Marketing-Logistik bei stochastischer Nachfrage

Wolfgang Gaul, Karlsruhe

Zusammenfassung: Will man die Situation untersuchen, wie eine Unternehmung bei stochastischer, sich evtl. auch zeitlich ändernder Nachfrage Produktion, Transport, Lagerung ihrer Güter planen soll, so sind zusätzlich (neben den Kosten für Produktion, Transport, Lagerung) auch solche Kosten zu berücksichtigen, die bei Nichtübereinstimmung zwischen geplantem Güterangebot und tatsächlicher Nachfrage entstehen. Um diese Nichtübereinstimmung gering zu halten, ist das Optimierungsziel die Minimierung der durch die Nichtübereinstimmung entstehenden erwarteten Kosten und des verbleibenden nichtstochastischen Kostenanteils. Innerhalb einer Formulierung als stochastisches Netzwerkproblem kann eine Optimallösung über eine Folge von Flußproblemen angegeben werden. Das Vorgehen wird an einem Beispiel einfachster Form erläutert.

Summary: Examining the situation how a company should plan production, transportation and storage of its goods with respect to stochastic possibly temporally changing demand one has to take into consideration additional (besides those for production, transportation and storage) costs ensueing from the nonconformity between planned offer of goods and actual demand. Trying to keep this nonconformity small the objective is to minimize the expected costs resulting from possible nonconformity and the remaining non-stochastic part of the costs. Within a stochastic network problem formulation an optimal solution is obtained using a sequence of deterministic flow problems. The procedure is explained by means of an example of simplest form.

1. Einführung

Zu Beginn der 70er Jahre wurden verstärkt Logistik-Fragen bei der Güterverteilung behandelt (siehe z.B. die Bücher von Bloech (1970), Eilson/Watson-Gandy / Christofides (1971), Böcker (1972), Poth (1973)), so daß die Frage, ob Marketing-Logistik nur eine amerikanische Modeerscheinung sei (siehe Pfohl (1970)) für den wissenschaftlichen Bereich nur von rhetorischer Bedeutung war. Modellformulierungen in Form von Netzwerkflußproblemen (siehe z.B. Ford/Fulkerson (1962) als meistzitiertes Buch in diesem Bereich) waren schon länger bekannt, viele Diskussionen im betriebswirtschaftlichen Anwendungsbereich befaßten sich mit Fragen der Eignung der vorliegenden mathematischen Modelle zur Beschreibung der Realität, erste Computer-Programme wurden angeboten.

Das anhaltende Interesse an Logistik-Problemen kann durch eine ansteigende Anzahl von Veröffentlichungen (siehe z.B. Buxton (1975), Böcker (1977), Krulis-Randa (1977), Ihde (1978), Tempelmeier (1980) für den Marketingbereich bzw. die die mathematischen Grundlagen stärker betonenden Darstellungen von Bazaraa/Jarvis (1977), Domschke (1981)

Operations Research Proceedings 1982
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1983

Domschke (1982) und die dort zitierte Literatur) belegt werden. Verbindungen zwischen bekannten Operations Research Modellen und Marketing-Logistik Problemen finden sich auch in der allgemeineren Marketingliteratur (siehe z.B. die Bücher von Hammann (1975) und Opitz/Schader (1975)). Dabei fällt auf, daß dem Problem der Berücksichtigung von stochastischer, sich evtl. auch zeitlich ändernder Nachfrage nicht genügend Beachtung geschenkt wurde. Die stochastische Optimierung (siehe z.B. Bühler/Dick (1972), Bühler/Dick (1973) für eine Einführung mit betriebswirtschaftlichen Anwendungen, Kall (1976) für eine die mathematischen Grundlagen stärker betonende Darstellung, Stancu-Minasian/Wets (1976) für einen Oberblick über die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten) kann in diesem Fall auch für Probleme im Marketingbereich, wo eine explizite Behandlung der dynamischen und stochastischen Aspekte der Nachfrage von besonderer Bedeutung ist, mit Erfolg eingesetzt werden. Für die Marketing-Logistik orientiert sich das hier vorgeschlagene Lösungsverfahren an Cleef/Gaul (1980), wo eine Optimallösung für ein stochastisches Flußproblem über eine geeignet gewählte Folge von nicht-stochastischen Flußproblemen berechnet wird.

Eine andere Anwendung der stochastischen Optimierung im Marketingbereich findet man bei Gaul (1981).

2. Stochastische Nachfrage

Logistik-Probleme befassen sich -einfach ausgedrückt- damit, "die richtigen Güter in der richtigen Menge zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitzustellen". Im Marketing spielen dabei Fragen der Wahl des Vertriebssystems (Entscheidung für unternehmenseigene, unternehmensgebundene, selbständige Absatzorgane) und der in den gewählten Absatzwegen auftretenden rechtlichen und wirtschaftlichen Abhängigkeiten eine besondere Rolle. Neben diesem Bereich "Marktkanal" beschäftigt man sich im Bereich "physische Distribution" mit der Behandlung von Standort-, Transport- und Lagerhaltungsproblemen, die die Marketing-Logistik (i.e.S.) ausmachen. Wünschenswert wäre dabei sicherlich eine stärkere Berücksichtigung der stochastischen (und dynamischen) Aspekte der Güternachfrage in den Standardmodellen.

Dem wird in der nachfolgenden Problemformulierung Rechnung getragen. Zur Vereinfachung und besonderen Hervorhebung des Nachfrageeffektes wird in dem zur Motivation benutzten Anwendungsbeispiel auf die Ausgestaltung des Logistik-Modells durch Berücksichtigung von unterschiedlichen Rohstoff-, Betriebsstoff-, Einzelteile - Lieferanten und - Lägern, von unterschiedlichen Produktionsstätten, Zwischen- und End-Lägern etc. verzichtet.

Das Hauptaugenmerk gilt einer sich im Zeitablauf (hier: monatlich) ändernden stochastischen Nachfrage mit bekannter (z.B. aus den Daten früherer Zeitperioden geschätzten) Verteilung, siehe Fig. 1 für eine Darstellung der erwarteten monatlichen Nachfrage. Die Planung des Güterangebots ist i.d.R. abgeschlossen, bevor sich die tatsächliche Nachfrage realisiert. Ein Güterüberangebot kann vielleicht nur teilweise zwischengela-

gert werden, der Rest ist unter Berücksichtigung entsprechender Kompensationskosten weiterzuveräußern oder zu vernichten. Ein Unterangebot verursacht ebenfalls Kompensationskosten, weil bei garantierter Vertragserfüllung bei der Konkurrenz dazugekauft werden muß bzw. weil verärgerte Kunden an die Konkurrenz verloren gehen. Deshalb ist es sinnvoll, daß Güterangebot so zu planen, daß die erwarteten sich aus der Nichtübereinstimmung von Angebot und Nachfrage ergebenden Kompensationskosten und der verbleibende Kostenanteil (für Produktion, Transport, Lagerung etc.) minimiert werden.

Dieser als Kompensationsmodell der stochastischen Optimierung bekannte Ansatz (siehe [6], [16]) kann zur Flexibilität der Planungen im Marketing-Logistik Bereich beitragen und in komplexere Logistik-Modelle eingebaut werden.

3. Logistik-Modell

Zur Beschreibung des Logistik-Modells werden graphentheoretische Notationen benutzt. Den Punkten und Kanten des benutzten Graphen entsprechen in geeigneter Weise die Produktions-, Lagerungs- und Nachfragemöglichkeiten des konkreten Problems, siehe z.B. Fig. 2. Sei

$$G = (P,K,f)$$

der zugrundeliegende (endliche, gerichtete, schwach zusammenhängende) Graph mit Punktmenge P, Kantenmenge K und Inzidenzabbildung $f = (f^1,f^2)$, wobei $f^i\colon K \to P$, $i = 1,2$, Anfangspunkte $f^1(k)$ und Endpunkte $f^2(k)$ der Kanten $k \in K$ festlegen.

Bei Nichtberücksichtigung von stochastischen Aspekten existiert zur Beschreibung von Flußproblemen ein Punkt-Fluß $v\colon P \to \mathbf{R}$ mit

$$\sum_{p\in P} v_p = o$$

und ein $(v_p|p\in P)$-Kanten-Fluß $w\colon K \to \mathbf{R}$ mit

$$\sum_{\{k|f^1(k)=p\}} w_k - \sum_{\{k|f^2(k)=p\}} w_k = v_p, \quad p \in P .$$

Ein Punkt p heißt Quelle, Senke, Zwischenpunkt, je nachdem, ob $v_p>o$, $v_p<o$, $v_p=o$ gilt. Die v_p-Werte können als Vorrat bzw. Nachfrage im Punkt p interpretiert werden (Im Spezialfall $v_p=o$ für alle $p \in P$ heißt der zugehörige $(o,\ldots,o)$-Kanten-Fluß auch Zirkulation). Unter Berücksichtigung von Kapazitäts- und Kostenfunktionen c^1, c^2, $g\colon K \to \mathbf{R}$ ergibt sich das Standard-Flußproblem

$$\sum_{k\in K} g_k w_k = \min!$$

$$c^1_k \le w_k \le c^2_k , \quad k \in K, \quad (w_k|k\in K) \text{ ist } (v_p|p\in P)\text{-Kanten-Fluß} .$$

Werden die Vorrats-/Nachfrage-Werte als stochastische Variable auf einem gegebenen Wahrscheinlichkeitsraum $(\Omega,\mathfrak{Y},Pr)$ interpretiert und zur Unterscheidung mit Großbuchstaben V_p bezeichnet, brauchen für einzelne Realisationen $V_p(\omega)$, $\omega\in\Omega$, keine $(V_p(\omega)|p\in P)$-Kanten-Flüsse mehr zu existieren (weil $\sum_{p\in P} V_p(\omega) \neq 0$ gelten kann). Im vorliegenden Fall kann man sich aber mit sogenannten "Quasi"-Kanten-Flüssen $w\colon K \to \mathbf{R}$ begnügen.

Definiert man für Quasi-Kanten-Flüsse

$$u_p^G(w) = \sum_{\{k|f^1(k)=p\}} w_k - \sum_{\{k|f^2(k)=p\}} w_k \quad , \quad p \in P$$

und bewertet man die Nichtübereinstimmung (für $\omega\in\Omega$)

$$u_p^G(w) \neq V_p(\omega)$$

mit Kompensationskosten $q^+,q^-: P \to \mathbb{R}$ (mit $q_p^+ + q_p^- > 0$, $p \in P$) gemäß

$$\varphi_p^w(V_p(\omega)) = \begin{cases} -q_p^- (V_p(\omega) - u_p^G(w)) & < \\ 0 & V_p(\omega) = u_p^G(w) \\ q_p^+ (V_p(\omega) - u_p^G(w)) & > \end{cases}$$

erhält man das stochastische Flußproblem

$$\sum_{k\in K} g_k w_k + \sum_{p\in P} E(\varphi_p^w) = \min!$$

$$c_k^1 \leq w_k \leq c_k^2,\ k\in K, \quad (w_k|k\in K) \text{ ist Quasi-Kanten-Fluß .}$$

Wenn die stochastischen Variablen V_p durch diskrete Verteilungen mit den Realisationen v_{pr}, $r=1,\ldots,r_p$, $(v_{p1} < v_{p2} < \ldots < v_{pr_p})$ beschrieben werden können, entsteht ein großes lineares Programm der Form

$$\sum_{k\in K} g_k w_k + \sum_{p\in P} \sum_{r=1}^{r_p} (q_p^+ y_{pr}^+ + q_p^- y_{pr}^-) \Pr(V_p=v_{pr}) = \min!$$

$$u_p^G(w) + y_{pr}^+ - y_{pr}^- = v_{pr} \ , \ r=1,\ldots,r_p, \ p \in P,$$

$$c_k^1 \leq w_k \leq c_k^2 \ , \ k \in K,$$

$$y_{pr}^+ \ , \ y_{pr}^- \geq 0 \ ,$$

das durch folgende Folge einfacherer Standard-Fluß (bzw. Zirkulations-) Probleme gelöst werden kann.

Mit $v_{po} < \min\{v_{p1},m_p\}$, $v_{p(r_p+1)} > \max\{v_{pr_p}, M_p\}$, $p\in P$ (diese Realisationen werden nur aus rechentechnischen Gründen benötigt, ihre Wahrscheinlichkeit ist Null), wobei m_p, M_p untere, obere Kapazitätsschranken für die nach p hinein-, aus p herausfließenden Quasi-Kanten-Flüsse sind, erhält man über den folgenden Vektor $x = (\ldots,x_p,\ldots)$ mit $x_p\in\{0,1,\ldots,r_p\}$, $p\in P$, eine Partition der Punktmenge P gemäß

$$P_1 = \{p|v_{px_p}>0\},\ P_2 = \{p|v_{p(x_p+1)}<0\},\ P_3 = P\setminus\{P_1\cup P_2\}$$

und daraus (als leicht modifizierte Version von G) den x-Graphen

$$G^x = (P^x,K^x,f^x)$$

mit $P^x = P\cup\{sq,ss\}$, $sq,ss \notin P$ (Superquelle, Supersenke)

$$K^x = K \cup \bigcup_{i=0}^{3} K_i \text{ und}$$

$$K_0 = \{(ss,sq)\},\ K_1 = \{(sq,p)|p\in P_1\},\ K_2 = \{(p,ss)|p\in P_2\},\ K_3 = \{(sq,p),(p,ss)|p\in P_3\}$$

(Auf f^x kann verzichtet werden, denn auf K kann man f benutzen, die Kanten von $\bigcup_{i=0}^{3} K_i$

sind durch ihre Anfangs- und Endpunkte eindeutig festgelegt.) Für G^x definiert man neue Kapazitätsfunktionen gemäß

$$c_k^{x_1} = c_k^1 \quad , \; c_k^{x_2} = c_k^2 \qquad\qquad k\in K$$

$$c_{(ss,sq)}^{x_1} = 0 \quad , \; c_{(ss,sq)}^{x_2} = \sum_{p\in P} \max\{|v_{po}|, |v_{p(r_p+1)}|\}, \; (ss,sq)\in K_o$$

$$c_{(sq,p)}^{x_1} = v_{px_p} \quad , \; c_{(sq,p)}^{x_2} = v_{p(x_p+1)} \qquad , \; (sq,p)\in K_1$$

$$c_{(p,ss)}^{x_1} = -v_{p(x_p+1)} \; , \; c_{(p,ss)}^{x_2} = -v_{px_p} \qquad , \; (p,ss)\in K_2$$

$$c_k^{x_1} = o \qquad\qquad , \; c_k^{x_2} = \begin{cases} v_{p(x_{p+1})} & , \; k=(sq,p) \\ -v_{px_p} & , \; k=(p,ss) \end{cases} \qquad , \; k\in K_3$$

und eine neue Kostenfunktion gemäß

$$g_k^x = \begin{cases} g_k + \zeta_{f^1}(k) - \zeta_{f^2}(k) & , \; k\in K \\ 0 & , \; k\in \bigcup_{i=0}^{3} K_i \end{cases}$$

mit

$$\zeta_p = -q_p^+ + (q_p^+ + q_p^-)\, Pr\,(V_p \le v_{px_p}) \quad , \quad p\in P$$

und erhält das nicht-stochastische Fluß-(Zirkulations-)Problem

$$\sum_{k\in K} g_k^x \tilde{w}_k = \min!$$

$$u^{G^x}_p(\tilde{w}) = o \quad , \quad p\in P^x,$$

$$c_k^{x_1} \le \tilde{w}_k \le c_k^{x_2} \; , \quad k\in K^x.$$

Eine Lösung über einen (modifizierten) out-of-kilter Algorithmus liefert optimale (duale) Punktbewertungen π_p, $p\in P^x$, und mittels

$$\alpha(p_1,p_2) = \max\{o, \pi_{p_2} - \pi_{p_1}\}, \; \beta(p_1,p_2) = \max\{o, \pi_{p_1} - \pi_{p_2}\}, \; (p_1,p_2)\in \bigcup_{i=0}^{3} K_i$$

$$\lambda_p = \begin{cases} \alpha(sq,p) & , \; p\in P_1 \\ \beta(p,ss) & , \; p\in P_2\cup P_3 \end{cases} \quad , \quad \mu_p = \begin{cases} \beta(sq,p) & , \; p\in P_1\cup P_3 \\ \alpha(p,ss) & , \; p\in P_2 \end{cases}$$

eine hinreichende Optimalitätsbedingung der folgenden Art:

Ist $\lambda_p \le (q_p^+ + q_p^-)\, Pr\,(V_p = v_{px_p})$

$\mu_p \le (q_p^+ + q_p^-)\, Pr\,(V_p = v_{p(x_{p+1})})$, $p\in P$,

erfüllt, liefert die Einschränkung der optimalen Zirkulation (gemäß out-of-kilter) auf G einen optimalen Quasi-Kanten-Fluß für das stochastische Fluß-Problem.

In [8] wird gezeigt, wie man bei Nichterfülltsein der hinreichenden Optimalitätsbedingung durch Obergang auf einen x'-Graphen $G^{x'}$ $(x'\neq x)$ zu einer verbesserten und schließlich optimalen Lösung gelangt (Endlichkeitsbeweis mittels modifiziertem out-of-kilter Algorithmus). Die Rechenzeiten für Probleme anwendungsrelevanter Größenordnungen

liegen bei etwa einer Minute.

4. Beispiel

In Fig. 1 ist die monatliche erwartete Nachfrage für ein interessierendes Produkt aufgezeichnet. In Tab. 1 ist neben dem Erwartungswert μ auch die Standardabweichung σ notiert worden, zusätzlich wird die Anzahl der Zufallsrealisationen angegeben, die die Grundlage für eine entsprechende Diskretisierung bei unterstellter Normalverteilungsannahme $N(\mu,\sigma)$ bilden. Die Diskretisierung wurde so durchgeführt, daß sich für die einzelnen Realisationen ganzzahlige Werte ergaben, die in Tab. 3 mit den dazugehörigen Wahrscheinlichkeiten gelistet sind. Tab. 4 spezifiziert die Kompensationskosten (z.B. $q_1^+ = 50$, $q_1^- = 1000$ für den die Produktion kennzeichnenden Punkt 1 mit der Interpretation, daß eine Nichtausnutzung der vorhandenen Produktionskapazität Kompensationskosten q_1^+ verursacht, eine über die Produktionskapazität hinausgehende Planung wegen zu großer Kosten q_1^- unerwünscht ist). Man erkennt leicht, daß wegen der speziellen Wahl der Kompensationskosten, eine Räumung des Anfangslagers (Punkt 2) und eine Auffüllung des Endlagers (Punkt 15) erzwungen wird. Bei Unterangebot des interessierenden Produktes im Nachfragepunkt p müssen über den Produktionskosten (man vergleiche die entsprechenden Kosten auf den zum Punkt p hinführenden Kanten) liegende Kompensationskosten q_p^- berücksichtigt werden, bei Überangebot entstehen Kosten $q_p^+ = 40$ in Höhe

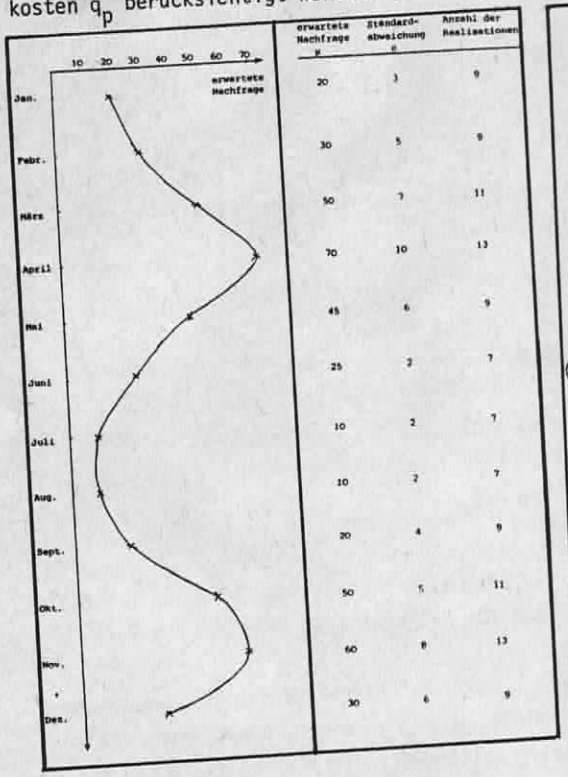

Fig. 1

erwartete Nachfrage μ	Standard-abweichung σ	Anzahl der Realisationen
20	3	9
30	5	9
50	7	11
70	10	13
45	6	9
25	3	7
10	2	7
10	2	7
20	4	9
50	7	11
60	8	13
30	4	9

Tab. 1

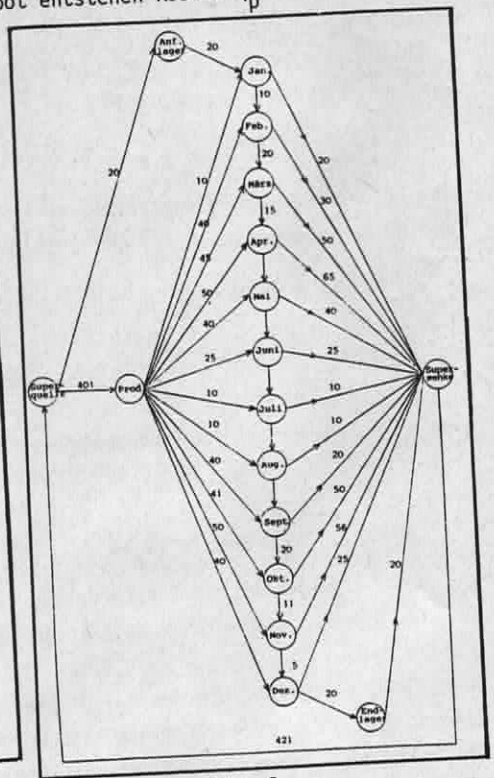

Fig. 2

Kante	Optimalwerte	Kap.Obergrenze	Kosten
(1,3)	10	30	100
(1,4)	40	40	100
(1,5)	45	50	120
(1,6)	50	50	120
(1,7)	40	40	100
(1,8)	25	30	100
(1,9)	10	30	100
(1,10)	10	30	100
(1,11)	40	40	100
(1,12)	41	50	120
(1,13)	50	50	120
(1,14)	40	40	100
(2,3)	20	20	10
(3,4)	10	20	10
(4,5)	20	20	10
(5,6)	15	20	10
(6,7)	0	20	10
(7,8)	0	20	10
(8,9)	0	20	10
(9,10)	0	20	10
(10,11)	0	20	10
(11,12)	20	20	10
(12,13)	11	20	10
(13,14)	5	20	10
(14,15)	20	20	10

Tab. 2

Die Kapazitätsuntergrenze und der Anfangsfluß haben für alle Kanten den Wert Null.

Jan. (3)	-90	-29	-26	-24	-22	-20	-17	-15	-13	-11	20				
	0	6	21	68	216	320	209	112	42	5	0				
Feb. (4)	-90	-45	-41	-37	-33	-30	-26	-22	-18	-15	20				
	0	5	21	92	229	268	225	124	31	5	0				
März (5)	-90	-71	-66	-62	-58	-54	-50	-45	-41	-37	-33	-29	20		
	0	5	15	42	101	202	247	192	119	54	19	4	0		
Apr. (6)	-110	-100	-95	-90	-85	-80	-75	-70	-65	-60	-55	-50	-45	-40	20
	0	6	10	27	65	121	174	197	174	120	65	27	9	5	0
Mai (7)	-90	-63	-58	-54	-49	-45	-40	-36	-31	-27	20				
	0	6	26	94	217	288	230	106	28	5	0				
Juni (8)	-90	-31	-29	-27	-25	-23	-21	-19	20						
	0	6	65	241	382	241	60	5	0						
Juli (9)	-90	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	20						
	0	6	65	241	382	241	60	5	0						
Aug. (10)	-90	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	20						
	0	6	65	241	382	241	60	5	0						
Sept.(11)	-90	-32	-29	-26	-23	-20	-17	-14	-11	-8	20				
	0	5	29	100	224	288	224	100	26	4	0				
Okt. (12)	-90	-65	-62	-59	-56	-53	-50	-47	-44	-41	-38	-35	20		
	0	6	16	48	117	197	231	199	118	49	14	5	0		
Nov. (13)	-90	-84	-80	-76	-72	-68	-64	-60	-56	-52	-48	-44	-40	-36	20
	0	6	10	27	65	121	174	197	174	120	65	27	9	5	0
Dez. (14)	-90	-48	-43	-39	-34	-30	-25	-21	-16	-12	20				
	0	6	26	94	217	288	230	106	28	5	0				

Tab. 3

Die Zufallsvariablen Produktion (1), Anfangslager (2) und Endlager (15) sind einpunktverteilt mit den Ausprägungen 450, 20 und -20.

Punkt-Nr.	Kompensationskosten q^+	Kompensationskosten q^-	x-Vektor-Folge 0	1	2	3	4	5
1	50	1000	1	1	1	1	1	1
2	1000	1000	1	1	1	1	1	1
3	40	140	10	9	8	7	6	6
4	40	140	10	9	8	7	6	6
5	40	160	12	11	10	9	8	7
6	40	160	14	13	12	11	10	9
7	40	140	10	9	8	7	6	6
8	40	140	8	7	6	5	5	5
9	40	140	8	7	6	5	5	5
10	40	140	8	7	6	5	5	5
11	40	140	10	9	8	7	6	6
12	40	160	12	11	10	9	8	7
13	40	160	14	13	12	11	10	9
14	40	140	10	9	8	7	7	7
15	1000	1000	2	2	2	2	2	2

Tab. 4

eines zu gewährenden Abschlags bei Weitergabe der überschüssigen Produkte. Wegen Kapazitätsbeschränkungen bei der Produktion muß zum Ausgleichen der Nachfragespitzen zwischengelagert werden. Das geschieht in den Kanten zwischen den einzelnen Monaten.

Die Graphenstruktur des optimalen x-Graphen ist in Fig. 2 wiedergegeben. Die an den Kanten notierten Werte geben die optimale Zirkulation an, aus denen man sofort die optimalen Quasi-Kanten-Flüsse ablesen kann. In Tab. 2 sind diese optimalen Zirkulationswerte nochmals gelistet, zusätzlich die Kapazitäts- und Kostenwerte. Tab. 4 enthält schließlich die x-Vektor-Folge, die angibt, aus welchem x-Graphen (Iterationen: 5, Rechenzeit: weniger als eine Sekunde CPU-time) die Optimallösung stammt.

Literatur:

[1] Bazaraa, S./Jarvis, J.J.: Linear Programming and Network Flows, Wiley & Sons (1977).

[2] Bloech, J.: Optimale Industriestandorte, Physica (1970).

[3] Böcker, F.: Der Distributionsweg einer Unternehmung, Duncker & Humblot (1972).

[4] Böcker, F.: Computergestützte Standardprogramme zur Planung und Kontrolle der Distributionspolitik, in Köhler, R./Zimmermann, H.J. (Hrsg.):Entscheidungshilfen im Marketing, Poeschel (1977).

[5] Bühler, W./Dick, R.: Stochastische lineare Optimierung. Das Verteilungsproblem und verwandte Fragestellungen, ZfB 42 (1972).

[6] Bühler, W./Dick, R.: Stochastische lineare Optimierung. Chance-Constrained-Modell und Kompensationsmodell, ZfB 43 (1973).

[7] Buxton, G.: Effective Marketing Logistics, Macmillan (1975).

[8] Cleef, H.J./Gaul, W.: A Stochastic Flow Problem, J. Infor. & Optimiz. Sc. 1 (1980).

[9] Domschke, W.: Logistik: Transport, Oldenbourg (1981).

[10] Domschke, W.: Logistik: Rundreisen und Touren, Oldenbourg (1982).

[11] Eilson, S./Watson-Gandy, C.D.T./Christofides, N.: Distribution Management, Griffin (1971).

[12] Ford, L.R./Fulkerson, D.R.: Flows in Networks, Princeton (1962).

[13] Gaul, W.: Stochastische Projektplanung und Marketingprobleme, Methods of Operations Research 44 (1981).

[14] Hammann, P.: Entscheidungsanalyse im Marketing, Duncker & Humblot (1975).

[15] Ihde, G.B.: Distributions-Logistik, UTB, Fischer (1978).

[16] Kall, P.: Stochastic Linear Programming, Springer (1976).

[17] Krulis-Randa, J.S.: Marketing-Logistik, Schriftenreihe des Instituts für betriebswirtschaftliche Forschung an der Universität Zürich, Haupt (1977).

[18] Opitz, O./Schader, M.: Operations Research Verfahren und Marketingprobleme, Mathematical Systems in Economics, Bd. 19, Hain (1975).

[19] Pfohl, H.C.: Marketing-Logistik. Nur eine amerikanische Modeerscheinung?, Marketing Journal 3 (1970).

[20] Poth, L.G.: Praxis der Marketing-Logistik, Sauer (1973).

[21] Stancu-Minasian, I.M./Wets, M.J.: A Research Bibliography in Stochastic Programming, Operations Research 24 (1976).

[22] Tempelmeier, H.: Standortoptimierung in der Marketing-Logistik, Beiträge zur Datenverarbeitung und Unternehmensforschung, Bd. 23, Hain (1980).