Seminar zur Industriebetriebslehre II
Distributionsplanung auf Grundlage des Warehouse Location-Problems

Patrick Heinsen

Tobias Kalischer

Mark Waldschmidt

Aufbau des Vortrags

- 1. Einführung
  - Mark Waldschmidt
- 2. Das Warehouse Location-Problem (WLP)
  - Mark Waldschmidt
- 3. Lösungsansätze für das WLP
  - Patrick Heinsen
- 4. Das Verfahren von Erlenkotter (Theorie und Anwendung)
  - Tobias Kalischer, Patrick Heinsen

1. Einführung

- 1. Einführung:
  - 1.1. Einführung in die Distributionslogistik und –planung:
    - Definition
    - Aufgaben/ Zielsetzungen
    - Entscheidungsprobleme
    - Kostenstruktur
  - 1.2. Einführung in die Standortplanung:
    - Definition
    - Systematisierung/ SCPM
    - Anlässe
    - Standortfaktoren

Definition

- Logistik:
  - Planung und Steuerung von Güter-, Personen-, Kapital-, und Informationsströmen
  - 4r-Regel: richtiges Produkt, im richtigen Zustand, zur richtigen Zeit, am richtigen Ort zu den dafür minimalen Kosten
  - Material- bzw. Beschaffungs-, Produktions- und Distributionslogistik

- Distributionslogistik:
  - Alle Aktivitäten, die in einem Zusammenhang mit der Belieferung des Kunden mit Fertigfabrikaten und Handelsware stehen

Aufgaben / Zielsetzungen

- Aufgaben:
  - Akquisitorische Aufgabe:
    - Nominal- und Informationsströme
  - Physische Distribution:
    - Realgüterströme
    - TUL-Leistungen
- Zielsetzungen:
  - Kostenminimierung:
    - (Beachtung eines vorgegebenen Lieferservices)
  - Lieferservicemaximierung:
    - (Einhaltung eines vorgegebenen Kostenbudgets)

Entscheidungsprobleme

- Räumliche Gestaltung des Distributionsnetzes
- Zuordnung der Lager zu Produktionsstätten (Werken), die Abgrenzung von Liefergebieten der Lager, Entscheidungen bzgl. der Durchführung direkter oder indirekter Belieferung sowie bzgl. Eigenbetrieb, Anmieten oder Fremdbezug von Lagerkapazität
- Gestaltung des Transportsystems
- Entscheidung hinsichtlich der Bestandsstrategie und der Art der Lagerbevorratung
- Gestaltung von Verpackung und Transport

➢ Interdependenzen, Inhomogenitäten und Komplexität

➢ Zeitliche Dekomposition in strategische, taktische und operative Aufgaben

Kostenstruktur

- Zentralisierung:
  - Gegenläufige Entwicklung von Lager- und Transportkosten

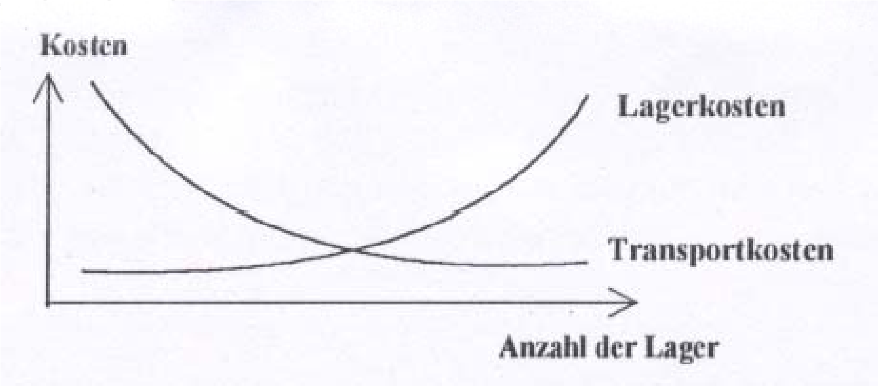


Abbildung 1.1.1.: Distributionskosten

Quelle: Vahrenkamp, R., Produktions- und Logistikmanagement, 1996, Seite 283

  - Weitere Größendegressionseffekte (economies of scale)
  - Weitere Negative Effekte

1. Einführung

- 1. Einführung:
  - 1.1. Einführung in die Distributionslogistik und –planung:
    - Definition
    - Aufgaben/ Zielsetzungen
    - Entscheidungsprobleme
    - Kostenstruktur
  - 1.2. Einführung in die Standortplanung:
    - Definition/ Systematisierung
    - Supply Chain Planning Matrix
    - Anlässe
    - Standortfaktoren

Definition / Systematisierung

- „Geografischen Ort, an dem der Industriebetrieb Güter erstellt oder verwertet"
  - Strategische Planung:
    - Langfristige Entscheidung
    - Nur unter Aufwendung von erheblichen Kosten korrigierbar
  - Möglichkeit der Standortspaltung

- Systematisierung:
  - Volkswirtschaftliche Standorttheorien
  - Betriebliche Standortplanung
  - Innerbetriebliche Standortplanung oder Layoutplanung

Supply Chain Planning Matrix

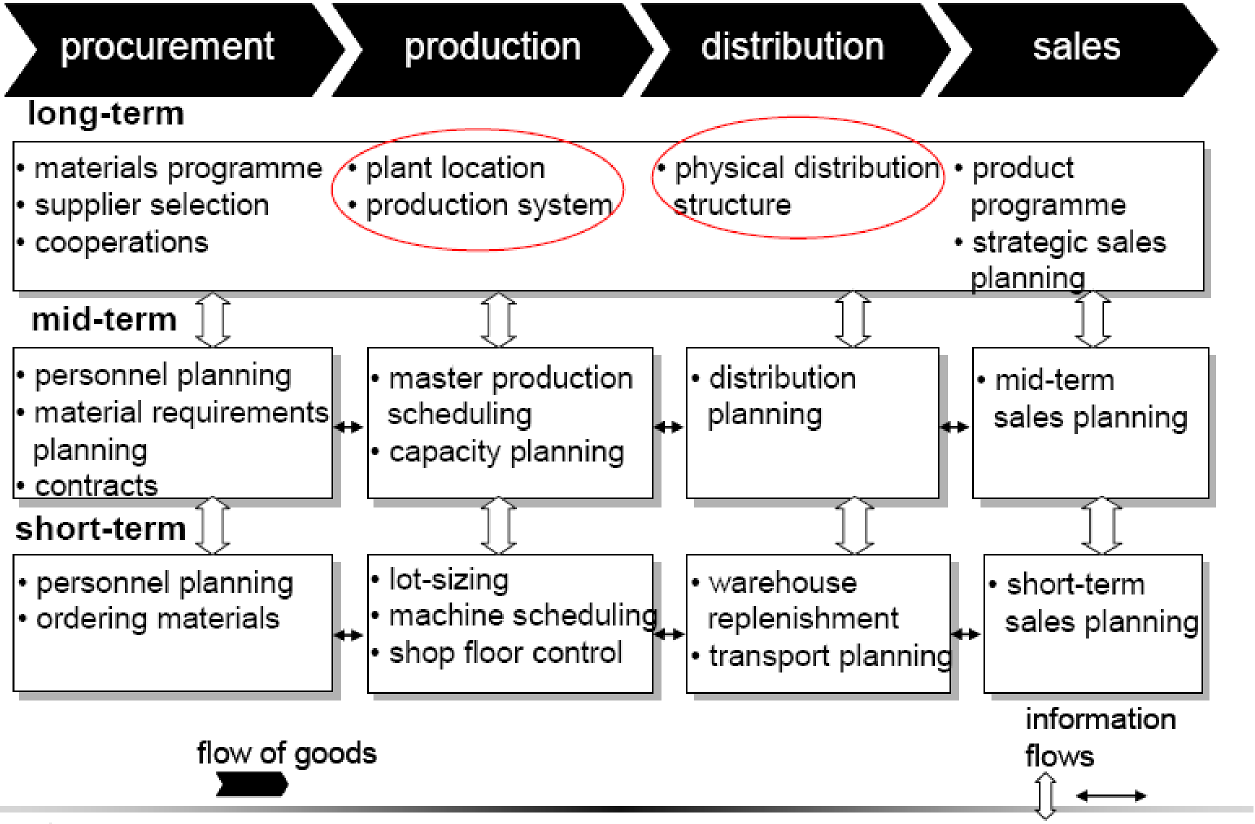


Abbildung 1.2.1.: Supply Chain Planning Matrix

Quelle: Stadtler, H., Skript Distributionslogistik, 2007, Kapitel 5, Seite 3

Anlässe

- Neugründung eines Unternehmens:
  - Komplexeste Planungssituation
  - Abhängigkeiten zur Beschaffungsprogramm-, Produktionsprogramm- und Absatzprogrammplanung
- Vorhandensein eines Kapazitätsbedarfs:
  - Befriedigung der Kundennachfrage
- Vorhandensein eines Kapazitätsüberschusses:
  - Kapazitätsüberschüsse verursachen unnötige Kosten
- Unternehmensinterne oder –externe Standortunzugänglichkeiten:
  - z.B. durch die Änderung von wirtschaftlichen Rahmenbedingungen

Standortfaktoren

- Betriebsinterne (produktionsbedingte) und externe (marktbedingte) Anforderungen berücksichtigen
  - langfristiger Unternehmenserfolg
  - geringe Flexibilität und Reversibilität der Entscheidung
  - Konkurrenzfähigkeit des Unternehmens

- Quantitativen Standortfaktoren: Der Einfluss auf den Unternehmenserfolg kann direkt gemessen werden
- Qualitativen Standortfaktoren: Auswirkungen müssen durch die Planungs- und Entscheidungsträger subjektiv geschätzt werden
- Gegebenheiten der internationalen Distribution (Globalisierung)

2. Das Warehouse Location-Problem

- 2. Das Warehouse Location-Problem:
  - Charakteristika
  - Distributionsnetz
  - Das einstufige, unkapazitierte Warehouse Location-Problem
  - Erweiterungen

Charakteristika

- Ausprägung der folgenden Charakteristika determiniert sowohl den Modelltyp als auch den Modellumfang:
  - Anzahl der betrachteten Produkte (Einproduktfall vs. Mehrproduktfall)
  - Anzahl der berücksichtigten Distributionsstufen (einstufig vs. mehrstufig)
  - Bestimmtheitsmaß der Entscheidungsvariablen und der Modellparameter (deterministisch vs. stochastisch)
  - Annahme über die Lage der potentiellen Standorte (kontinuierlich vs. diskret)
  - Annahme über die Größe der potentiellen Standorte (unkapazitiert vs. kapazitiert)
  - Annahmen hinsichtlich der Zielsetzungen (Einfachzielsetzung vs. Mehrfachzielsetzung)

c_{ij}

Das einstufige unkapazitierte WLP: Symbolverzeichnis

- Indizes:
  - i Index der potentiellen Standorte i = 1,...,m
  - j Index der Kunden j = 1,...,n
- Daten:
  - c_{ij} Transportkostensatz von Lager i zu Kunde j
  - f_i Fixe Kosten des Lagers i
  - b_j Bedarf des Kunden j
- Variablen:
  - y_i Binärvariable
    - 1, am potentiellen Standort i ist ein Lager einzurichten
    - 0, sonst
  - x_{ij} Anteil des Bedarfs von Kunde j, der von Lager i geliefert wird
    - 1, falls Kunde j von Lager i voll beliefert wird
    - 0, falls i von j nicht beliefert wird

Distributionsnetz

Produktionsstätte pot. Lagerstandorte Kunden

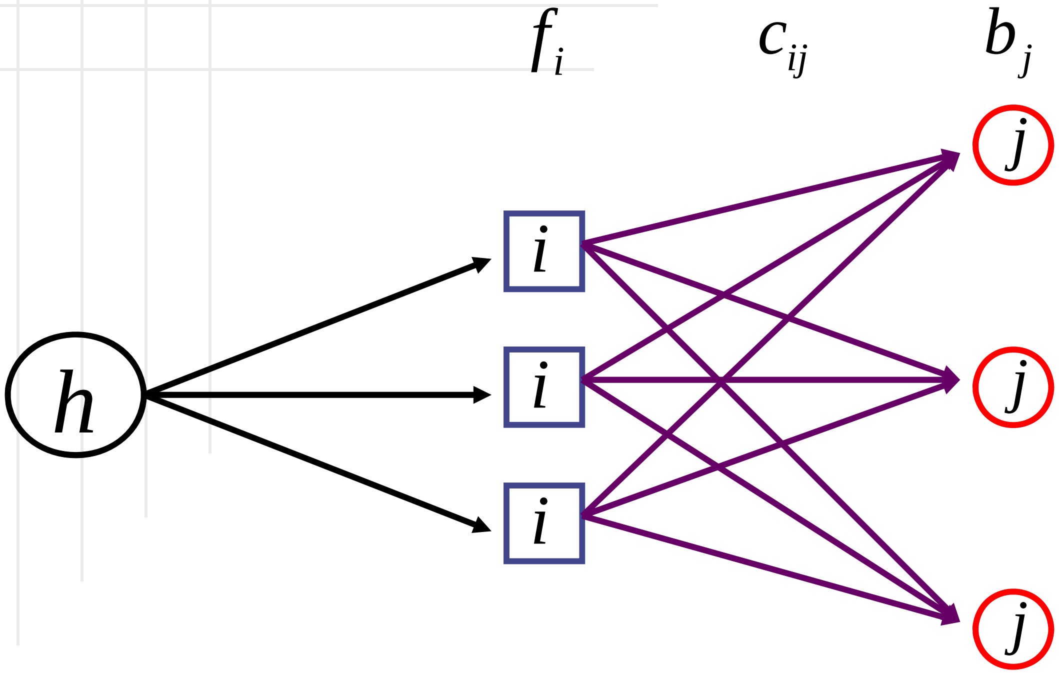


Abbildung 2.1.: Distributionsnetz Quelle: Eigene Darstellung

Das einstufige unkapazitierte WLP

- Zielfunktion:
  - Minimiere $F(x,y) = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} b_j x_{ij} + \sum_{i=1}^{m} f_i y_i$

Variable Transportkosten

Fixe Lagerkosten

-Lagereinrichtungskosten

-Lagerhaltungskosten

  - Nebenbedingungen:
    - $x_{ij} \leq y_i$ für i = 1,...,m und j = 1,...,n
    - $\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = 1$ für j = 1,...,n
    - $y_i \in \{0,1\}$ für i = 1,...,m
    - $x_{ij} \geq 0$ für alle i und j

Erweiterungen

- Wichtige Erweiterungen:
  - Kapazität
  - Mehrstufigkeit
  - Transportmodi
  - Single-Sourcing
  - Nichtlineare Transportkosten

3. Lösungsansätze für das WLP

- 3. Lösungsansätze für das WLP
  - Allgemeiner Vergleich von exakten und heuristischen Verfahren
  - Exakte Verfahren am Beispiel von Branch-and-Bound

Exakte vs. Heuristische Verfahren

	exakt	heuristisch
Güte der Lösung	Optimale Lösung nach endlich vielen Schritten	Gute, sog. Suboptimale Lösungen
Anpassung an Problemstellung	Gering, da meist Standardverfahren	Hoch
Planungsaufwand	Hoch	Gering
Programmierung	Kompliziert	Simpel
Rechenzeiten	Hoch	Gering

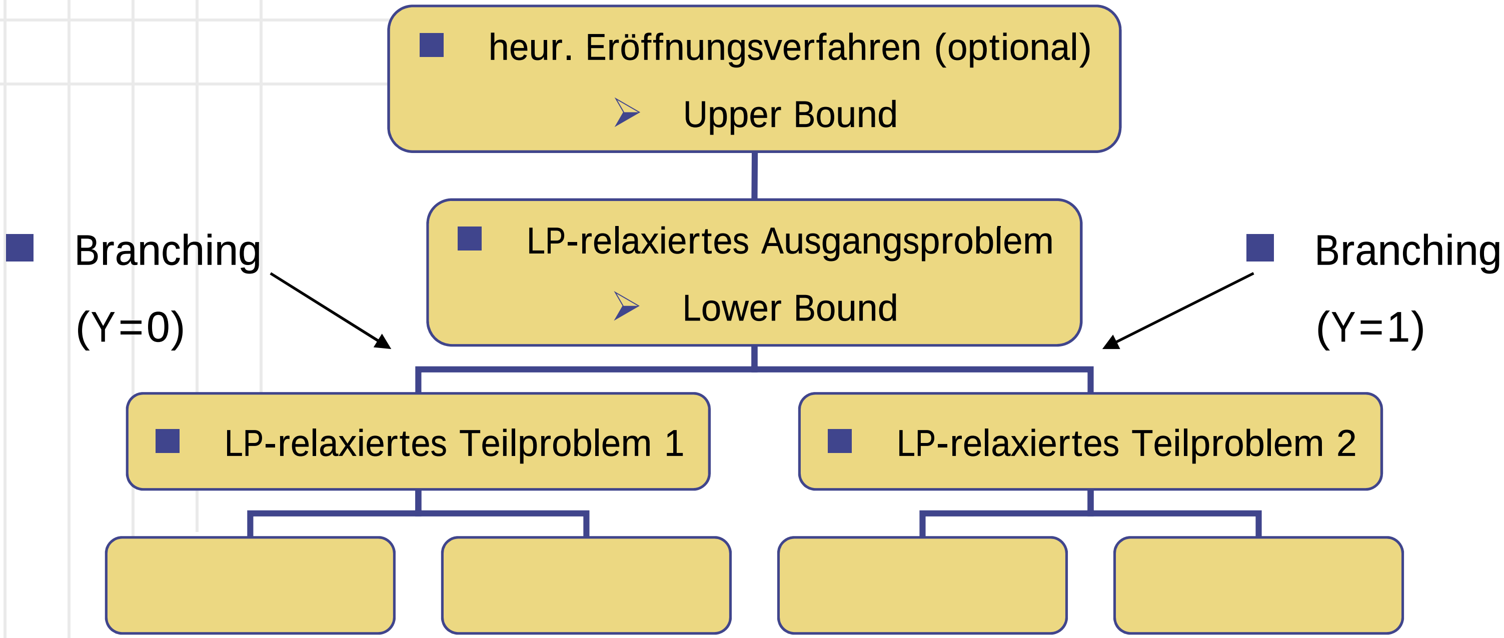
Exakte Verfahren am Beispiel Branch-and-Bound

- WLPe können u.a. mit einer Vielzahl von sog. Branch-and-Bound-Verfahren exakt gelöst werden

- „Branch": Idee des Verzweigens der Probleme in Teilprobleme

- „Bound": Ermittlung von Schranken und das Ausloten von (Teil-) Problemen

Entscheidungsbaum



Allgemeiner Aufbau von Branch-and-Bound-Verfahren (Minimierungsproblem)

1) Ausgangslösung (optional):
   - Ziel: Rechenzeit und Speicherplatz unserer Lösung einschränken
   - Erste zulässige Lösung durch Anwendung eines heuristischen Eröffnungsverfahrens -> Erster Upper Bound (UB) bzw. obere Schranke des Zielfunktionswertes
   - Alternativ startet man mit UB = ∞

2) Bilden und Lösen von Relaxationen:
   - Unser gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblem auf Anhieb nicht effizient zu lösen
   - Bilden und Lösen von sog. Relaxationen (Lockerung oder Wegfall von Nebenbedingungen) des Ausgangsproblems und der Teilprobleme -> Lower Bound (LB) bzw. untere Schranke des Zielfunktionswertes

Allgemeiner Aufbau von Branch-and-Bound-Verfahren (Minimierungsproblem)

3) Verzweigung in Teilprobleme:
   - Jedes zu verzweigende Problem wird in genau zwei Teilprobleme zerlegt
   - Eine noch unfixierte Variable wird einmal zu 0 und einmal zu 1 fixiert
   - Lösungsmenge des Problems zerfällt in zwei disjunkte Teilmengen

Allgemeiner Aufbau von Branch-and-Bound-Verfahren (Minimierungsproblem)

4) Ausloten von Problemen:

- Ob ein (Teil-) Problem weiter verzweigt werden muss, hängt davon ab, ob es als ausgelotet gilt
- Ein Problem heißt ausgelotet, wenn
  - LB $\geq$ UB, d.h. die optimale Lösung des relaxierten Teilproblems besitzt keinen niedrigeren Zielfunktionswert als die aktuell beste zulässige Lösung
  - LB $<$ UB <u>und</u> die optimale Lösung des relaxierten Problems ist zulässig, d.h. man hat eine neue bisher beste Lösung des Problems gefunden und setzt UB := LB
  - Das relaxierte Teilproblem besitz keine zulässige Lösung
- Ausgelotete Probleme werden nicht weiter verzweigt

Allgemeiner Aufbau von Branch-and-Bound-Verfahren (Minimierungsproblem)

5) Die Kandidatenliste:
- Probleme, die noch nicht ausgelotet wurden
- Probleme, die teilweise, aber noch nicht vollständig verzweigt wurden
- In welcher Reihenfolge die Probleme aus der Kandidatenliste abgearbeitet werden, wird durch die sog. Traversierungsregel festgelegt

Traversierungsregeln

- Minimal-Lower-Bound-Regel (MLB-Regel):
  - Problem mit dem kleinsten Lower Bound wird zuerst ausgewählt
  - In die Breite gerichtete Suche d.h. es werden mehrere Zweige des Lösungsbaumes parallel bearbeitet
- Last-In-First-Out-Regel (LIFO-Regel):
  - Problem, welches zuletzt in die Kandidatenliste aufgenommen wurde, wird zuerst ausgewählt
  - Tiefensuche d.h. nur ein Zweig des Entscheidungsbaumes wird bearbeitet

4. Das Verfahren von Erlenkotter (Theorie und Anwendung)

- 4. Das Verfahren von Erlenkotter (Theorie und Anwendung)
  - Übersicht des Verfahrens von Erlenkotter
  - Problemstellung des Anwendungsbeispiels
  - LP-Relaxation
  - Bildung und Lösung des dualen Problems
  - Bildung und Lösung des ganzzahligen Problems
  - Ergebnis

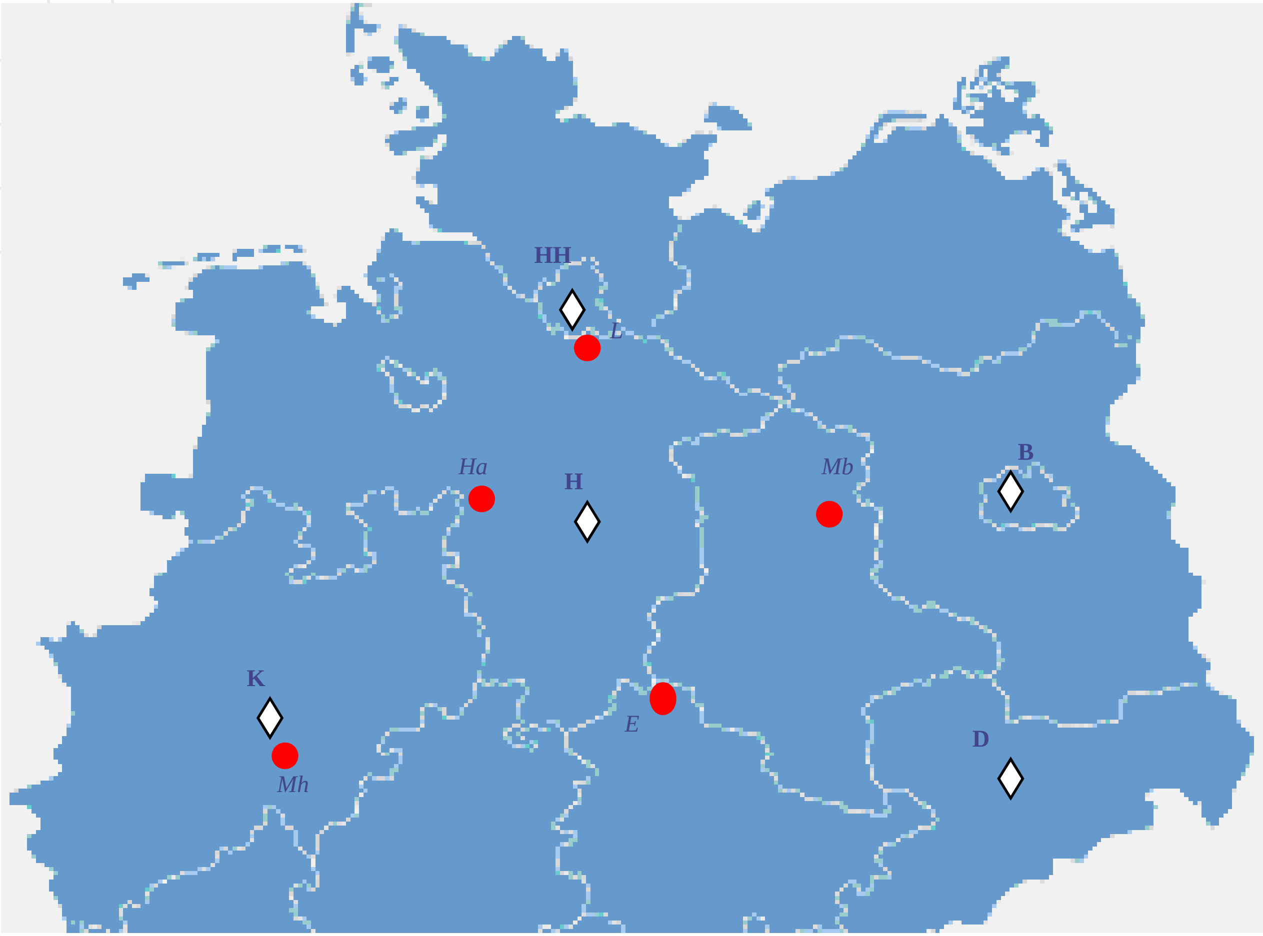
Übersicht des Verfahrens von Erlenkotter

- Basierend auf der disaggregierten Formulierung des WLPs entwickelte Erlenkotter (1978) ein Lösungsverfahren für unkapazitierte, einstufige WLPe:
  - Kein heur. Eröffnungsverfahren, Start mit UB= ∞
  - Bildung der sog. LP-Relaxation des Ausgangsproblems
  - Bildung des dualen Problems der Relaxation
  - Lösung des dualen Problems mit Hilfe der sog. Dual Ascent-Methode
  - Bestimmung einer ganzzahligen Lösung des Ausgangsproblems
  - Evtl. Einsatz der sog. Dual Adjustment-Methode um die Lösung zu verbessern
  - Sollte keine Optimalität der Lösung vorliegen -> Verzweigung des Ausgangsproblems in Teilprobleme, wobei bei Erlenkotter als Traversierungsregel die LIFO-Regel Anwendung findet

Problemstellung des Anwendungsbeispiels

- Importeur beliefert fünf Filialen j= (Hamburg, Köln, Berlin, Dresden, Hannover)
- Max. Lageranzahl fünf: i= (Lüneburg, Erfurt, Meckenheim, Hamm, Magdeburg)
- Konstante Liefermenge von einem LKW pro Woche pro Filiale.
- Lieferkosten c_{ij} = 1,50 € pro zu transportierenden Kilometer

Übersicht der Standorte



: Absatzzentren

: Lagerstandort

Abb. 4.1.1.Übersicht

Kostenmatrix in €:

		HH	K	B	D	H	
	i \ j	1	2	3	4	5	f i
L	1	3.432 (66*52)	34.164	21.606	32.604	10.452	40.000
E	2	28.158	28.392	23.322	16.848	16.926	25.000
Mh	3	29.952	3.276	47.424	44.694	25.818	35.000
Ha	4	19.890	9.672	35.880	41.574	14.352	22.000
Mb	5	21.450	33.540	11.856	17.784	10.998	28.000

Zielfunktion

- Mit wie vielen Lagern i=(1,...,5) beliefert das UN die fünf Absatzzentren am kostengünstigsten?

$$F(x,y) = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^{m} f_i y_i \Rightarrow \min!$$

LP-Relaxation

- Formulierung eines gemischt-ganzzahliges Optimierungsproblems als lineares Optimierungsproblem indem die

  Binärbedingung $y_i \in \{0,1\}$ für i=1,...,m

  durch eine Nicht-Negativitätsbedingung $0 \leq y_i \leq 1$ für alle i

  ersetzt wird

Bildung des dualen Problems

- Jedem linearen Optimierungsproblem ist ein sog. Duales Problem zugeordnet (Zeilen und Spalten gegenüber dem Ausgangsproblem vertauscht):

  Ausgangsproblem (Primales Problem) in Standardform:

  $$\max\left\{ \, c^T x : Ax \leq b, x \geq 0 \, \right\}$$

  zugehöriges duales Problem:

  $$\min\left\{ \, b^T y : A^T y \geq c, y \geq 0 \, \right\}$$

- In unserem Fall gilt natürlich der umgekehrte Fall, d.h. bei primaler Minimierungsvorschrift ist das duale Problem zu maximieren
- Die optimalen Lösungen des dualen Problems heißen Schattenpreise

Das Verfahren von Erlenkotter: Symbolverzeichnis

- FD1 Zielfunktionswert des dualen Problems vom Typ 1
- FD2 Zielfunktionswert des dualen Problems vom Typ 2
- v_j, w_{ij} Variablen des dualen Problems
- s_i Schlupf der i-ten Nebenbedingung
- $c_j^{k(j)}$ nach monoton wachsenden Werten sortierte Kostenelemente
- I1 Menge der endgültig einbezogenen Standorte
- σ_j Startwert des Ascent-Algorithmus für den Kunden j
- I^* Menge aller potentiellen Standorte mit $s_i = 0$
- k(j) Index des Dual-Ascent Algorithmus

Bildung des dualen Problems

- Maximiere $FD1(v,w) = \sum_{j=1}^{n} v_j$
- Unter den Nebenbedingungen:

$\sum_{j=1}^{n} w_{ij} \le f_i$ für i = 1,…,m

$v_j - w_{ij} \le c_{ij}$ für i = 1,…,m und j = 1,…,n

$w_{ij} \ge 0, v_j \in \Re$ für i = 1,…,m und j = 1,…,n

Oder unter Berücksichtigung von $w_{ij} := \max\{\ 0, v_j - c_{ij}\ \}$

- Maximiere $FD2(v) = \sum_{j=1}^{n} v_j$
- Unter den Nebenbedingungen:

$\sum_{j=1}^{n} \max\{0, v_j - c_{ij}\} \le f_i$ für i = 1,…,m

Lösung des dualen Problems (Dual Ascent-Algorithmus)

- Voraussetzung
  - Zulässige Lösung $v = (v_1, \ldots, v_n)$
  - nach monoton wachsenden Werten sortierte Kostenelemente jedes Kunden $c_j^{k(j)}$
- Start
  - Bestimme Index $k(j) := \min\{k; c_j^k \geq v_j\}$
  - Falls $v_j = c_j^{k(j)}$ setze k(j):=k(j)+1
  - Berechne $s_i := f_i - \sum_{j=1}^{n} \max\{0, v_j - c_{ij}\}$

Lösung des dualen Problems (Dual Ascent-Algorithmus)

- Iteration $\mu(=1,2,\ldots)$

$\sigma_j := \min\{s_i; i = 1,\ldots,m \wedge v_j \geq c_{ij}\}$

$\sigma_j := \infty$ falls $v_j < c_{ij}$ für alle i gilt

Falls $\sigma_j > c_j^{k(j)} - v_j$ setze $\sigma_j := c_j^{k(j)} - v_j$ und k(j):=k(j)+1

Für i=1,...,m: falls $v_j \geq c_{ij}$ setze $s_i := s_i - \sigma_j$; $v_j := v_j + \sigma_j$

Lösung des dualen Problems (Dual Ascent-Algorithmus)

- Abbruch
  - Wenn während einer Iteration kein v_j erhöht werden konnte
- Ergebnis
  - Eine zulässige Lösung mit dem Zielfunktionswert LB:= $\sum_j v_j$

Die Dual Ascent-Methode (1)

- **Iteration μ=1 :**

Für j=1 $:\sigma_1$ = 40.000

$\sigma_1 \succ c_1^2 - v_1$ = 19.890-3.432= 16.458

40.000 $\succ$ 16.458 $\Longrightarrow$ trifft zu!

Daher K(1) = 3

$v_1 \geq c_{i1}$ nur bei i = 1

$s_1 = s_1 - \sigma_1$ = 40.000- 16.458 = 23.542

$v_1 = v_1 + \sigma_1$ = 3.432+16.458= 19.890 $(= c_1^2)$

Die Dual Ascent-Methode (2)

- j=2 : σ_2 = 35.000

  $\sigma_2 \succ$ 9.672-3.276= 6.396

  35.000 $\succ$ 6.396 $\Longrightarrow$ trifft zu!

  Daher K(2)= 3

  $v_2 \geq c_{i2}$ nur bei i = 3

  s_3 = 35.000-6.396= 28.604

  v_2 = 9.672 (= c_2^2)

Ergebnis

- Nach der dritten Iteration kann kein v_j mehr erhöht werden
- Zulässige Lösung:

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} 21.450 \\ 30.112 \\ 23.322 \\ 32.604 \\ 12.712 \end{pmatrix} = 120.200$$

Lösungsübersicht Dual Ascent

Lager/Absatz zentren	i / j	Hamburg 1	Köln 2	Berlin 3	Dresden 4	Hannover 5		1.Iteration	2.Iteration	3.Iteration
Lüneburg	1	3.432	34.164	21.606	32.604	10.452	40.000	23.542→22.996	21.436→19.720→18.006	18.006
Erfurt	2	28.158	28.392	23.322	16.848	16.926	25.000	24.064	9.244	7.524
Meckenheim	3	29.952	3.276	47.424	44.694	25.818	35.000	28.604	9.884	8.164
Hamm	4	19.890	9.672	35.880	41.574	14.352	22.000	22.000	20.440→1.720	0
Magdeburg	5	21.450	33.540	11.856	17.784	10.998	28.000	18.250	16.534→1.714→0	0
1.Iteration		19.890	9.672	21.606	17.784	10.998				
2.Iteration		21.450	28.392	23.322	32.604	12.712				
3.Iteration		21.450	30.112	23.322	32.604	12.712				

Bestimmung einer ganzzahligen Lösung

- Durchführung
  1) Für j=1,...,n: gibt es genau ein i aus I* mit $c_{ij} \leq v_j$
     so erweitere I1 um i
     Falls I1=I*, gehe zu 3)
  2) Für j=1,...,n: gibt es bislang kein i aus I1 mit $c_{ij} \leq v_j$, so nimm
     dasjenige i* aus I* nach I1 auf, für das $c_{i^*j} = \min\{c_{ij}; c_{ij} \leq v_j\}$
  3) Setze $y_i := 1$ für alle i aus I1
  4) Suche für alle j=1,...,n das minimale c_{ij} mit i aus I1 und setze das zugehörige $x_{ij} := 1$

- Ergebnis
  - Eine ganzzahlige Lösung des WLPs
  - Lösung optimal falls F(x,y)=FD2(v)

Durchführung: Schritt 1

- J=1 $\Rightarrow$ trifft nicht zu, 19.890 $\leq$ 21.450 und 21.450 $\leq$ 21.450 $\Rightarrow$ zwei Lösungen
- J=2 $\Rightarrow$ trifft zu, 9.672 $\leq$ 30.112 und 33.540 $\succ$ 30.112 $\Rightarrow$ genau eine Lösung

  $\Rightarrow I1=\{4\}$
- J=3 $\Rightarrow$ trifft zu, 35.880 $\succ$ 23.322 und 11.856 $\leq$ 23.322 $\Rightarrow$ genau eine Lösung

  $\Rightarrow I1=\{4,5\}$, die Menge aller potentiellen Standorte ist also gleich der Menge der einzubeziehenden Standorte

Durchführung: Schritt 3 und 4

- Nun setzen wir $y_i := 1$ für alle Elemente unserer Menge $I1$
  - $y_4 = 1,\ y_5 = 1 \Longrightarrow$ wir eröffnen die Lagerstandorte Hamm und Magdeburg.
  - $y_1, y_2, y_3 = 0 \Longrightarrow$ Lüneburg, Erfurt und Meckenheim werden nicht realisiert
- Abschließend wird aus der Menge $I1$ für jedes j, das minimale c_{ij} gesucht und das zugehörige x_{ij} auf eins gesetzt
  - Also: $x_{41} = 1,\ x_{42} = 1,\ x_{53} = 1,\ x_{54} = 1,\ x_{55} = 1$

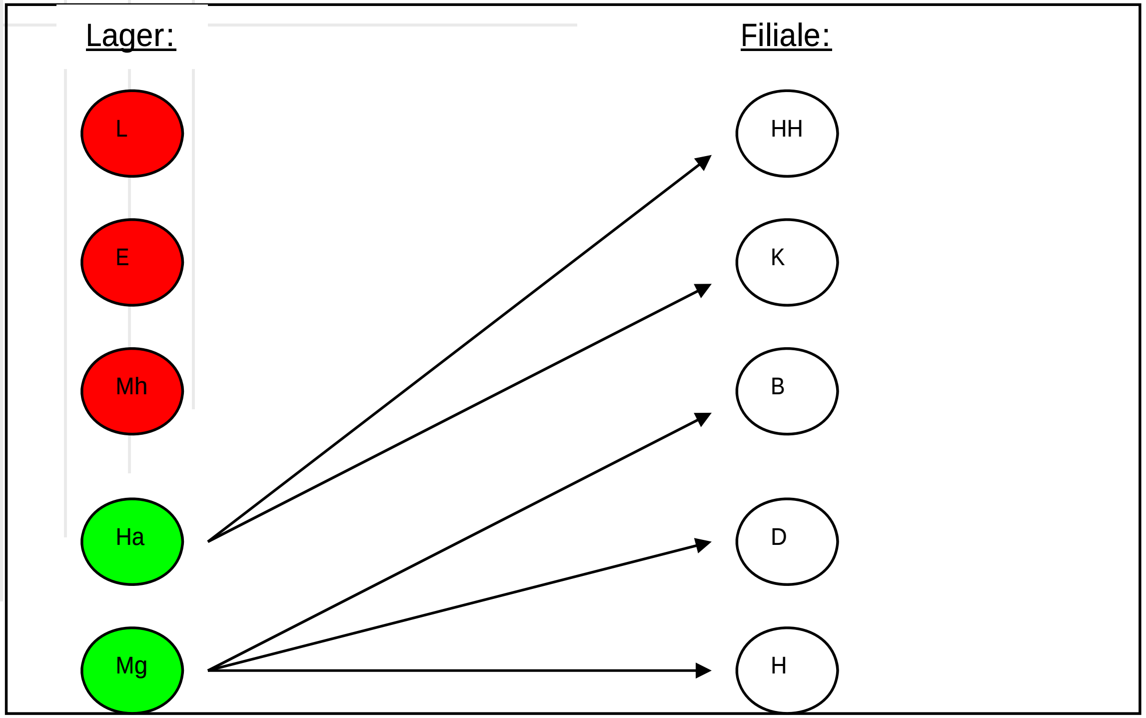
Ergebnis (1)

- Durch einsetzen in die Formel ergibt sich:

$$
\begin{aligned}
F(x,y) =\ & [\,3.432*0+34.164*0+21.606*0+32.604*0+10.452*0 \\
& +28.158*0+28.392*0+23.322*0+16.848*0+16.926*0 \\
& +29.952*0+3.276*0+47.424*0+44.694*0+25.818*0 \\
& +19.890*\mathbf{1}+9.672*\mathbf{1}+35.880*0+41.574*0+14.352*0 \\
& +21.450*0+33.540*0+11.856*\mathbf{1}+17.784*\mathbf{1}+10.998*\mathbf{1}\,] \\
& +[\,40.000*0+25.000*0+35.000*0+22.000*\mathbf{1}+28.000*\mathbf{1}\,] \\
& =\underline{\mathbf{120.200}}
\end{aligned}
$$

Ergebnis (2)

- Um die Nachfrage der fünf Filialen j vollständig zu befriedigen, werden also lediglich zwei Lager i eröffnet (Hamm und Magdeburg)



Diskussionsfragen 1

- Welche Nachteile besitzt das WLP in Bezug auf die Distributionsplanung?
  - Es werden nur quantitative Faktoren berücksichtigt
  - Sind alle notwendigen Daten vorhanden bzw. beschaffbar
  - Sind die Modelle in einer angemessenen Zeit rechenbar
  - Veränderung der Daten im Zeitablauf
  - Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse

- Wodurch zeichnet sich das Verfahren von Erlenkotter aus?
  - Kombination von heuristischen und exakten Elementen
  - Effizientes Verfahren

Diskussionsfragen 2

- Welche anderen Problemstellungen der Distributionsplanung könnten u. a. miteinbezogen werden, um die Praxis realitätsnah abzubilden?
  - Dynamische mehrperioden WLPe
  - Kombinierte Standort- Tourenprobleme
  - Standortprobleme mit Warteschlangenkomponenten