erfüllt sein. Dabei bedeuten: m Zeilenanzahl, n Spaltenanzahl der belegten Stellen. Notfalls müssen zusätzlich Stellen mit 0 belegt und umkreist werden.

Die Summe der zu einer unbelagten Stelle gehörigen Potentialzahlen wird von dem Wert dieser Stelle in der Anfangsmatrix (Tafel 1) abgezogen. Bei der ersten Stelle ergibt sich beispielsweise dazu die Aufgabe:

$$4 - (1 + 0) = 3.$$

Dieser Wert wird dann an der entsprechenden Stelle in Bild 1 eingetragen.

Der „größte“ Minuswert ist an der Stelle C...5 mit -8 zu entdecken und dort ist der Aus- und Eingang eines rechtwinkligen Umlaufes, dessen Ecken (und evtl. auch Winkel) beringte Stellen darstellen müssen. Er verläuft jeweils nur in einer Form; es gibt also keine Varianten. Im Wechsel werden diese Stellen mit Plus- und Minuszeichen versehen. Der niedrigste Pluswert an t in den beringten Eck- bzw. Winkelstellen wird nun zum „Wandern“ gebracht; von beringten Stellen mit Pluszeichen wird er abgezogen, bei denen mit Minus-Marke zugezählt. Auf den Geraden der Umlaufstrecken (d. h., nicht an Eck- oder Winkelstellen) liegende Ringstellen ändern ihre Werte nicht. An die Ein- und Ausgangsstelle des Belegungsaustausches wird der zum „Wandern“ gebrachte Wert gesetzt.

Die t-Summen am rechten und unteren Matrixrand dürfen sich nicht ändern. Der Umlaufein- und -ausgang wird in der neuen Matrix beringt, die Stelle mit dem niedrigsten Pluswert an t im Austauschrechteck erscheint neu unberingt und unbesetzt. In analoger Weise entstanden die Matrizen in

a)	2	1	10	13	-2
-1	3	18	(20) <sup>9</sup>	2	16
0	(13) <sup>2</sup>	(17) <sup>1</sup>	(15) <sup>10</sup>	3	8
7	-6	-4	(4) <sup>20</sup>	(13) <sup>5</sup>	
-3	12	21	(15) <sup>7</sup>	-2	20
b)	2	1	10	19	4
-1	3	18	(20) <sup>9</sup>	-4	10
0	(13) <sup>2</sup>	(17) <sup>1</sup>	(15) <sup>10</sup>	-3	2
1	(4) <sup>3</sup>	10	-6	(20) <sup>20</sup>	(13) <sup>5</sup>
-3	12	21	(15) <sup>7</sup>	-8	14
c)	3	10	19	20	5
-10	11	18	(20) <sup>9</sup>	4	18
-9	8	(17) <sup>1</sup>	(28) <sup>10</sup>	5	10
0	(13) <sup>3</sup>	2	-2	(11) <sup>20</sup>	(13) <sup>5</sup>
-12	20	24	(6) <sup>7</sup>	(9) <sup>19</sup>	22
d)	3	8	17	20	5
-8	9	18	(20) <sup>9</sup>	26	16
-7	6	(17) <sup>1</sup>	(28) <sup>10</sup>	3	8
0	(13) <sup>3</sup>	4	(17) <sup>6</sup>	(5) <sup>20</sup>	(13) <sup>5</sup>
-12	20	23	2	(15) <sup>8</sup>	22

Bild 2. Veränderte Form der Matrix nach dem jeweiligen Schritt zur Minimierung

Tafel 2. Minimierungskontrolle (in t · km)

a)	b)	c)	d)
180	180	180	180
26	18	17	17
17	17	280	280
150	190	39	39
68	12	220	102
400	400	65	100
65	65	42	65
105	105	72	120
1011	987	915	903

Tafel 3. Günstigste Verteilung in bezug auf die Transportentfernung

Lieferstelle	Liefermenge in t	Empfänger
A	20	3
B	17	2
B	28	3
C	13	1
C	6	3
C	5	4
C	13	5
D	15	4

Bild 2, bis kein Minuswert beim Abzug der jeweils beiden, immer neu gewählten, zugehörigen Potentialzahlen vom ersten Stellenwert (km) nach Tafel 1 mehr entsteht.

Unter Umständen kann mit sehr wenig Iterationsschritten das Optimum erreicht werden, manchmal ist aber ein Rechner angebracht.

Summiert man zur Minimierungskontrolle die t-Werte mal km-Werte der umringelten Stellen in Bild 2, so ergibt sich die in Tafel 2 dargestellte Übersicht.

Durch die Minimierung konnte von einem hier aus Platzgründen nicht nachgewiesenen Maximalwert, den man u.-U. ohne Wissen um die Optimierungsmethode zufällig bei willkürlicher Verteilung „erwischt“ haben könnte, um (1685 - 903 = 782) tkm reduziert werden.

### Schlußfolgerung

Es sind die geringsten Transportgesamtentfernungen zu überwinden, wenn die Verteilung gemäß Tafel 3 erfolgt. Das Beispiel zeigt die Art des Vorgehens und sollte zur stärkeren Anwendung mathematischer Methoden in der Landwirtschaft anregen.

### Literatur

- /1/ GILDE/ALTRICHTER: Die optimale Lösung. Urania-Verlag Leipzig/Jena/Berlin
- /2/ BLUMENTHAL, B.: Die Anwendung math. Methoden in der Wirtschaft. B. Teubner Verl.-Gesellschaft Leipzig A 7789

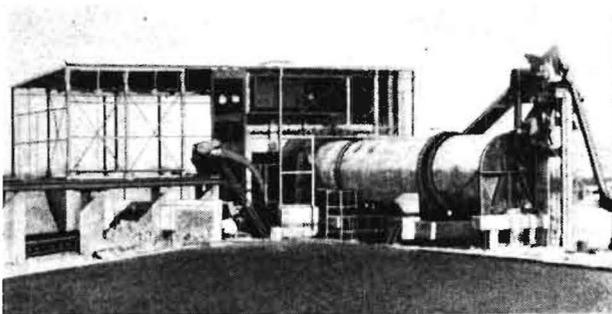


Bild 1. Rheinstahl-Müllkompostierungsanlage

## Neue Müllkompostierungsanlage

Die westdeutsche Firma Rheinstahl errichtete im Ausland eine neue Müllkompostierungsanlage, die seit Anfang 1970 täglich 100 t Müll zu hochwertigem Kompost verarbeitet.

In der nach dem Rheinstahl-Verfahren arbeitenden Anlage (Bild 1) wird der angelieferte Müll zunächst grob vermahlen und unsortiert der Gärtrömmel zugeführt. Lediglich Metallteile werden magnetisch ausgeschieden. In der Gärtrömmel wird durch die dauernde Drehbewegung der Müll bzw. das Müll-Klärschlamm-Genisch bei gleichzeitigem biologischem Abbau der organischen Stoffe homogenisiert. Begünstigt durch eine neuartige Trommelbelüftung, bei der die einströmende Frischluft mit allen Teilen des stetig umgewälzten Trommelinhaltes in Berührung kommt, geht der biologische Abbau vor sich. Der vorfermentierte, hygienisch vollkommen einwandfreie Trommelinhalt wird in konzentrischen Drehsieben, die an die Trommel angebaut sind, gesiebt, die noch vorhandenen Hartreste werden in einer Feinmühle pulverisiert, und das Produkt verläßt die Anlage als sofort gebrauchsfertiger Frischkompost. Zum Ausreifen wird er noch einer Nachreife von drei bis sechs Wochen unterworfen. A 7966

## Tödlicher Unfall infolge mangelnder Kenntnis der Bedienungsanleitung

Jeder Hersteller von Maschinen übergibt dem Käufer eine Bedienungsanleitung und fordert ihn bereits im Vorwort auf, diese Anleitung nicht nur schlechthin zu lesen, sondern exakt durchzuarbeiten und sorgfältig danach zu handeln. Dem Nutzer der Maschine werden in jeder Bedienungsanleitung wichtige Hinweise gegeben, um die Maschine mit hohem, produktivem Nutzen einzusetzen, richtig zu bedienen, zu warten und zu pflegen. Weiter wird in jeder Bedienungsanleitung besonders auf die Arbeitssicherheit hingewiesen, wobei hier bestimmte Arbeitsgänge sowie einzusetzende Materialien und Ersatzteile beschrieben werden. Die Bedienungsanleitungen sind somit als Arbeitsschutzinstruktion zu betrachten, sie sind bei der Belehrung des Bedienungspersonals der Maschinen eine nicht zu entbehrende Grundlage.

Durch ungenügende Kenntnis der gesamten Bedienungsanleitung ereignete sich im Kreis Grimmen ein Unfall mit tödlichem Ausgang an Kartoffelsammelroder E 665/3.

Zum Nachziehen der Schrauben am Flansch des Zwischenstückes zur Spurverbreiterung lag der Maschinist unter der Hinterachse. Die abklappbaren Stützen wurden zu diesem Zeitpunkt nicht mehr genutzt. Nachdem einige Schrauben nachgezogen waren, senkte sich plötzlich die Maschine und der Maschinist wurde zwischen der sich senkenden Achse und dem Erdboden am Kopf eingeklemmt und dabei tödlich verletzt. Von den 8 Bolzen des Flansches waren 6 abgerissen.

Bereits einige Tage vor dem Unfall waren alle Schrauben am Flansch der Spurverbreiterung erneuert worden, es waren aber nicht, wie es der Hersteller der Maschine in der Bedienungsanleitung auf Seite 44 fordert, vergütete Schrauben M 12 x 40 TGL 0931-8 G verwendet worden, wobei speziell darauf hingewiesen ist, daß nur diese Schrauben zum Einbau der Achsverlängerung zu verwenden sind.

Der Maschinist sowie der Traktorist arbeiten seit 1968 mit der E 665/3. Beiden war aber bis zum Unfalltag der Inhalt der Bedienungsanleitung nicht bekannt. Auch die leitenden Kader des Betriebes hatten sich nicht mit der Bedienungsanleitung befaßt. Alle verließen sich auf gesammelte Erfahrungen. Im Zuge der wissenschaftlich-technischen Revolution reichen diese Erfahrungen aber nicht mehr aus, und es ist für jeden Kader Pflicht, sich diese Kenntnisse anzueignen und entsprechend weiterzugeben, die zu einer effektiven und sicheren Arbeit notwendig sind. Hierzu gehört auch das Studium der Bedienungsanleitungen von Maschinen.

Arbeitsschutz-Inspr. K. RICKMANN

A 8160