ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Dellmann, Klaus; Wiedey, Hartmut

Working Paper — Digitized Version

Standortoptimierung, Touren- und Fuhrparkeinsatzplanung

Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 83

Provided in Cooperation with:
Christian-Albrechts-University of Kiel, Institute of Business Administration

Suggested Citation: Dellmann, Klaus; Wiedey, Hartmut (1980) : Standortoptimierung, Touren- und Fuhrparkeinsatzplanung, Manuskripte aus den Instituten für Betriebswirtschaftslehre der Universität Kiel, No. 83, Universität Kiel, Institut für Betriebswirtschaftslehre, Kiel

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/193904

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Nr. 83

STANDORTOPTIMIERUNG, TOUREN- UND FUHRPARKEINSATZPLANUNG

von

Klaus Dellmann und Hartmut Wiedey*

- vorläufig und vertraulich -

Oktober 1980

*Prof. Dr. K. Dellmann - Diplom-Volkswirt H. Wiedey
Institut für Betriebswirtschaftslehre - Universität Kiel
Lehrstuhl für Unternehmensrechnung
Olshausenstr. 40 - 60
2300 Kiel

Das nachfolgend geschilderte Projekt betrifft ein süddeutsches Großhandelsunternehmen für Tapeten, Bodenbeläge und Raumtextilien. Das gegenwärtige System von Auslieferungslägern dieses Unternehmens sowie die Auslieferungspolitik bewirkten sehr hohe Systemkosten. Im Rahmen der Neugestaltung des Niederlagen- und Warenflußsystems waren daher alternative Auslieferungslager-Standortkombinationen sowie zugehörige Touren- und Fuhrparkeinsatz-Planung zu entwickeln. Über die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Studie wird hier berichtet.

1 Problemstellung und Untersuchungsbasis

1.1 Kennzeichen der Ausgangssituation

Die Studie betrifft einen Großhändler mit einer Reihe von Groß- und Einzelhandelsniederlassungen im süddeutschen Raum südlich der Mainlinie. Das Unternehmen handelt mit Tapeten, textilen und elastischen Bodenbelägen sowie Raumtextilien. Die etwa 7.000 Artikel des Sortiments erwirtschaften einen Jahresumsatz von 175 Mio. DM bei etwa 11.000 Kunden. Das bestehende Warenverteilungs-System ist gekennzeichnet durch

- *Mehrstufigkeit des Warentransportsystems*

  Das Unternehmen unterhält zwei Zentrallager, die eine Reihe von Auslieferungslägern von Großhandelsniederlassungen bedienen. Von dort werden eigene Filialniederlassungen (Groß-, Einzelhandel) einerseits, Kunden andererseits beliefert.

- *Heterogenität und Vielfalt der zu liefernden Artikel*

  Das etwa 7.000 Artikel umfassende Sortiment besteht zu 2/3 aus Hauptartikeln, der Rest sind Zubehörartikel. Tapeten und textile Bodenbeläge bilden den größten prozentualen Anteil am Umsatz.

- *Vielzahl der zu beliefernden Kunden*

  Von den ca. 11.000 Kunden müssen täglich ca. 2.300 Kunden mit eigenem Fuhrpark bzw. Fremdspediteuren beliefert werden.

- *Heterogenität des Fuhrparks*

  Der Fuhrpark umfaßt insgesamt 88 Fahrzeuge verschiedenster t-Kapazität und Kostenstruktur.

- *Hohe Lieferbereitschaft*

  Bis 9.00 Uhr eingehende Aufträge werden noch am gleichen Tag ausgeliefert. Zwischen Auftragserteilung und Warenauslieferung dürfen maximal 24 h liegen.

Die vorgenannten Charakteristika des Istzustandes führten zu sehr hohen *Systemkosten*, bestehend einerseits aus

- *Hardware Kosten* für Lagerkapazitäten, Lagerpersonal, Fuhrpark und Fuhrparkpersonal
- *Lagerhaltungskosten*
- *Variablen Transportkosten*

Insbesondere die in jüngster Zeit erfolgten drastischen Preissteigerungen für Treibstoffe haben die variablen Transportkosten unverhältnismäßig stark ansteigen lassen. Dies gab den Anstoß, die Grundlagen zu einer umfassenden *Neugestaltung des Warenverteil-Systems*, insbesondere

- Neugestaltung des Niederlassungssystems
- Neugestaltung des Fuhrparkeinsatzes
- Neugestaltung der Tourenplanung

als Voraussetzung für eine nachhaltige Senkung der Systemkosten zu erarbeiten. *Ziel der Studie* war daher

- die Ermittlung von *alternativen Auslieferungslager-Standortkombinationen* und deren Wertung
- die Ermittlung der zu den alternativen Lagerstandorten gehörenden *Kundeneinzugsgebiete*
- die optimale *Anzahl* und *Dimensionierung* der *Fahrzeuge* des Fuhrparks
- Die Erarbeitung eines *Tourenplanungskonzepts*.

1.2 Prämissen der Studie

Basis der Untersuchung waren folgende *Prämissen*:

1. Eine Simultanbetrachtung aller zu lösenden Planungsprobleme wurde wegen der Komplexität der realen Verhältnisse und der bestehenden Interdependenzbeziehungen von vornherein verworfen. Das präferierte *stufenweise Vorgehen* erlaubte zudem den Einsatz verschiedenster mathematischer Analysemethoden, Verfahrenstechniken und Entscheidungsmodelle.

2. Zur Vorbereitung der Entscheidung über optimale Lagerstandortalternativen wurden überwiegend *quantifizierbare Einflußfaktoren* berücksichtigt. Das hat den Vorteil, daß sich grundsätzlich analytische Modelle entwickeln lassen. Allerdings ist die Lösung komplexer Modelle der Standortwahl, wie

sie in der Literatur beschrieben werden[1], auf analytischem bzw. kombinatorischem Weg auch mit Hilfe von schnellen und speicherplatzintensiven EDV-Anlagen heute noch nicht möglich.

3. Es wurde davon ausgegangen, daß *einstufige Distributionssysteme* tendenziell effizienter als mehrstufige Systeme sind. Mehrstufige Systeme mit Umladen von Waren oder Zwischenlagerung wurden nicht untersucht.

4. Aufgrund der zur Verfügung gestellten empirischen Daten war eine Berücksichtigung der *Heterogenität der Waren* in bezug auf Volumen *und* Gewicht nicht möglich. Eine Stichprobe und deren regressionsanalytische Auswertung ließ warengruppenspezifische Zusammenhänge zwischen Umsatz, Volumen und Gewicht nicht erkennen. Das Leistungsvolumen aller Leistungsträger (Niederlassungen, Lager, Fuhrpark, Kunden) wurde daher allein durch *Umsatz* und *Gewicht* beschrieben.

5. Die *Liefermaxime* "Belieferung im 24-h Rhythmus" wurde beibehalten.

6. Als *Optimierungskriterien* wurden verwendet: Minimierung der *Gesamtfahrtstrecke* (täglich) durch Anfahrt von zu beliefernden Kunden auf Rundtouren

---

[1] Hansmann, K.W.: Entscheidungsmodelle zur Standortplanung der Industrieunternehmen, Wiesbaden 1974

Ballou, R.H.: Dynamic Warehouse Location Analysis, in: Journal of Marketing Research, Vol. 5, 1968, S. 271-276

Bloech, J.; Ihde, G.-B.: Betriebliche Distributionsplanung zur Optimierung der logistischen Prozesse, Würzburg 1972

Delfmann, W.: Lieferzeitorientierte Distributionsplanung, Berlin 1978

Grundmann, W. u. a.: Mathematische Methoden zur Standortbestimmung, Berlin 1968

statt auf Pendeltouren. Es wurde davon ausgegangen, daß eine minimale Gesamtfahrtstrecke auch zu minimalen (entfernungsabhängigen) Transportkosten führt. Die Transportkostenersparnisse für alternative Standortanzahlen werden als kritischer Kostenwert für Lagerhardware betrachtet.[1)]

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen[2)] wird also nicht die Summe der Systemkosten minimiert, sondern auf der Basis alternativer Systemkonzepte und damit auch -kosten allein die variablen Transportkosten. Dies geschieht deshalb, weil mit der Variation der Anzahl der Auslieferungsläger Investitions- bzw. Desinvestitionsentscheidungen verbunden sind, die Veränderungen in Zahlungsströmen bewirken. Das Rechnen mit Zahlungsströmen gehört jedoch einer anderen Rechenebene an, als das Rechnen mit Kosten; zudem ist die Fristigkeit der Rechnung eine andere. Investitionsentscheidungen mit ihren mittel- bis langfristigen Folgen für die Unternehmung bedürfen anderer Verfahren der Entscheidungsvorbereitung als kurzfristige Wirtschaftlichkeitsrechnungen auf Kostenbasis.

---

1) Kilger, W.: Kritische Werte in der Investitionsrechnung, ZfB 1965 a, S. 338 ff.

2) Behrens, K.C.: Allgemeine Standortbestimmungslehre, Köln-Opladen 1961

Davis, P.S.; Ray, T.L.: A Branch-Bound Algorithm for the Capacitated Facilities Location Problem, in: NRLQ Vol. 16, 1969, S. 331-344

Baumol, W.J.; Wolfe, P.: A Warehouse Location Problem, in OR Vol. 6, 1958, S. 252 ff.

Delfmann, W.: Lieferzeitorientierte Distributionsplanung, Berlin 1978

Winkler, H.: Warenverteilungsplanung, Wiesbaden 1975

7. Strikt einzuhaltende *Nebenbedingungen* waren:

   a) Die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge darf nicht erhöht werden (Status quo).

   b) Die Arbeitszeit des Fuhrparkpersonals war um zwei Arbeitsstunden von 10 h auf 8 h zu kürzen.

1.3 Untersuchungsstufen

Das geschilderte Problem wurde in folgenden *Untersuchungsschritten* gelöst:

- Festlegung alternativer *potentieller* Lagerstandorte mittels Clusteranalyse
- Festlegung alternativer *realer* Lagerstandorte, deren Kundeneinzugsgebiete, Aufteilung des Fuhrparks
- Wertung alternativer Lagerstandorte mittels Savingsverfahren
- Wirtschaftlichkeitsrechnungen zur Festlegung einer optimalen Lagerstandortalternative

1.4 Vorbereitende Tätigkeiten

Vor Erstellung der Clusteranalyse und der Tourenplanung sind folgende Tätigkeiten auszuführen:

- Ermittlung der geographischen *Lagekoordinaten* der Kunden: Hierfür wurden die deutschen Generalkarten 1 : 200 000 mit dem internationalen UTM-Gitternetz (Gitterabstand 10 km) benutzt. Die Abstände innerhalb eines Planquadrats (10 x 10) wurden durch Interpolation ermittelt.

- *Entfernungsberechnung*: Für die Clusteranalyse und die Erstellung von Tourenplänen mit dem selbst konzipierten Tourenplanungsprogramm (s.S.19ff.) ist es notwendig, die Entfernung zwischen Kunde und Depot und fallweise die Entfernung zwischen Kundenpaaren zu bestimmen. Dies kann mit Hilfe der Koordinatenmethode oder der Methode der wahren Entfernungen geschehen. Letzte wurde wegen der Vielzahl der Kunden und einer nur bedingten Verbesserung[1)] aufgrund des unverhältnismäßig großen Aufwands verworfen. Bei der Koordinatenmethode der Entfernungsbestimmung werden aus den UTM-Gitternetz-Landkarten Luftlinienentfernungen bestimmt und mit einem empirisch ermittelten Entfernungsfaktor (1.28) multipliziert.Die sich so ergebende Entfernung wird als wahre Straßenentfernung angesehen.

2 Die Festlegung alternativer potentieller Lagerstandorte mittels Clusteranalyse

2.1 Kennzeichnung der Kundenstruktur

Die *Belieferungsstruktur* einer Unternehmung hängt von zwei Einflußfaktoren ab:

a) geographische Verteilung der Kunden

b) Nachfrageverteilung der Kunden

---

1) Delfmann, W.: Lieferzeitorientierte Distributionsplanung, Berlin 1978

Dumke, H.-P.: Kosten-optimaler Fuhrpark-Einsatz im Werkverkehr, 1974

Webb, M.H.J.: Some Methods of Producing Approximate Solutions to Travelling Salesman Problems with Hundreds or Thousands of Cities, in: ORQ Vol. 22, No. 1, 1971, S.49 ff.

Webb, M.: Transporting Goods by Road, London 1972

Eine wesentliche Einflußgröße im Rahmen der Optimierung der Gesamtfahrtstrecke ist die *geographische Lage der Kunden*, wenn die zu transportierende Ware von einem zentralen Auslieferungslager aus mit einem vorgegebenen Fuhrpark über ein weit verzweigtes Kundennetz verteilt werden muß.Die geographische Verteilung der Kunden ist durch die geographischen Lagedaten gegeben.

Zur Festlegung potentieller Lagerstandorte ist die geographische Verteilung der Kunden jedoch allein nicht ausreichend, da große Kunden entsprechend häufiger bestellen als kleine und damit öfter angefahren werden müssen. Mit anderen Worten: Die Belieferungsstruktur hängt auch von der Kundennachfrage ab. Um die *Nachfrageverteilung* der Kunden adäquat zu beschreiben, wurden drei umsatzbezogene *Kundengrößenklassen* gebildet. Dies deshalb, weil die Vermutung bestand, daß sich die Kunden je nach Größe in ihrer Bestellwahrscheinlichkeit und im Bestellgewicht unterscheiden. Die Größenklasse A (klein) umfaßte 88 % aller Kunden mit 40 % Anteil am Gesamtumsatz. Die Größenklasse B (mittel) umfaßte weitere 10 % der Kunden mit weiteren 40 % Anteil am Gesamtumsatz. Die restlichen 2 % aller Kunden hatten einen Anteil am Gesamtumsatz von 20 % und wurden in die Größenklasse C (groß) eingeordnet.

Um echte Nachfrageschwerpunkte im Rahmen der Clusteranalyse zu ermitteln, sind die geographischen Distanzen zu den einzelnen Kunden in einer Weise zu gewichten, daß sich die ergebenden Clusterschwerpunkte als echte Nachfrageschwerpunkte kennzeichnen lassen.

2.2 Simulation der Nachfrage

Um zu ermitteln, welcher Kunde aus der Gesamtzahl aller Kunden häufiger oder weniger häufig bestellt, wurden aufgrund einer Stichprobe größenklassenspezifische *Bestellwahrscheinlichkeiten* ermittelt. Die Bestellwahrscheinlichkeit ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß ein Kunde an einem Arbeitstag bestellt. Aus dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial ergaben sich für die einzelnen Größenklassen sehr unterschiedliche Werte. In der Größenklasse A bestellten beispielsweise von 100 Kunden im Durchschnitt 15 Kunden pro Arbeitstag, in der Größenklasse B hingegen lag die Bestellhäufigkeit etwa 5 mal höher.

Aus der Bestellwahrscheinlichkeit je Größenklasse lassen sich Bestellhäufigkeiten ableiten, die jedoch noch keine Aussagen über die Bestellmenge zulassen. Deswegen wurde aus einer weiteren Stichprobe eine größenklassenbezogene *Bestellmengenverteilung*, gemessen in kg Gewicht, ermittelt. Auch hier zeigten sich je Kundengrößenklasse erhebliche Unterschiede, weniger im durchschnittlichen Bestellgewicht als vielmehr in der Streubreite. So schwankte das Bestellgewicht in der kleinsten Größenklasse zwischen 6 kg und 288 kg bei einem Durchschnitt von 21 kg, in der Größenklasse C jedoch zwischen 8 kg und 850 kg bei einem durchschnittlichen Bestellgewicht von 33 kg.

Aus der Zahl der 11.000 potentiellen Kunden wurde nun in einem weiteren Schritt durch *Simulation* der Belieferungsstruktur folgende Information ermittelt:

- Welcher Kunde mit der Nr. i aus der Gesamtzahl m der potentiellen Kunden bestellt an einem bestimmten Arbeitstag s (realisierter Kunde)?

- Wie hoch ist die Bestellmenge eines realisierten Kunden gemessen in DM Umsatz bzw. kg Bestellgewicht (realisierte Bestellmenge)?

Das Vorgehen ist schematisch in der folgenden Abbildung dargestellt.

Als Ergebnis eines Simulationslaufs erhielt man:

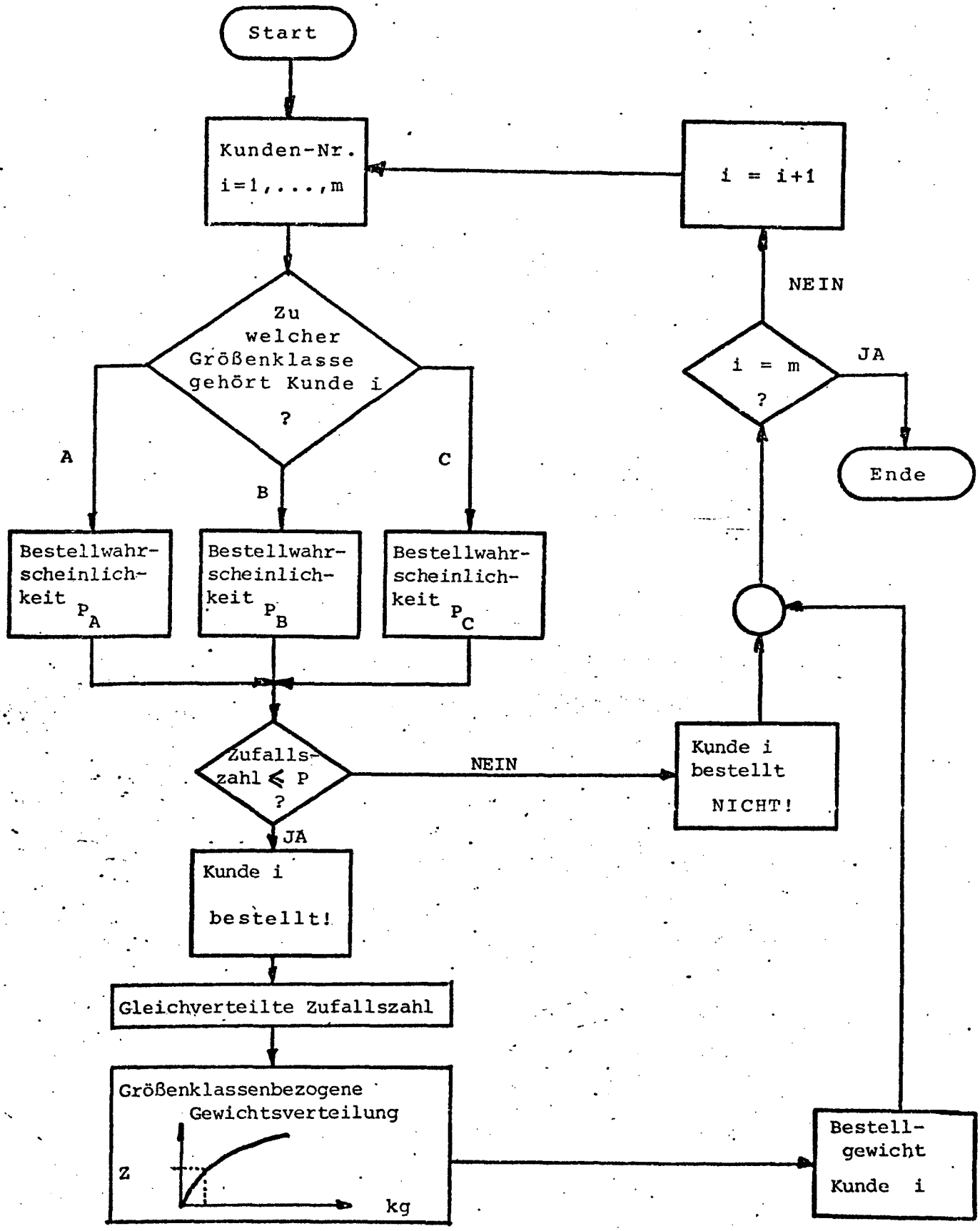
1. alle realisierten Kunden mit ihren zugehörigen Kundendaten, insbesondere den geographischen Lagedaten (= Lieferort),

2. die Anzahl der bestellenden Kunden je Arbeitstag,

3. die Bestellmenge und damit zu liefernde Menge je Kunde und insgesamt in kg.

Die im Rahmen der Simulationsläufe erzielten *Ergebnisse* zeigten eine hohe Übereinstimmung mit dem empirischen Zahlenmaterial. Die Anzahl der bestellenden Kunden je Arbeitstag betrug im Mittel 2.299 und streute zwischen 2.266 und 2.342. Das aufsummierte Bestellgewicht und damit die auszuliefernde Menge in kg betrug im Mittel 47.280 und streute zwischen 44.003 und 51.181.

Mit den Lagekoordinaten realisierter Kunden, die jetzt eine dem tatsächlichen Bestell- und Nachfrageverhalten nachgebildete Auswahl darstellen, wird eine *Clusteranalyse* durchgeführt.


Start
Kunden-Nr.
i=1,...,m
Zu welcher Größenklasse gehört Kunde i ?
A
B
C
Bestellwahrscheinlichkeit P_A
Bestellwahrscheinlichkeit P_B
Bestellwahrscheinlichkeit P_C
Zufallszahl ≤ P ?
NEIN
JA
Kunde i bestellt NICHT!
Kunde i bestellt!
Gleichverteilte Zufallszahl
Größenklassenbezogene Gewichtsverteilung
Z
kg
Bestellgewicht Kunde i
i = i+1
NEIN
i = m ?
JA
Ende

2.3 Vorgehen und Ergebnisse der clusteranalytischen Untersuchungen

Die r realisierten Kunden (-Orte) sollten so in eine vorgegebene Anzahl n von Clustern aufgeteilt werden, daß die Summe der quadrierten euklidischen Abstände der Clustermitglieder (Kunden) von ihrem zu ermittelnden Schwerpunkt minimal wird. Diese Zielfunktion ist in der Literatur[1)] als Varianzkriterium oder Abstandsquadratsummenkriterium bekannt. Im Optimum ist jedes Clustermitglied (Kunde) dem Schwerpunkt des Clusters, dem es zugeordnet ist, am nächsten. Infolgedessen bietet es sich an, den Schwerpunkt des Clusters als kundenabstandsminimalen Standort für Auslieferungsläger vorzusehen. Die Anzahl der zu bestimmenden Cluster wurde alternativ mit n = (3,4,5,6) vorgegeben. Die Clusteranzahlen n = 1, n = 2, n = 7, 8, ... schieden im Rahmen von Vorüberlegungen aus.

Als *Lösungsalgorithmus* wurde das KMEANS-Verfahren gewählt. Das Verfahren geht von einer gegebenen Anfangsaufteilung aus. In der vorliegenden Studie wurde diese Anfangsaufteilung rein zufällig erzeugt. Der Reihe nach werden alle Kunden versuchsweise von ihrem Ausgangscluster entfernt und anderen Clustern zugeordnet. Eine Neuzuordnung erscheint dann sinnvoll, wenn dadurch die Zielfunktion verbessert wird. Das Verfahren minimiert also schrittweise durch gezielten Austausch die Zielfunktion, ohne die Anzahl der Cluster zu verändern.

---

1) Bednar, L.; Strohmeier, E.: Lagerstandortoptimierung und Fuhrparkeinsatzplanung in der Konsumgüterindustrie, in: ZOR 23, 1979, S. B 89 - B 104

Herden, W.; Steinhausen, D.: Ein Verfahren zur Berechnung eines globalen Minimums beim Varianzkriterium in der Cluster-Analyse, in: H. Späth (Hrsg.): Ausgewählte OR-Software in Fortran, München, Wien 1979

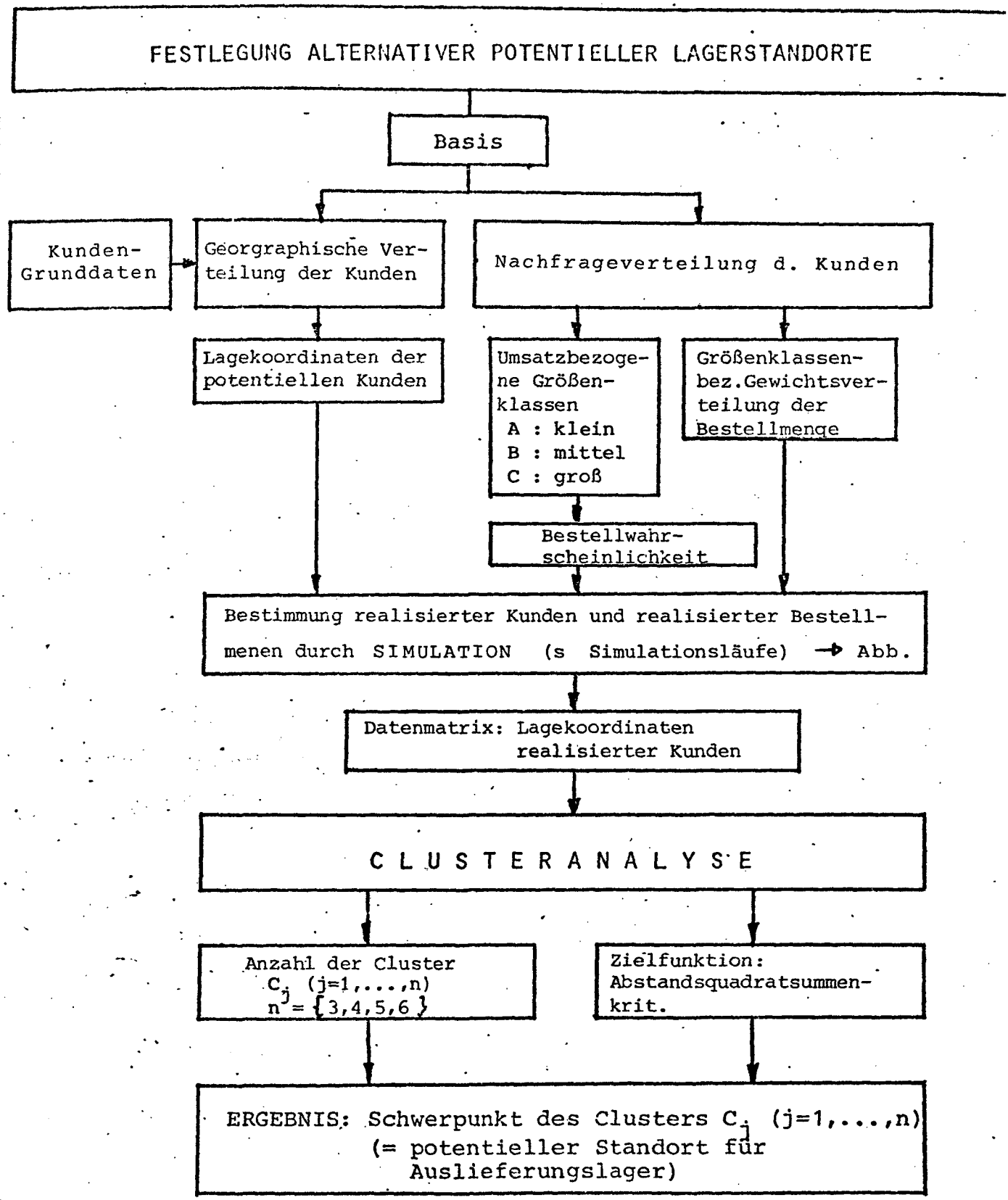
Späth, H.: Cluster-Analyse-Algorithmen zur Objektklassifizierung und Datenreduktion, München, Wien 1975

Für alternative Clusteranzahlen n = (3,4,5,6) wurden je 8 Simulationsläufe (= 8 Arbeitstage) durchgeführt und die zugehörigen *Nachfrageschwerpunktkoordinaten* bestimmt. Die Schwerpunkte stellen gemäß dem verwendeten Zielkriterium *optimale potentielle Lagerstandorte* dar. Für die Clusteranzahlen n = 3,4,5 zeigten die Schwerpunktkoordinaten in allen Simulationsläufen ein hohes Maß an Übereinstimmung. Die Differenz zwischen minimalem und maximalem Koordinatenwert gibt die maximale Streubreite in km in West-Ost- bzw. Nord-Süd-Ausdehnung an. Sie betrug im schlechtesten Fall für beide Koordinatenwerte ca. 40 km, d. h. der reale Standort war in einem Planquadrat von 40 x 40 zu suchen. Für n = 6 war die maximale Streubreite jedoch größer. Dies ist daraus zu erklären, daß bei 6 Klassen naturgemäß schwächer besetzte Einzugsgebiete zustandekommen und sich im Rahmen der Simulation daher Unterschiede im Bestellverhalten weniger stark nivellieren können wie bei sehr großen Nachfragegebieten. Innerhalb der Klasse n = 6 waren jedoch auch hier die Lagekoordinaten für 5 potentielle Standorte sehr stabil. Lediglich der 6. potentielle Standort war durch eine größere Streubreite gekennzeichnet.

Die Festlegung alternativer potentieller Lagerstandorte zeigt nochmals übersichtsartig die Abbildung auf S. 13 a.

3 Die Festlegung alternativer realer Lagerstandorte und deren Kundeneinzugsgebiete; Aufteilung des Fuhrparks

Die Festlegung alternativer *potentieller* Standorte im vorhergehenden Schritt wurde so vorgenommen, daß die Abstände der Kunden zum Auslieferungslager minimal waren. Die Berücksichtigung der Nachfragemengen der Kunden ergab sich automatisch aus den simulierten Daten, da


FESTLEGUNG ALTERNATIVER POTENTIELLER LAGERSTANDORTE
Basis
Kunden-Grunddaten
Georgraphische Verteilung der Kunden
Nachfrageverteilung d. Kunden
Lagekoordinaten der potentiellen Kunden
Umsatzbezogene Größenklassen
A : klein
B : mittel
C : groß
Größenklassenbez.Gewichtsverteilung der Bestellmenge
Bestellwahrscheinlichkeit
Bestimmung realisierter Kunden und realisierter Bestellmenen durch SIMULATION (s Simulationsläufe) → Abb.
Datenmatrix: Lagekoordinaten realisierter Kunden
C L U S T E R A N A L Y S E
Anzahl der Cluster
C_j (j=1,...,n)
n = {3,4,5,6}
Zielfunktion:
Abstandsquadratsummenkrit.
ERGEBNIS: Schwerpunkt des Clusters C_j (j=1,...,n)
(= potentieller Standort für Auslieferungslager)

z. B. Kunden aus der Klasse C eine wesentlich höhere Bestellhäufigkeit aufwiesen als Kunden aus der Klasse A und somit auch wesentlich häufiger als Nachfrager auftraten. Die resultierenden Schwerpunkte stellen also echte abstandsminimale Nachfrageschwerpunkte dar.

3.1 Einbeziehung qualitativer Standortfaktoren

Bei der Wahl alternativer *realer* Standorte sind neben den quantifizierten Standortfaktoren auch solche Einflußgrößen zu berücksichtigen, die weitgehend nicht quantifizierbar sind und als qualitative Standortfaktoren in der Literatur bezeichnet werden.[1)] Der Einfluß, den sie auf den Erfolg der Unternehmung ausüben, ist direkt nicht meßbar.

Zusammen mit der Geschäftsführung wurden die potentiellen Standorte im Rahmen einer qualitativen Standortanalyse diskutiert. Bei der endgültigen Festlegung realer Standorte wurde davon ausgegangen, daß das vorhandene Zentrallager in jedem Fall bestehen bleiben soll, da der potentielle Standort für dieses Lager ohnehin nur wenige Kilometer entfernt lag. Alle übrigen Standorte sollten unter Berücksichtigung der *verkehrsmäßigen Anbindung* möglichst nahe an den potentiellen Standorten liegen.

---

1) Behrens, K.C.: Allgemeine Standortbestimmungslehre, Köln-Opladen 1961

Feldman, E.; Lehrer, F.A.; Ray, T.L.: Warehouse Location under Continous Economies of Scale, in: Management Science, Vol. 12, No. 9, 1966, S. 670-684

Grundmann, W. u. a.: Mathematische Methoden zur Standortbestimmung, Berlin 1968

Hansmann, K.W.: Entscheidungsmodelle zur Standortplanung der Industrieunternehmen, Wiesbaden 1974

Ihde, G.B.: Distributions-Logistik, Stuttgart-New York 1978

Aufgrund der vorgenannten Überlegungen wurden für die alternativen Standortanzahlen reale Standorte festgelegt, die im Ergebnis nur unwesentlich von den potentiellen Standorten abwichen.

3.2 Partitionierung des gesamten Auslieferungsgebietes

Für jede reale Standortkombination wurden nun die zugehörigen *Kundeneinzugsgebiete* nach dem Abstandsquadratsummenkriterium ermittelt. Die Zuordnung eines Kunden zum zugehörigen Auslieferungslager sollte also abstandsminimal sein. Verbindet man die von einem Auslieferungslager am weitesten entfernt liegenden Kunden, so erhält man die zu dem entsprechenden Auslieferungslager gehörenden Kundeneinzugsgebiete. Da man nach entsprechender Zuordnung nun alle Kunden eines Kundeneinzugsgebietes kennt und auch den Umsatz, der mit diesen Kunden in der Vergangenheit getätigt wurde, läßt sich durch Aufsummierung der Umsatz der Kundeneinzugsgebiete für alternative Lagerstandorte ermitteln. Dieser Umsatz ist ein erster Anhaltspunkt für die Dimensionierung der Lagerkapazitäten.

3.3 Zuordnung von Fuhrparkkapazitäten zu den Standorten

Zur Durchführung der im nächsten Kapitel zu beschreibenden Tourenplanung war es erforderlich, den realen alternativen Auslieferungslägern *Fuhrparkkapazitäten* zuzuordnen. Die Aufteilung der Kapazitäten der insgesamt zur Verfügung stehenden 88 Kraftfahrzeuge wurde so vorgenommen, daß die Aufteilung in etwa dem Umsatz der Kundeneinzugsgebiete entsprach. Außerdem wurde dafür Sorge getragen, daß innerhalb der zugeordneten Kapazitäten jedes Auslieferungslager annähernd gleichwertig mit großen und kleinen Fahrzeugen ausgestattet war.

4 Die Wertung alternativer Lagerstandorte mittels Savingsverfahren

4.1 Bewertungskriterien

Nachdem reale Lagerstandortkombinationen von der Geschäftsführung festgelegt worden waren und diese zukünftig nicht mehr in Frage gestellt werden sollten, bestand das Problem nun darin, aus den *gegebenen Alternativen* (3, 4, 5, 6 Standorte) die *optimale Standortkombination* zu ermitteln. Es war weiterhin zu untersuchen, ob die gegebenenfalls zu erwartenden Einsparungen an variablen Transportkosten ausreichen würden, um zusätzliche Lagerinvestitionen oder ggf. die Aufgabe von Auslieferungslägern zu rechtfertigen.

Im nächsten Untersuchungsschritt war daher folgendes Problem zu lösen: Aus den Entfernungen der Auslieferungslager-Standorte zu den zu beliefernden Kunden waren für jede der zur Diskussion stehenden Lagerstandortkombination folgende Werte zu ermitteln:

1. die Zahl der zu beliefernden Kunden,
2. die Summe der nachgefragten Menge in kg,
3. die Zahl der eingesetzten Fahrzeuge,
4. die Summe der zurückzulegenden km,
5. die Zahl der (möglicherweise aufgrund von Restriktionen) nicht belieferten Kunden,
6. die Summe der nicht ausgelieferten Menge in kg und
7. die Anzahl der km, die zurückzulegen wären, wenn die (aufgrund von Restriktionen) nicht belieferten Kunden doch beliefert werden müßten.

4.2 Beschreibung des zugrundegelegten Tourenplanungsmodells

Für diese Problemstellung wurde das in der Literatur[1] bekannte "Ein-Depot-Auslieferungsproblem" als relevant erachtet. Der Versuchsaufbau erfolgte dementsprechend gemäß diesem Modell. Die Relevanz läßt sich an folgender Schilderung erkennen:

Von einem Depot aus werden k Kunden beliefert, wobei die Bestellmenge jedes Kunden i vorab bekannt ist. Jedem Depot ist aufgrund von Voruntersuchungen eine bestimmte Menge an Lieferfahrzeugen zugeordnet, mit deren Hilfe die Bestellmengen auf Rundtouren ausgeliefert werden. Bei den Berechnungen werden Beschränkungen hinsichtlich der Ladekapazität jedes Lieferwagens und der gewünschten Arbeitszeit der Wagenbesatzungen berücksichtigt.

In der in der Studie durchgeführten Tourenplanung wurde ferner die von der Unternehmensleitung gewünschte Lieferpolitik einbezogen, indem die Bestellungen unmittelbar nach

---

[1] Christofides, N.; Eilon, S.: An Algorithm for the Vehicle - dispatching problem, in: ORQ, Vol. 20, No. 3, 1969, S. 309 ff.

Christofides, N.; Mingozzi, A.; Toth, P.: The Vehicle Routing Problem, in: N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, C. Sandi (Hrsg.): Combinatorial Optimization, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1979, S. 315 ff.

Clarke, G., Wright, J.W.: Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, in: OR Vol.13, 1964, S. 568-581

Eilon, S.; Watson-Gandy, C.D.T.; Christofides, N.: Distribution management: Mathematical modelling and practical analysis, London 1971

Foster, B.A., Ryan, D.M.: An Integer Programming Approach to the Vehicle Scheduling Problem, in: ORQ Vol. 27, No. 2, 1976, S. 367 ff.

Neitzel, W.: Tourenplanung. Problemdarstellung und Lösungsverfahren für Ein-Depot-Probleme, Frankfurt am Main, Bern, Las Vegas 1977

Auftragserteilung ausgeliefert wurden. Für jede Standortkombination wurde eine Tourenplanung durchgeführt. Außerdem wurden in mehreren Simulationsläufen verschiedene geographische und bestellspezifische Kundenverteilungen generiert, um Zufallsschwankungen auszugleichen.

4.3 Ableitung des verwendeten Lösungsansatzes

Aufgrund der großen Kundenanzahlen (ca. 2.300 täglich zu beliefernde Kunden) war es ausgeschlossen, optimierende Tourenplanungsverfahren[1] anzuwenden. Bei der Beurteilung der bekannten heuristischen Lösungsansätze[2] mußten

---

[1] Ballou, R.H.: Business Logistics Management, Englewood Cliffs, New Jersey 1973

Benito, F., Gröflin, H.: Optimierungsprobleme mit nicht polynomial begrenzten Algorithmen, in: T.M. Liebling, M. Rössler (Hrsg.): Kombinatorische Entscheidungsprobleme: Methoden und Anwendungen, Berlin, Heidelberg, New York 1978

Eilon, S.; Watson-Gandy, C.D.T.; Christofides, N.: Distribution management: Mathematical modelling and practical analysis, London 1971

Golden, B.L.: Evaluating a Sequential Vehicle Routing Algorithm, in: Technical Note, AIIE Transactions, Vol. 9, Nr. 2, 1977, S. 204-208

Ihde, G.-B., Eicher, K.; Hallbauer, A., Knödel, W.: Distributions-Logistik, Arbeitsbuch zur Distributions-Logistik, Stuttgart, New York 1980

[2] Berenguer, X.: Contributions for Solving the Delivery Problem, in: M. Roubens (Hrsg.): Advances in Operations Research, Proceedings of Euro II The second European Congress on Operations Research, Stockholm 1976, S. 29-33

Böcker, F.: Computergestützte Standardprogramme zur Planung und Kontrolle der Distributionspolitik, in: R. Köhler, H.-J. Zimmermann (Hrsg.): Entscheidungshilfe im Marketing, Stuttgart 1977, S. 348-367

Delfmann, W.: Lieferzeitorientierte Distributionsplanung, Berlin 1978

Gillett, B.E.; Miller, L.R.: A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem, in: OR Vol. 22, 1974, S. 340 ff.

Vaterrodt, H.-J.: Tourenplanung; Modelle und Verfahren, Frankfurt am Main, Zürich, 1975

Streim, H.: Heuristische Lösungsverfahren. Versuch einer Begriffsklärung, in: ZOR Bd. 19, 1975, S. 143-162

deshalb neben Rechenzeiterfordernissen auch die Lösungsqualität herangezogen werden.

4.3.1 Diskussion des bestehenden Savingsansatzes

Aufgrund von Voruntersuchungen entschieden sich die Autoren zur Verwendung des aus der Literatur bekannten Savingsansatzes.[1] Allerdings wurde nicht auf bekannte Lösungsansätze zurückgegriffen[2], sondern aufgrund der spezifischen Gegebenheiten wurde ein eigenes Tourenplanungsprogramm entwickelt, das allerdings auf dem Ansatz von Clarke/Wright basiert [3]

---

[1] Clarke, G.; Wright, J.W.: Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, in: OR Vol. 13, 1964, S. 568-581

Dantzig, G.B.; Ramser, J.H.: The Truck Dispatching Problem, in: MS Vol. 6, 1959, S. 80 ff.

Fletcher, A., Clarke, G.: Management and Mathematics - The Practical Techniques available, London 1964

Gaskell, T.J.: Bases for Vehicle Fleet Scheduling, in: ORQ Vol. 18, S. 281 ff.

Holmes, R.A.; Parker, R.G.: A Vehicle Scheduling Procedure Based upon Savings and a Solution Perturbation Scheme, in: ORQ Vol. 27, No. 1, 1976, S. 83 ff.

Kirby, R.F.; Mc.Donald, J.J.: The Savings Method for Vehicle Scheduling, in: ORQ Vol. 24, No. 2, 1973, S. 305 ff.

Webb, M.: Transporting Goods by Road, London 1972

[2] Matthäus, F.: Tourenplanung - Verfahren zur Einsatzdisposition von Fuhrparks, Darmstadt 1978

Vaterrodt, H.-J.: Tourenplanung. Modelle und Verfahren, Frankfurt am Main, Zürich 1975

Christofides, N.; Eilon, S.: An Algorithm for the Vehicle-dispatching problem, in: ORQ Vol. 20, No. 3, 1969, S. 309 ff.

Webb, M.: Transporting Goods by Road, London 1972

Yellow, P.C.: A Computational Modification to the Savings Method of Vehicle Scheduling, in: ORQ Vol. 21, No. 2, 1970, S. 281 ff.

[3] Wiedey, H.: Algorithmische Darstellung einer wirtschaftlichen Tourenplanung bei großer Kundenanzahl. Unveröffentlichtes Manuskript.

Zur Berechnung des Savingswertes zwischen zwei Kundenorten ist es lediglich erforderlich, daß man die Koordinaten dieser Kundenorte kennt. Bei der Bildung der Savingswerte zwischen den einzelnen Kunden wird die Ersparnis (= Saving) errechnet, die sich dadurch ergibt, daß man zwei Kunden auf einer Rundtour beliefert, anstatt jeden Kunden unmittelbar vom Lager aus im Pendelverkehr zu bedienen. Bei der Bildung der Savingswerte werden deshalb zwei Möglichkeiten miteinander verglichen:

a) zurückzulegende Entfernung auf einer Pendeltour,

b) zurückzulegende Entfernung auf einer Rundtour.

Bei Belieferung von zwei Kunden P_1 und P_2 von einem Depot P_0 ergibt sich deshalb ein Savingswert von $P_0P_1 + P_0P_2 - P_1P_2$. Die Ersparnis ist umso größer, je weiter zwei Kunden vom Depot entfernt sind und je näher sie zusammenliegen.

Für die Durchführung des Ansatzes von Clarke/Wright ist es notwendig, alle errechneten Savingswerte in einer Matrix abzuspreichern. Bei n Kunden müssen also $\binom{n}{2}$ Werte errechnet und abgespeichert werden. Wenn man den hier realistischen Fall betrachtet, daß ein Standort ca. 800 Kunden enthält, für die eine Tourenplanung vorgenommen werden soll, müßten 319.600 Werte errechnet und abgespeichert werden. Dies ist normalerweise nur unter Einsatz peripherer Speichereinheiten möglich, was wiederum die ohnehin schon gegebene Rechenintensität noch vergrößern würde. Berücksichtigt man ferner, daß für die Güte der in der Projektstudie zu ermittelnden Ergebnisse mehrere Simulationsläufe durchzuführen waren, so wird die Notwendigkeit deutlich, einen eigenständigen Tourenplanungsansatz zu entwickeln.

4.3.2 Charakterisierung des selbsterstellten Lösungsansatzes

Dieser Ansatz kann durch folgende Fakten charakterisiert werden:

- Zielfunktion ist die Maximierung der Savingssumme. Dieses Zielkriterium wird auch bei Clarke/Wright verwendet.

- Zum Auffinden der Savingssumme ist es nicht erforderlich, alle Savingswerte abzuspeichern, sondern es genügt, nur einen Teil der Savingswerte zu berechnen und zu vergleichen.

- Die Relevanz möglicher Verbindungen wird anhand von Plausibilitätsüberlegungen überprüft. Z. B. kann eine Verbindung der Kunden P_i und P_j, die 10 bzw. 5 Einheiten vom Depot entfernt sind, zu keiner Verbesserung beitragen, wenn man bereits einen Savingswert von 20 gefunden hat.

- Es werden lediglich die Savingswerte abgespeichert, die berechnet sind, aber nicht zum Savingsmaximum führten.

- Die Abspeicherung von berechneten Savingswerten dient dazu, daß man bei der folgenden Suche nach dem Savingsmaximum schnell einen hohen Startwert erhält.

4.3.3 Weitergehende Modifikationen aufgrund der vorliegenden Datensituation

Aus ersten Testläufen für die simulierten Daten ergab sich, daß neben den vorstehend beschriebenen Modifikationen weitere Änderungen notwendig waren, da die durchgeführten Tourenplanungen in hohem Maße von der [illegible] bestimmt wurden. Es konnte deshalb nur ein Bruchteil der Kunden beliefert werden, die an den simulierten Tagen bestellt hatten. Dies ist verständlich, da beim Savings-

ansatz zuerst die außenliegenden Kunden beliefert werden, die aber hohe Anfahrtzeiten bedingen. Nahe am Depot liegende Kunden konnten deshalb in vielen Fällen nicht mehr bedient werden, da die zur Verfügung stehenden Lkws bereits alle eingesetzt waren.

Um diese Schwächen der Untersuchung zu beheben, wurden deshalb folgende Modifikationen durchgeführt:

- Kunden, deren Entfernung zum jeweiligen Depot eine bestimmte Größe übersteigt, werden von vornherein nicht berücksichtigt. Bei Festlegung dieser Entfernungsgröße wurde von der gewünschten Arbeitszeit von 8 Stunden ausgegangen, jedoch An- und Abfahrtszeiten, durchschnittliche Halte- und Entladezeiten, durchschnittliche Fahrtgeschwindigkeiten und ein Sicherheitsfaktor berücksichtigt. Dieses Vorgehen erschien aufgrund von Testläufen gerechtfertigt, da die Auslastungsgrade der Lkws bei Belieferung extrem entfernt liegender Kunden äußerst gering waren und die Zahl der so ausgeschlossenen Kunden äußerst niedrig war.

- Durch die Festlegung der Arbeitszeit auf 8 Stunden wurde sichergestellt, daß die Untersuchungsergebnisse auch die von der Geschäftsführung gewünschte Verkürzung der Arbeitszeit des Fahrpersonals beinhaltet.

- Die in der Literatur beschriebenen Savingsansätze ordnen normalerweise zuerst die größten Lkws den Verbindungen zu. Aufgrund der sich in der Studie ergebenden Dominanz der Zeitrestriktion erwies es sich aber als richtig, zuerst den kleinsten Lkw zuzuordnen. Dies ist insofern verständlich, wenn man bedenkt, daß die ersten Verbindungen stark von der Zeitrestriktion bestimmt werden und deshalb nur geringe Kapazitätsauslastungsgrade realisiert werden können. Je näher man aber ans Auslieferungslager rückt, desto weniger Gewicht hat die

Zeitrestriktion und umso mehr Kunden können auf einer Tour beliefert werden. Hierfür werden aber gerade die größeren Lkws benötigt.

Die erhaltenen Tourenplanungsergebnisse bestätigten die Richtigkeit und Angemessenheit der zusätzlich durchgeführten Modifikationen.

4.4 Ergebnisse und Konsequenzen der Tourenplanung

Die folgende Tabelle zeigt die Summe über die gemittelten Ergebnisse der Simulationsläufe je Tag.

Die Ergebnisse lassen folgendes erkennen:

1. Die *Anzahl der Fahrzeuge* kann insgesamt verringert werden. Die prozentuale Verringerung ist bei n = 5 am größten. Dies bedeutet eine entsprechend hohe Einsparung bei den fixen Fuhrparkkosten.

2. Aufgrund der Tourenplanungsergebnisse erscheint eine Änderung der *Struktur des Fuhrparks* angezeigt. Die Zeitrestriktion im Tourenplanungsmodell führt zu einer sehr schlechten, auch in der Praxis zu beobachtenden Auslastung der Fahrzeuge. Daher lassen sich folgende Schlüsse ziehen: Der jetzige Fuhrpark ist in seinen einzelnen Fahrzeugen überdimensioniert. Zukünftig dürfte ein Fuhrpark ausreichen, der allenfalls die Hälfte der jetzigen Gewichtskapazität aufweist, d. h. kleinere Fahrzeuge können die gleichen Leistungen bei wahrscheinlich niedrigeren variablen km-Kosten und niedrigeren Fixkosten erbringen. Im Grunde ist also nicht die Anzahl zu verringern (ausgenommen die

Zeile		n = 3	n = 4	n = 5	n = 6
1	Anzahl der zugeordneten LKW	88	88	88	88
2	Anzahl der eingesetzten LKW	85,75	79,50	76,25	76,50
3	Su. der zurückgelegten Kilometer (km)	26.204	22.577	20.793	20.304
4	Zahl der belieferten Kunden	2.168	2.268	2.269	2.271
5	Zahl der nicht belieferten Kunden	123	24	22	20
6	Noch zurückzulegende Kilometer	15.662	4.945	4.010	3.885
7	Su. der nachgefragen Menge (kg)	46.715	46.716	46.715	46.715
8	Su. der nicht ausgelieferten Menge (kg)	2.351	419	402	320
9	Su. der ausgelieferten Menge (kg)	44.364	46.297	46.313	46.395
10	Kapazitäts-Nutzungsgrad des Fuhrparks	19,38 %	21,81 %	22,76 %	22,72 %

Summe über die gemittelten Ergebnisse der 4 Simulationsläufe

(= Summe der Durchschnittswerte je Tag)

Bemerkung unter Punkt 1.), sondern die Fahrzeuggröße ist zu halbieren. Diese Ergebnisse gelten unabhängig von der Standortanzahl. Die Ergebnisse lassen weiterhin ein Optimum für n = 5 erkennen.

3. Die Unterschiede in der *Summe der zurückgelegten Kilometer* des Fuhrparks je Arbeitstag resultieren allein aus den veränderten Anfahrtswegen durch unterschiedliche Standortkombinationen, da ja die Lage der Kunden untereinander gleich bleibt. Hierbei weicht n = 3, wie auch bei den anderen Ergebnissen, stark von den übrigen Werten für n = 4, 5, 6 ab.

4. Die *Zahl der bestellenden Kunden* ist mit 2.291 bei allen Varianten gleich. Allerdings können nicht alle Kunden vollständig beliefert werden. Hierfür sind folgende Gründe maßgebend: Bestimmte Kunden liegen zu weit vom Auslieferungslager entfernt, d. h. sie liegen nicht in dem zulässigen Belieferungsradius, innerhalb dessen die Kunden in der vorgegebenen Einsatzzeit beliefert werden könnten. Naturgemäß ist die Wahrscheinlichkeit, in diesen Radius zu fallen, bei n = 6 höher als bei n = 3. So sinkt die Zahl der nichtbelieferten Kunden bei steigender Zahl der Auslieferungsläger. Der Grund kann jedoch auch darin liegen, daß die gesamte zeitmäßige Kapazität nicht ausreicht, um die Kunden, die sich im Radius befinden, vollständig zu beliefern. Allerdings beträgt die Zahl der nichtbelieferten Kunden bei n = 4, 5, 6 jedoch nur ca. 1 % der Zahl der bestellenden Kunden. Es erscheint daher angebracht, diese Kunden durch Post oder Fremdspediteure zu beliefern.

5. Der letzte Gedanke wird untermauert durch Zeile 6 der Tabelle, die die *noch zurückzulegenden Kilometer* ausweist. So beträgt die durchschnittliche einfache Entfernung

zu einem nichtbelieferten Kunden bei n=3 227 km, bei n=4 206 km, bei n=5 182 km und bei n=6 194 km. Diese Zahlenwerte machen deutlich, daß eine Belieferung dieser Kunden mit unternehmenseigenen Fahrzeugen ökonomisch nicht sinnvoll sein kann.

6. Die *Summe der nachgefragten Menge* ist mit 46.715 kg bei allen Varianten gleich. Bezieht man diese Zahl auf die Zahl der bestellenden Kunden, so erhält man das durchschnittliche Bestellgewicht. Es beträgt 20,39 kg und weicht nur unwesentlich von dem empirisch ermittelten Bestellgewicht ab. Die Qualität des verwendeten Simulationsprogramms wird damit indirekt bestätigt.

7. Bewertet man die noch zurückzulegenden Kilometer mit einem Kostensatz von nur DM 1,-- (entspricht 0,50 DM pro km), so dürfte die maximale Versandgebühr für 1 kg nichtausgelieferte Menge bei n=3 6,66 DM, bei n=4 11,80 DM, bei n=5 9,98 DM und bei n=6 12,14 DM betragen. Da die tatsächlichen Postgebühren weitaus niedriger liegen, ist eine Nichtbelieferung dieser Kunden durch unternehmenseigene Fahrzeuge ökonomisch geboten.

5 Wirtschaftlichkeitsrechnungen zur Festlegung einer optimalen Lagerstandortalternative

Aus Zeile 3 der obigen Tabelle lassen sich für die einzelnen Standortalternativen durchschnittlich zurückgelegte Gesamtfahrtstrecken und damit variable Transportkosten unter der Annahme eines durchschnittlichen km-Satzes (DM/km) errechnen.

5.1 Darstellung des Entscheidungskriteriums

Die Ersparnis an Transportkosten als Differenzbetrag zweier benachbarter Standortanzahlen n und n + 1 wird nun als kritischer Kostenbetrag für die übrigen Systemkosten (Lager- und Personalkosten) betrachtet, der nicht überschritten werden darf, wenn die Standortanzahl n + 1 vorteilhaft sein soll.

Anzahl Standorte für Auslieferungslager	Variable Transportkosten	Kostenersparnis
n	K_n^T	$K_n^T - K_{n+1}^T$
n + 1	K_{n+1}^T	

Entscheidungskriterium:

Vergleiche für alle n = 3, 4, 5

$K_n^T - K_{n+1}^T \gtrless$ Kapitaldienst (Abschreibung + Zinsen) des Investitionsbetrages eines zusätzlichen Auslieferungslagers

\+ Zusätzliche Personalkosten

\+ Sonstige zusätzliche Kosten

Wird umgekehrt die jetzt gegebene Anzahl von Niederlassungen verringert, so sind folgende Beträge zu vergleichen:

(1) Kostendifferenz (Kostenersparnis) aus

a) Wegfall von fixen Lager- und Personalkosten durch Auflösung von Niederlassungen

./. b) Zusätzliche fixe Lager- und Personalkosten durch Ausbau der verbleibenden Ausliefe-rungsläger (wegen erhöhten Durchsatzes) (oder Errichtung gänzlich neuer Ausliefe-rungsläger an anderen Standorten)

= c) Kostenersparnis fixe Lager- u. Personalkosten

\+ d) Kostenersparnis variable Lager- und Personalkosten

= e) Gesamtersparnis

(2) Zusätzliche variable Transportkosten durch Verringerung der Auslieferungsläger

Ist (1) - (2) > 0, so ist eine Verringerung von Auslieferungslägern vorteilhaft.

5.2 Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die folgende Wirtschaftlichkeitsberechnung basiert auf 220 Arbeitstagen pro Jahr. Für den variablen km-Satz in DM/km wurde ein Mindestwert von 0,80 DM/km und ein Maximalwert von 1,30 DM/km angesetzt. Zwischenwerte wurden für Kostensteigerungen von jeweils 0,10 DM/km errechnet. Damit ergeben sich die in der folgenden Tabelle ausgewiesenen variablen Transportkosten pro Jahr. In Zeile 7 ist die jährliche Kostensteigerung bei 0,10 DM/km Kostensatzerhöhung angegeben.

Wie bereits dargelegt, basiert die folgende Wirtschaftlichkeitsrechnung auf der Methode der kritischen Werte. Die Festlegung einer optimalen Standortkombination erfolgt daher unter pessimistischen Annahmen. Dies deshalb, weil mit der Festlegung Investitions- bzw. Desinvestitionsentscheidungen verbunden sind, die unter unsicheren Erwartungen getroffen werden.

Die folgende Tabelle zeigt die jährliche Kostenersparnis (bei 0,80 DM/km Kostensatz) von n-Standorten gegenüber n - 1 Standorten. Die Ersparnis wird umso größer, umso mehr der Kostensatz steigt.

	4 Standorte gegenüber 3	5 Standorte gegenüber 4	6 Standorte gegenüber 5
Jährliche Kostenersparnis bei 0,80 DM/km Kostensatz	638.352	313.984	86.064
Die Ersparnis steigt um ... DM bei 0,10 DM/km Kostensatzsteigerung	79.794	39.248	21.516

Zeile	Variabler km-Satz (DM/km)	n = 3	n = 4	n = 5	n = 6
1	0,80	4.611.904	3.973.552	3.659.568	3.573.504
2	0,90	5.188.392	4.470.246	4.117.014	4.020.192
3	1,00	5.764.880	4.966.940	4.574.460	4.466.880
4	1,10	6.341.368	5.463.634	5.031.906	4.913.568
5	1,20	6.917.856	5.960.328	5.489.352	5.360.256
6	1,30	7.494.344	6.457.022	5.946.798	5.806.944
7	Jährl. Kosten-steigerung bei 0,10 DM/km Kostensatzer-höhung	576.488	496.694	457.446	446.688

Tabelle: Variable Transportkosten/Jahr

5.3 Analyseergebnis

Aus den Ergebnissen können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Die Ersparnis von 4 Standorten gegenüber 3 Standorten ist mit 638.352,-- DM/Jahr so hoch und die Ergebnisse des Lösungsoutputs sind für n = 3 im übrigen so schlecht, daß die Handlungsmöglichkeit "3 Standorte" ausschied.

- Die Ersparnis von 6 Standorten gegenüber 5 Standorten ist mit 86.064,--/Jahr vergleichsweise so gering, daß die Investition eines zusätzlichen Auslieferungslagers schon aus diesem Grund kaum in Frage kam. Zudem differieren die Ergebnisse des Lösungsoutputs für n = 5 und n = 6 nur wenig voneinander, so daß als echte Alternative nur [illegible] n = 5 verbleibt.

- Die jährliche Kostenersparnis bei den variablen Transportkosten beträgt bei 5 Standorten gegenüber 4 Standorten 313.984,-- DM. Dieser Ersparnis sind folgende zusätzliche Kosten eines 5. Standortes gegenüberzustellen:

  1. Kapitaldienst eines zusätzlichen Auslieferungslagers (Abschreibung, Zinsen) (= 119.970,-- DM)

  2. Zusätzliche Personalkosten (= 160.000,-- DM)

  3. Sonstige zusätzliche Kosten (= 54.000,-- DM)

  Insgesamt erhält man daher bei vorsichtiger Schätzung zusätzliche Jahreskosten von 333.970,-- DM. Da dieser Betrag in etwa der Einsparung von

313.984,-- DM entspricht, läßt sich eine Indifferenz zwischen n = 4 und n = 5 erkennen.

Unter Zuhilfenahme qualitativer Entscheidungstatbestände wird die Alternative n = 4 aus folgenden Gründen empfohlen:

- Trend steigender Fixkosten bei
  - Personal
  - Lagerhardware
- Bessere Organisationsvoraussetzungen für
  - Aufbau- und
  - Ablauforganisation
- Effizienzsteigerung durch Konzentration und die Möglichkeiten optimaler Lagerbewirtschaftung
- Höhere Investitionskosten bei der Alternative n = 5

Bei der Dimensionierung der Alternativen für Auslieferungslager-Standorte sollten folgende Gesichtspunkte berücksichtigt werden:

- Bisheriges Verhältnis von Lagerkapazität zu Umsatz
- Mäßiges Umsatzwachstum
- Mögliche Rationalisierungsreserven von 10 % durch Konzentration und bessere Lagerbewirtschaftung

LITERATUR[redacted]

BALLOU, R.H.: Business Logistics Management, Englewood Cliffs, New Jersey 1973

BALLOU, R.H.: Dynamic Warehouse Location Analysis, in: Journal of Marketing Research, Vol. 5, 1968, S. 271-276

BAUMOL, W.J.; WOLFE, P.: A Warehouse Location Problem, in OR Vol. 6, 1958, S. 252 ff.

BEDNAR, L.; STROHMEIER, E.: Lagerstandortoptimierung und Fuhrparkeinsatzplanung in der Konsumgüterindustrie, in: ZOR 23, 1979, S. B 89 - B 104

BEHRENS, K.C.: Allgemeine Standortbestimmungslehre, Köln-Opladen 1961

BENITO, F.; GRÖFLIN, H.: Optimierungsprobleme mit nicht polynomial begrenzten Algorithmen, in: TM. Liebling, M. Rössler (Hrsg.): Kombinatorische Entscheidungsprobleme; Methoden und Anwendungen, Berlin, Heidelberg, New York 1978, S. 81- 121

BERENGUER, X.: Contributions for Solving the Delivery Problem, in: M. Roubens (Hrsg.): Advances in Operations Research, Proceedings of Euro II The second European Congress on Operations Research, Stockholm 1976, S. 29-33

BLOECH, J.; IHDE, G.-B.: Betriebliche Distributionsplanung zur Optimierung der logistischen Prozesse, Würzburg, Wien 1972

BÖCKER, F.: Computergestützte Standardprogramme zur Planung und Kontrolle der Distributionspolitik, in: R. Köhler, H.-J. Zimmermann (Hrsg.): Entscheidungshilfen im Marketing, Stuttgart 1977, S. 348-367

CHRISTOFIDES, N.; EILON, S.: An Algorithm for the Vehicle-dispatching problem, in: ORQ, Vol. 20, No. 3, 1969, S. 309 ff.

CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A.; TOTH, P.: The Vehicle Routing Problem, in: N. Christofides, A. Mingozzi, P. Toth, C. Saudi (Hrsg.: Combinatorial Optimization, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, 1979, S. 315 ff.

CLARKE, G.; WRIGHT, J.W.: Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, in: OR Vol.13 , 1964, S. 568-581

DANTZIG, G.B.; RAMSER, J.H.: The Truck Dispatching Problem, in: MS Vol. 6, 1959, S. 80 ff.

DAVIS, P.S.; RAY, T.L.: A Branch-Bound Algorithm for the Capacitated Facilities Location Problem, in: NRLQ Vol. 16, 1969, S. 331-344

DELFMANN, W.: Lieferzeitorientierte Distributionsplanung, Berlin 1978

DUMKE, H.-P.: Kosten-optimaler Fuhrpark-Einsatz im Werkverkehr, Dissertation 1974

EILON, S.; WATSON-GANDY, C.D.T.; CHRISTOFIDES, N.: Distribution management: Mathematical modelling and practical analysis, London 1971

FELDMAN, E.; LEHRER, F.A.; RAY, T.L.: Warehouse Location under Continous Economies of Scale, in: Management Science, Vol. 12, No.9, 1966, S. 670-684

FLETCHER, A.; CLARKE, G.: Management and Mathematics - The Practikal Techniques available, London 1964

FOSTER, B.A., RYAN, D.M.: An Integer Programming Approach to the Vehicle Scheduling Problem, in: ORQ Vol. 27, No. 2, 1976, S. 367 ff.

GASKELL, T.J.: Bases for Vehicle Fleet Scheduling, in: ORQ Vol. 18, S. 281 ff.

GILLETT, B.E., MILLER, L.R.: A Heuristic Algorithm for the Vehicle Dispatch Problem, in: OR Vol. 22, 1974, S. 340 ff.

GOLDEN, B.L.: Evaluating a Sequential Vehicle Routing Algorithm, in: Technical Note, AIIE Transactions, Vol. 9, Nr. 2, 1977, S. 204-208

GRUNDMANN, W. u. a.: Mathematische Methoden zur Standortbestimmung, Berlin 1968

HANSMANN, K.W.: Entscheidungsmodelle zur Standortplanung der Industrieunternehmen, Wiesbaden 1974

HERDEN, W.; STEINHAUSEN, D.: Ein Verfahren zur Berechnung eines globalen Minimums beim Varianzkriterium in der Cluster-Analyse, in: H. Späth (Hrsg.): Ausgewählte OR-Software in Fortran, München, Wien 1979

HOLMES, R.A.; PARKER, R.G.: A Vehicle Scheduling Procedure Based upon Savings and a Solution Pertubation Scheme, in: ORQ Vol. 27, No. 1, 1976, S. 83 ff.

IHDE, G.B.: Distributions-Logistik, Stuttgart, New York 1978

IHDE, G.B.; EICHER, K.; HALLBAUER, A.; KNÖDEL, W.: Distributions-Logistik, Arbeitsbuch zur Distributions-Logistik, Stuttgart, New York 1980

KILGER, W.: Kritische Werte in der Investitionsrechnung, ZfB 1965 a, S. 338 ff.

KIRBY, R.F.; Mc.DONALD, J.J.: The Savings Method for Vehicle Scheduling, in: ORQ Vol. 24, No. 2, 1973, S. 305 ff.

MATTHÄUS, F.: Tourenplanung - Verfahren zur Einsatzdisposition von Fuhrparks, Darmstadt 1978

NEITZEL, W.: Tourenplanung. Problemdarstellung und Lösungsverfahren für Ein-Depot-Probleme, Frankfurt am Main, Bern, Las Vegas 1977

SPÄTH, H.: Cluster-Analyse-Algorithmen zur Objektklassifizierung und Datenreduktion, München, Wien 1975

STREIM, H.: Heuristische Lösungsverfahren. Versuch einer Begriffsklärung, in: ZOR Bd. 19, 1975, S. 143-162

VATERRODT, H.-J.: Tourenplanung. Modelle und Verfahren, Frankfurt am Main, Zürich, 1975

WEBB, M.: Transporting Goods by Road, London 1972

WEBB, M.H.J.: Some Methods of Producing Approximate Solutions to Travelling Salesman Problems with Hundreds or Thousands of Cities, in: ORQ Vol. 22, No. 1, 1971, S. 49 ff.

WIEDEY, H.: Algorithmische Darstellung einer wirtschaftlichen Tourenplanung bei großer Kundenanzahl. Unveröffentlichtes Manuskript.

WINKLER, H.: Warenverteilungsplanung, Wiesbaden 1975

YELLOW, P.C.: A Computational Modification to the Savings Method of Vehicle Scheduling, in: ORQ Vol. 21, No. 2, 1970, S. 281 ff.